



CONSTANCIA DE SIMILITUD DEL COORDINADOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Yo, Mag. Ricardo Jiménez Palacios en mi condición de coordinador de la unidad de investigación de la Escuela de Postgrado, acreditado por la Resolución de Postgrado Nro. 1604-2023-ESPG/UPT de la tesis titulada:

ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MODELOS PROBABILÍSTICO Y DETERMINÍSTICO EN EL SECTOR PARIACOTO, CARRETERA HUARAZ – CASMA, ANCASH 2024, con asesor: Dr. Edgar Vidal Hurtado Chávez.

Presentada por el Bachiller **QUITO CAMONES, Iver Antonio** para optar el grado académico de **Maestro en Ingeniería Civil con mención en Geotecnia**.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad de la producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través de la herramienta tecnológica TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es **09% (Nueve)**. Por lo que **HAGO CONSTAR LA SIMILITUD** de la Tesis está de acuerdo al nivel **ACEPTADO**, para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio Institucional**.

Se emite la presente constancia con fines de continuar con los trámites respectivos para su obtención del grado.



DNI: 44042790

Mag. Ricardo Jiménez Palacios
Coordinador de la Unidad de Investigación



QUITO CAMONES, Iver Antonio

por Postgrado UPT

Fecha de entrega: 14-sep-2024 02:43p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2325198589

Nombre del archivo: Tesis.pdf (5.45M)

Total de palabras: 13189

Total de caracteres: 70302

INTRODUCCION

Los deslizamientos de taludes representan una amenaza significativa para la infraestructura vial en regiones montañosas como el sector Pariacoto de la carretera Huaraz – Casma, Áncash. Estos eventos no solo comprometen la seguridad y la accesibilidad de las vías, sino que también tienen un impacto socioeconómico considerable en las comunidades locales. Ante esta problemática, es fundamental implementar estrategias efectivas de evaluación de riesgos que permitan prevenir y mitigar los efectos adversos de los deslizamientos.

El presente estudio se centra en el análisis detallado de los riesgos asociados con los deslizamientos de taludes en el sector Pariacoto, utilizando modelos tanto probabilísticos como determinísticos. Utilice modelos probabilísticos y deterministas. Estos modelos son fundamentales para calcular el factor de seguridad de taludes, proporcionando así una evaluación cuantitativa de la estabilidad de las laderas bajo diferentes condiciones geotécnicas y climáticas.

El propósito principal de la investigación es crear un método para evaluar el riesgo de deslizamientos, específicamente adaptada a las características geológicas y topográficas del sector Pariacoto. Para lograr este objetivo, se empleará el programa de cómputo especializado Slide, reconocido por su capacidad para simular el comportamiento de los taludes y calcular parámetros críticos como el Factor de Seguridad.

Además del modelado en Slide, se realizó un análisis comparativo entre modelos probabilísticos y determinísticos, examinando cómo variables críticas como la resistencia del suelo, la configuración del talud y los factores climáticas. Esto permitió no solo determinar la probabilidad de colapso de los taludes, sino también identificar las condiciones que podrían incrementar el riesgo de deslizamientos en el área de estudio.

Se espera que los resultados de este estudio no solo contribuyan al avance del conocimiento en ingeniería geotécnica y gestión de riesgos naturales, sino que también proporcionen recomendaciones prácticas para mejorar la seguridad y la infraestructura vial en regiones montañosas vulnerables como la del sector Pariacoto. Estas recomendaciones serán fundamentales para orientar futuras

acciones de planificación y mitigación de riesgos en la carretera Huaraz – Casma, promoviendo así el desarrollo sostenible y la seguridad de los habitantes y usuarios de la vía.

Este estudio se ha organizado por capítulos, siendo estos los siguientes:

Capítulo I - El problema,

Capítulo II - Marco teórico

Capítulo III - Marco metodológico

Capítulo IV - Resultados

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las carreteras ubicadas en la zona de sierra están propensas al deslizamiento de taludes de corte en carreteras, siendo diversas las causas que producen riesgos por efecto de la infiltración producto de altas precipitaciones pluviales que desestabilizan los suelos, produciendo deslizamientos que dañan la infraestructura vial a nivel de carpeta base y sub base, obras de drenaje, entre otros daños a la propiedad pública y privada. Entre las causas comunes en la zona de sierra que provocan deslizamiento de taludes en carreteras, están los movimientos sísmicos por ser el Perú un ámbito sísmico donde se encuentra dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico; otra causa es la presencia de empresas mineras que transportan mineral en vehículos de alto tonelaje que igualmente producen vibración y desprendimiento de suelos. Los efectos en estas carreteras son generalmente la interrupción del tránsito vial, daños en la vía, en la propiedad de los vecinos aledaños a la carretera y también a los usuarios transportistas, generando altos costos en el mantenimiento vial, estando propensos a riesgos contra la vida y la salud los usuarios e infraestructura vial.

Lo mencionado se agrava en la zona norte del Perú, específicamente en el distrito de Pariacoto donde se producen constantes deslizamientos de taludes en la carretera que une la ciudad Huaraz con Casma, por las causas antes mencionadas como los movimientos sísmicos, fuertes precipitaciones pluviales y vibración en la carretera por el tránsito de vehículos pesados. Según Hermoza (2023). Según el informe preliminar del COER Áncash, las intensas lluvias caídas el domingo 12 de marzo del 2023, provocaron el deslizamiento de la ladera superior del cerro sobre un bus, causando daños a la vida y salud de las personas en la ruta nacional PE-3N, tramo Caraz - Huallanca, sector Toma Cañón del Pato, distrito de

Huallanca, provincia de Huaylas. Asimismo Paz Quiroz (2023) reportó que el 20 de marzo del 2023 Cien metros de la carretera nacional resultaron dañados por un derrumbe de material rocoso provocado por la inestabilidad de la ladera superior de la colina. El centro de operaciones de incidentes Regionales (COER) de Ancash indicó que el incidente se reportó alrededor del kilómetro 75, en el tramo Pariacoto - Yupash, cerca del caserío Chacchán.

En consecuencia, los objetivos del desarrollo sostenible enmarcan la solución del problema, que es el principal objetivo del estudio, específicamente el ODS 9 que busca infraestructura sostenible y resiliente CEPLAN (2017). Como lo indican los objetivos específicos consideran los avances científicos y tecnológicos (20), gestión medioambiental y desarrollo sostenible (19), gestión de catástrofes (33) y ordenación y gestión del territorio (34), que corresponden a los resultados deseados para el estudio.

El modelado de los taludes de corte de la carretera Huaraz - Casma será el principal objetivo de este estudio, aplicando el programa Slide mediante los modelos determinístico y probabilístico establecidos por Monte Carlo y Taylor, con el propósito de establecer las razones de estos deslizamientos. Según Bustos y Datun (2021). La estabilización de los taludes es un requisito constante para los organismos gubernamentales encargados del mantenimiento de la red de carreteras, ya que el clima de la zona contribuye a que se produzcan continuamente desprendimientos que afectan a la red, creando problemas de movilidad a los usuarios y elevando los costos del transporte en general. Sobre lo mismo Morante Carballo et al. (2019) indican que las influencias significativas en los procesos de desestabilización de las laderas proceden del agua y de la actividad sísmica. Esto incluye también la aplicación de actividades antropocéntricas sin realizar un examen técnico adecuado, lo que hace que estos materiales pierdan sus cualidades resistentes.

Asimismo, Rivera Chanca y Vicuña Ríos (2023) indican que las zonas de pendiente pueden definirse en función de la probabilidad de fallo gracias al programa Slide. Además, nos permite calcular la probabilidad de que se produzca un fallo, validando así cualitativamente las pendientes investigadas. Tiene más sentido que el primer oyente prediga cómo se comportará el segmento en términos porcentuales tras su correspondiente análisis. De este modo, se puede dedicar más esfuerzo a las áreas más cruciales que a las que tienen una probabilidad de fallo algo menor y pueden soportar las cargas.

La solución al problema señalado se ve reforzada por Torres Chung (2020) al indicar que, utiliza dos técnicas para determinar si la metodología de análisis es adecuada para cuantificar el riesgo de corrimiento de tierras. Las aproximaciones de Taylor y Monte Carlo, aplicadas mediante los métodos simplificados de Bishop y Morgenstern-Price, generan resultados que incluyen el factor de seguridad, la probabilidad de colapso y el índice de confiabilidad, considerando la imprevisibilidad e incertidumbre de los parámetros analíticos. En comparación con los métodos de la serie de Taylor y Monte Carlo en condiciones estáticas, el método simplificado de Bishop, basado en la serie de Taylor, es una herramienta útil para determinar el nivel de confiabilidad en el análisis de taludes. El método de Morgenstern Price, que se basa en la producción de Monte Carlo, logra un equilibrio de fuerzas y momentos entre cada dovela, mientras que el método simplificado de Bishop solo logra un equilibrio.

Por lo mencionado, la presente investigación se centra evaluar diversas metodologías respecto al nivel de riesgo del deslizamiento de taludes de la carretera Huaraz – Casma, para reducir el impacto en la economía de la zona; metodologías que deben estar acordes con las características del material deslizable, pendientes de los taludes, características geológicas y geotécnicas de los suelos, por lo expuesto se tienen las siguientes preguntas a continuación.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Interrogante Principal

¿Cómo se analizan los riesgos en el deslizamiento de taludes mediante los modelos probabilístico y determinístico en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, Ancash 2024?

1.2.2. Interrogantes Secundarias

- ¿Se podrán evaluar los riesgos en el deslizamiento de taludes mediante el modelo probabilístico en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, Ancash 2024?
- ¿Se podrán evaluar los riesgos en el deslizamiento de taludes mediante el modelo determinístico en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, Ancash 2024?
- ¿Se pueden comparar los riesgos en el deslizamiento de taludes determinados por los modelos probabilístico y determinístico, en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, Ancash 2024?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto de investigación es relevante socialmente porque va a permitir la solución al deslizamiento de taludes, favoreciendo la seguridad de la población. Según Moreno Rondoy y Ayala Alarco (2022) cuando se producen estos desprendimientos, puede haber una serie de dificultades, como problemas de gestión y logística provocados por posibles problemas de transporte, cierre de carreteras, etc.

Además, debe tenerse en cuenta que el flujo vehicular, transporte y usuarios, va de la mano con el respeto al medio ambiente; por lo que se consideran los objetivos del desarrollo sostenible ODS 9 y 11, que tienen en cuenta el desarrollo científico y tecnológico (20), la gestión de catástrofes (33), la ordenación y gestión del territorio (34), el desarrollo sostenible y la gestión medioambiental (19), que concatenan con lo deseable por la investigación (CEPLAN, 2017).

Tecnológicamente se justifica por la tecnología emergente en la utilización

de drones, instrumentos calibrados de última generación y herramientas tecnológicas para determinar los parámetros de deslizamiento de taludes. Al respecto, Moreno Andrade (2022) menciona que gracias a la utilización de técnicas tecnológicas para medir la acumulación de flujo, fue posible determinar qué sectores necesitaban una investigación más profunda y elaborar un producto final con obras de estabilización de taludes que garantizara la fluidez del tráfico en la carretera.

Metodológicamente, se plantea una solución adecuada a las necesidades interurbanas de las ciudades de Huaraz y Casma, estableciendo una metodología de análisis determinístico y probabilístico para evaluar riesgos en carreteras por deslizamiento de taludes, para luego estudiar los efectos de riesgo sísmico y permeabilidad hidráulica en el deslizamiento de taludes. En última instancia, se busca establecer las características físicas y mecánicas de los taludes para gestionar la estabilidad contra deslizamientos. Sobre el particular, Muñoz Martínez (2019) resalta la importancia del empleo de un programa de evaluación de la estabilidad de pendientes junto con un enfoque probabilístico, ya que permite incorporar características no tradicionales como la curva característica, la función de permeabilidad no saturada y la función de precipitación acumulada, además de las propiedades convencionales mecánicas e hidráulicas.

Estas propiedades no convencionales representan con mayor precisión el estado in situ del material, lo cual resulta en un modelo del comportamiento del suelo que refleja con mayor precisión la realidad y a una reducción de la incertidumbre de la práctica de la ingeniería.

Además, se justifica por el aporte tecnológico e innovador por la aplicación de modelos probabilísticos y determinísticos como base para determinar riesgos en el deslizamiento de taludes como solución de problemas comunes en las grandes ciudades, y que, requieren acciones inmediatas para mejorar el nivel de vida de los pobladores.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

- Analizar los riesgos en el deslizamiento de taludes mediante los modelos probabilístico y determinístico en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, Ancash 2024.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar los riesgos en el deslizamiento de taludes mediante el modelo probabilístico, en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, Ancash 2024.
- Evaluar los riesgos en el deslizamiento de taludes mediante el modelo determinístico, en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, Ancash 2024.
- Comparar los riesgos en el deslizamiento de taludes determinados por los modelos probabilístico y determinístico, en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, Ancash 2024.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Existen diversidad de investigaciones y tesis donde se evalúan soluciones frente a riesgos por deslizamientos de taludes en carreteras que resultan ser similares a la propuesta. Podemos destacar los siguientes.

8 2.1.1. Antecedentes internacionales

Reyes (2020) en su tesis "Causas del deslizamiento del km. 78+600 al Km. 78+800 de la ruta centroamericana CA-9 norte, municipio de Guastatoya, departamento el Progreso". Menciona que la evaluación mediante experimentos de laboratorio demuestra que la cohesividad y el ángulo de fricción interna de los materiales deslizantes presentan valores típicos de los suelos de grano fino. Asimismo, mencionó que los materiales, en particular la muestra encontrada en el cuerpo del talud, tienen una alta saturación. Además, subraya que la meteorización de los suelos es de media a alta, lo que provoca una pérdida de cohesividad y capacidad portante mediante el lavado de partículas cementantes. Su tesis concluye que los ángulos de fricción interna y la chesion de los materiales que experimentan deslizamiento presentan valores típicos de los suelos con granos finos. Del mismo modo, el análisis de los límites de Atterberg reveló una saturación significativa de los materiales, en particular de la muestra en el cuerpo del talud. Estas pruebas permiten una interpretación más precisa de calcular el nivel de meteorización del suelo cuando se combinan con la prueba del martillo Schmidt. Este antecedente está relacionado con las variables que se exploraran en el proyecto de investigación actual.

3 Bravo Oscco (2020) en su tesis "Análisis estratégico de evaluación, Estabilidad de taludes de Ceaccañan distrito Tambobamba, provincia de Cotabambas – región Apurímac periodo 2019". Menciona que cuando hay

ocurrencia de riesgo sísmico que aumenta la posibilidad de inestabilidad en el talud. Concluye que los elementos sísmicos tienen relevancia porque cuando estos ocurren aumenta la posibilidad de generar fallas e inestabilidad en el Talud. Este antecedente tiene relación con las variables que se explorarán en el proyecto de investigación actual.

Mejía Perez (2023) en su tesis "Incorporación del análisis pseudo estático al sistema HsQI para la clasificación geotécnica de taludes en corredores viales". Indica que la modificación del factor de seguridad, tanto pseudoestático como estático, es casi igual a uno, lo que convierte a los gráficos de correlación en una excelente herramienta para realizar cálculos rápidos cuando se conoce alguna de las variables que incluyen. Concluye que los gráficos de correlación son una herramienta eficaz para realizar cálculos rápidos utilizando cualquier variable que afecte al factor de seguridad. Esto se debe a que la relación entre el factor de seguridad y el HsQI, tanto estático como pseudoestático, es muy cercana a la unidad. Las variables que se explorarán en este proyecto de investigación están directamente vinculadas a este contexto.

8

2.1.2. Antecedentes nacionales

Breña Vasquez, (2019) en su tesis "Estabilidad de taludes de la carretera longitudinal de la sierra; tramo Cochabamba-Cutervo-Chiple, Cajamarca-Perú". Menciona que a partir de los datos obtenidos en campo y la aplicación de los programas se obtienen factores de seguridad estática mínima de 1.5 además, se calcula el factor de seguridad pseudoestático utilizando el programa Slide donde el valor mínimo es 1.0 concluye que. Todos los datos utilizados en este trabajo proceden de datos recogidos en campo y laboratorio y utilizando programas como Dips y Slides.

La forma del talud obtenida a partir de los perfiles topográficos junto con los factores geotécnicos se utiliza para llevar a cabo análisis estático. A continuación, se aplican criterios de fractura, como los de Mohr-Coulomb y Hoek Brown, entre otros, junto con el análisis de

diversas propiedades como peso unitario, ángulo de rozamiento interno, cohesión, consistencia, cohesividad, adherencia, compresibilidad, compactación y permeabilidad. Además, se emplean parámetros como la relación de Poisson y el módulo de Young para realizar el análisis pseudoestático, donde el factor de seguridad mínimo es 1.5. En este análisis, se considera la aceleración de la gravedad g , que en esta ubicación específica es $0.30g$ con un valor mínimo de 1.0. Posteriormente, se determina el factor de seguridad pseudoestático utilizando programas como Slide, GeoStudio o Geo5, entre otros. Estos antecedentes influyen en las variables que producirá este proyecto de estudio.

Rivera Huaranga (2022) en su tesis "Estabilidad de taludes en la carretera Cruz Blanca – Choten, Cajamarca". Demuestra que se adquieren factores de seguridad bajos cuando se producen precipitaciones intensas, y el análisis de los datos de los lugares clave de la carretera subraya la necesidad de un control geotécnico adecuado para evitar desprendimientos durante las precipitaciones intensas. Encuentra que se han identificado seis zonas críticas -puntos de monitoreo constante en la carretera Cruz Blanca-Chotén con bajos factores de seguridad- con sus correspondientes coordenadas UTM en base a los datos recopilados y analizados. Estas zonas requieren un control geotécnico suficiente para evitar deslizamientos en periodos de altas precipitaciones. Este contexto está relacionado con las variables que se explorarán en el proyecto de investigación actual.

8 2.1.3. Antecedentes Locales

Blas Cano (2023) En su tesis "Caracterización geotécnica para determinar el modelo de estabilización de talud a escala reducida, barrio Los Olivos, Independencia, Huaraz, Ancash, Perú – 2021". Menciona que, de acuerdo a los ensayos realizados del talud natural según la caracterización geotécnica, se observa que el factor de deslizamiento es menor para el tramo menos crítico y el factor de deslizamiento es mayor para el tramo más crítico de los taludes ensayados. en donde concluye que,

Con la utilización del programa Slide y el análisis de caracterización geotécnica del talud natural, Los factores de seguridad (FS) se determinaron para la sección menos importante, con un FS promedio de 1.077. Se determinó que el FS promedio era de 0.86 en la sección más elevada y crítica del tramo en el avance km 0+220. Este antecedente se relaciona con las variables que serán abordadas en el actual proyecto de investigación.

Tarazona Rincón (2017) en su tesis "Modelo matemático para determinar el índice de inestabilidad de suelos arcillosos en laderas aprovechables para transporte carrozable – carretera de acceso a el Pinar – tramo 0+840 a 0+980, localidad de Huaraz – Áncash". Señala que las clasificaciones ASHTO y SUCS del suelo en la región de estudio sugieren técnicamente que las características físicas del suelo que crea la pendiente son inestables en la consulta de la carretera.

Los sistemas tomados en consideración para la categorización del suelo en esta instancia, encuentra, corresponden al siguiente detalle: Clasificaciones SUCS "SC" y ASHTO "A - 2" para el suelo del área de estudio Reconocimiento incuestionable de la validez técnica de las características físicas del suelo que conforma el talud inestable objeto de la consulta.

La región investigada está clasificada como suelo de tipo A-2 (areno-arcilloso) por la AASHTO. La presencia de arcilla en el suelo sugiere las propiedades naturales de la región, potencialmente inestable en la superficie y dinámicamente activa en su interior.

En el ámbito de la investigación, el Sistema de Clasificación Única del Suelo (SUCS) proporciona un inventario de suelos comparable, como el SC (areno-arcilloso), que es un material granular físicamente inestable. Este contexto se relaciona con las variables que serán exploradas en el proyecto de investigación actual.

2.2. BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS

2.2.1. Modelo probabilístico

Fernández et al. (2018) señala como "el estudio basado en probabilidades sobre la estabilidad de los taludes, empleando un modelo que utiliza variables aleatorias para caracterizar los factores de resistencia. Para obtener los valores de las variables aleatorias, se emplea la simulación de Monte Carlo, que facilita la evaluación simultánea de la estabilidad del talud mediante el factor de seguridad, la probabilidad de fallo y el índice de confiabilidad."

Fernández et al. (2018) indica que son "Los resultados de la evaluación probabilística confirman la relación que existe entre la altura y la inclinación de un talud y su inestabilidad general. A medida que la inclinación del talud aumenta, también aumenta su inestabilidad y, por consiguiente, la probabilidad de que falle. Este mismo principio se aplica igualmente a la altura del talud."

2.2.2. Modelo determinístico

Escobar Toro y Valencia González (2012) indica que "la estabilidad de un talud en términos de un Factor de Seguridad (F.S.), obtenido de un análisis matemático determinístico; cuyos modelos, deben tener en cuenta la mayoría de los factores que afectan la estabilidad, como son la geometría del talud, parámetros geológicos, cargas dinámicas por efecto de los sismos, flujos de agua, propiedades de los suelos, etc."

2.2.3. Riesgo a Deslizamientos

Suárez Díaz, (1998) afirma que "con la información sobre la amenaza y con la información disponible sobre los elementos de riesgo, tales como áreas cultivadas, bosques, asentamientos humanos, obras de infraestructura existentes, elementos ambientales importantes, sitios arqueológicos, carreteras, industrias, etc., se debe analizar la vulnerabilidad de cada elemento al impacto de deslizamientos y los

efectos que de este se derivan. Al riesgo se le debe dar una escala y zonificar las áreas o puntos de riesgo”.

2.2.4. Análisis de Factor de Seguridad

Equilibrio Limite: Según Cho, (2007) “los problemas de estabilidad en taludes suelen ser evaluados mediante métodos de equilibrio límite utilizando el enfoque de rebanadas. En este método, la masa del suelo que está en riesgo de falla se divide en varias secciones verticales para determinar el factor de seguridad. Este factor se define como la relación entre la resistencia al corte disponible y la tensión de corte movilizada que es necesaria para mantener el equilibrio estático. Se resuelve el problema considerando el equilibrio estático tanto de cada rebanada individualmente como de la masa de suelo en su totalidad. No obstante, todos los métodos de corte son estáticamente indeterminados y, por lo tanto, requieren hacer ciertas suposiciones.”

Factor de Seguridad: Según Valiente Sanz et al., (2015) menciona que, “Para evaluar la estabilidad de una masa de suelo, es necesario calcular su coeficiente de seguridad contra deslizamientos, comparando las fuerzas que favorecen el deslizamiento con las que lo previenen.”

$$FS = \frac{Sf}{tmax} \quad (1)$$

En la ecuación 1, el factor de seguridad en relación con la resistencia del talud se define como la razón entre la resistencia cortante promedio del suelo (sf) y el esfuerzo cortante promedio que se genera a lo largo de la superficie potencial de falla ($tmax$).

La resistencia al deslizamiento (sf) se calcula como:

$$sf = \sigma' \cdot \tan \phi + C \quad (2)$$

En la ecuación 2, la resistencia al corte de un suelo (sf) se calcula como el producto del esfuerzo normal efectivo en la superficie potencial

de falla (σ') por la tangente del ángulo de fricción interna del suelo (ϕ) y sumando la cohesión (C')

La fuerza de corte movilizada (τ_{max}) se calcula como:

$$\tau_{max} = \sigma' \cdot \tan \phi_{max} + C'_{max} \quad (3)$$

En la ecuación 3, el esfuerzo cortante a lo largo de la superficie de falla (τ_{max}) se define como el producto del esfuerzo normal efectivo en dicha superficie (σ') por la tangente del ángulo de fricción interna específico para esa superficie (ϕ) y la suma de la cohesión efectiva (C'_{max})

Remplazando la ecuación 2 y 3 en 1 se tiene la siguiente expresión:

$$FS = \frac{\sigma' \cdot \tan \phi + C'}{\sigma' \cdot \tan \phi_{max} + C'_{max}} \quad (4)$$

En la ecuación 4, se presenta una alternativa para calcular el factor de seguridad, teniendo en cuenta la cohesión y el ángulo de fricción del suelo.

Valiente Sanz et al., (2015) Dado que existen incertidumbres tanto en las cargas aplicadas como en los parámetros de resistencia del terreno, se aplicará el factor de seguridad adecuado contra deslizamientos. En Perú, las normativas más comunes para establecer el factor de seguridad son:

Tabla 1.
Factores de seguridad a utilizar en el análisis de la estabilidad de taludes

NORMATIVA	TALUD PERMANENTE	
	ESTÁTICA	DINÁMICA
AASHTO LRFD	1.33-1.53	1.1
NAVFAC-DM7	1.5	1.2-1.15

FHWA-NHI-11-032	1	1.1
CE.020	1.5	1.25

Nota. Tomada de Valiente Sanz et al., (2015).

Según MVCS Norma CE.20, (2018) “el profesional responsable debe evaluar la estabilidad del talud tanto para cargas estáticas como sísmicas. El factor de seguridad mínimo requerido es de 1.5 para cargas estáticas y de 1.25 para cargas sísmicas. En caso de no alcanzar estos factores de seguridad, el Profesional Responsable debe optar por un método de estabilización o una combinación de varios métodos, y ajustar la solución hasta que cumpla con los factores de seguridad establecidos. Además, es necesario implementar una protección adecuada para la superficie del talud para prevenir la erosión.”

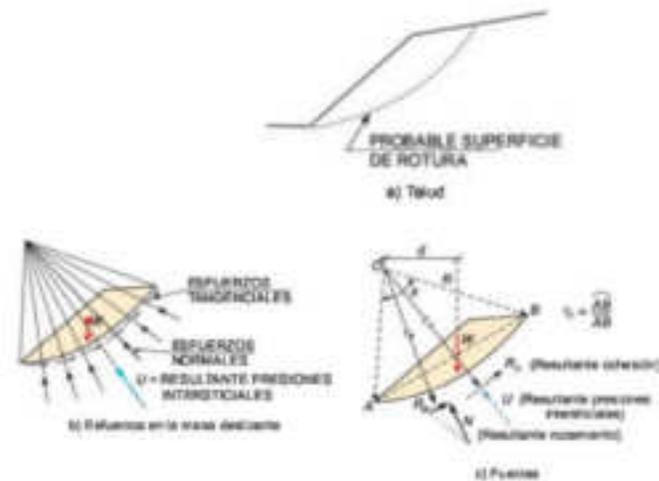
2.3. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

2.3.1. Método Taylor

Torres Chung, (2020) afirma que se “utilizaron dos métodos para escoger la metodología más adecuada para evaluar el riesgo de deslizamiento de tierras: Teniendo en consideración la imprevisibilidad e incertidumbre de los parámetros analíticos, tanto las series de Taylor con el método Bishop Simplificado como la simulación de Monte Carlo con el método Morgenstern Price, ofrecen resultados en relación al factor de seguridad, la probabilidad de fallo y el índice de fiabilidad.”

Según González de Vallejo et al., (2004) “Este método asume que la superficie de falla tiene forma circular. En dicha superficie de falla actúan varias fuerzas: el peso del suelo (W), la presión intersticial del agua que está distribuida a lo largo de la superficie (U), una fuerza tangencial (T) también distribuida sobre la superficie, y una fuerza normal (N) que, al igual que la tangencial, está distribuida sobre la superficie de falla. La Figura 1 ilustra un esquema de estas fuerzas en acción.

Figura 1.
Fuerzas que influyen en una superficie de falla curva.



Nota. "En la figura 1 se muestra Fuerzas que actúan sobre una superficie de rotura curva" González de Vallejo et al., (2004).

2.3.2. Método Monte Carlo

Lascano et al. (2023) menciona que "se puede producir un número determinado de casos operativos utilizando la simulación Monte Carlo. Al respecto, es crucial comprender el modelo que se utilizará, las entradas y salidas que deben producirse y las técnicas estadísticas o probabilísticas que se emplearán para describirlo."

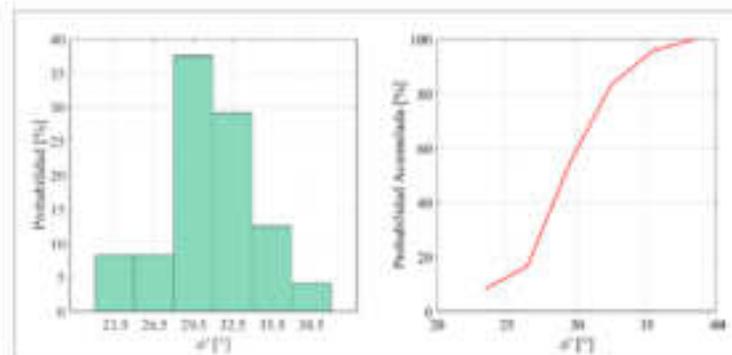
Fernández et al., (2018) menciona que un método alternativo para evaluar la estabilidad de taludes de forma probabilística es la simulación de Monte Carlo. En este enfoque, se generan valores discretos de las variables aleatorias de acuerdo con sus distribuciones de probabilidad, y se calcula la función de desempeño para cada conjunto de datos generado. Este proceso se repite múltiples veces para obtener una función de densidad de probabilidad discreta y aproximada de la función de desempeño.

Cálculo de probabilidades: Según Ayensa Jimenez, (2016) "usando la aproximación de la integral, como se mencionó anteriormente, estas probabilidades también pueden servir como restricciones en el problema de optimización, así como para el análisis de la función objetivo y la evaluación del rendimiento."

Cálculo de parámetros estadísticos: Según Ayensa Jimenez, (2016) "mediante cálculo directo, se obtiene una realización de las variables de salida correspondiente a cada realización generada de las variables de entrada, utilizando el modelo. A partir de esto, es posible realizar análisis estadísticos, es decir, inferir los parámetros poblacionales que se desean calcular a partir de los datos muestrales. Este cálculo se lleva a cabo en ambas fases."

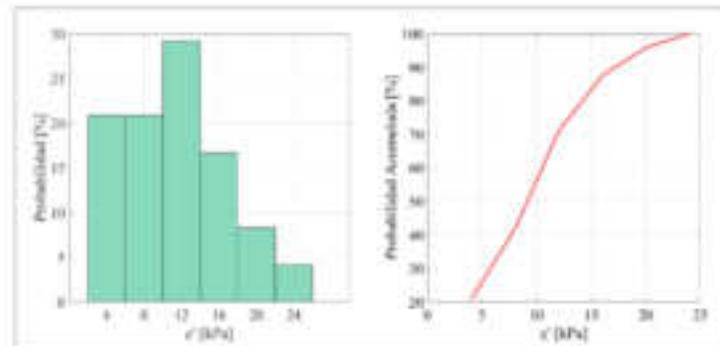
Figura 2.

Histograma y curva de probabilidad de falla el Angulo de fricción interna



Nota. "En la figura 2 se muestra el histograma y curva de probabilidad acumulada para el Angulo de fricción interna" Fernández et al., (2018)

Figura 3.
Histograma y curva de probabilidad acumulada para cohesión efectiva



Nota. "En la figura 3 se muestra el histograma y curva de probabilidad acumulada para la cohesión efectiva" Fernández et al., (2018)

2.3.3. Geometría del talud

Braja, (2015) define como "la superficie del suelo no es horizontal, la gravedad hará que parte de la tierra se deslice hacia abajo. Si la pendiente es lo suficientemente pronunciada, puede producirse un fallo del talud, es decir, el deslizamiento de la masa de tierra hacia abajo. A lo largo de la superficie de ruptura, la fuerza de empuje supera la resistencia al corte del suelo."

2.3.4. Propiedades físicas del suelo

Contenido de humedad: Según Braja (2015) es la razón del peso del agua al peso de los sólidos en un volumen dado del suelo.

Límite líquido: Según Braja (2015) es el porcentaje de humedad necesario para sellar 12,7 mm del fondo de la ranura después de 25 golpes.

Límite plástico: Según Braja (2015) porcentaje de contenido de humedad en el que el suelo se desmorona cuando se enrolla en hilos de 3,2 mm de diámetro.

Peso específico: Braja (2015) define como correspondencia del peso por unidad de volumen del suelo.

Granulometría: Villalaz (2004) define como calculo la proporción de cada una de las numerosas granulometrías que componen el suelo.

2.3.5. Propiedades mecánicas de los suelos

Cohesión: según Braja (2011) es la resistencia al corte de un suelo, el valor de cohesión para arenas y arcillas normalmente consolidadas es igual a cero. Para arcillas sobre consolidadas, mayor que cero.

Ángulo de fricción: Según Braja (2011) se determina mediante dos pruebas de laboratorio comunes -la prueba triaxial y la prueba de corte directo-, representa el factor más significativo en la evaluación de la resistencia al corte.

Infiltración: según Suárez Díaz (1998) es el proceso por el que el agua penetra en el suelo o la roca a través de discontinuidades, poros o intersticios de la masa del suelo

Factores Sísmicos: Según Suárez Díaz (1998) las laderas y los taludes pueden derrumbarse rápidamente debido a las tensiones cíclicas de gran magnitud que pueden producir los movimientos sísmicos. Además, las tensiones oscilatorias que provocan deformaciones cíclicas o la creación de altas presiones de poro pueden reducir la resistencia al corte de un suelo.

Altura del Talud: Según Fernández et al., (2018) los resultados de la evaluación probabilística confirman la conexión entre la altura y la inclinación de un talud con su inestabilidad global. A mayor altura del talud, mayor será la inestabilidad y, por ende, la probabilidad de falla.

Inclinación del talud: Según Fernández et al., (2018) Los resultados derivados de la evaluación probabilística validan la correlación entre la altura y la inclinación de un talud y su inestabilidad global. Se observa que una mayor inclinación del talud incrementa la inestabilidad global y, consecuentemente, eleva la probabilidad de falla.

Deslizamientos: Según Suárez Díaz, (1998) "consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. Los deslizamientos

pueden obedecer a procesos naturales o a desestabilización de masas de tierra por el efecto de cortes, rellenos, deforestación, etc.”.

Según MVCS Norma CE.20, (2018) “es el movimiento descendente de una masa de suelo o roca, en el cual el desplazamiento ocurre principalmente a lo largo de una superficie de falla o en zonas estrechas con alta deformación cortante.”

Estabilidad: Braja (2015) define la estabilidad como la “seguridad a la comparación del corte desarrollado a lo largo de la superficie de ruptura más probable con la resistencia del suelo al corte”.

Programa Slide: Según Medina Zaldívar y Cartaya Pires, (2018) “es una herramienta eficaz para el análisis y obtención del factor de seguridad en taludes y diseñar métodos de corrección de la estabilidad”.

Suelo: Según Braja, (2015) define al suelo como “Agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas sólidas”.

Permeabilidad: según MVCS Norma CE.20, (2018) “es la a facilidad con la que el agua puede atravesar los poros y las discontinuidades de un suelo o de un macizo rocoso”.

Talud: Según Braja (2015) “Superficie de suelo expuesto que se sitúa en un ángulo con la horizontal”.

Coefficiente sísmico: según MVCS Norma CE.20, (2018) “es el parámetro que ajusta el cálculo de la sobrecarga sísmica horizontal en la base del edificio, teniendo en cuenta la relación entre el período de vibración de la estructura y el del terreno de cimentación.”

Factor Zona: Según MVCS Norma E.030, (2018) “el país está dividido en cuatro zonas, según se ilustra en la figura N° 1. Esta zonificación se basa en la distribución geográfica de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y su atenuación con la distancia desde el epicentro, además de la información neotectónica.”

Figura 4.
zonas de actividad sísmica en Perú



Nota. En la figura 4 se observa la zonificación sísmica de acuerdo a la MVCS Norma E.030, (2018).

A cada zona se le asigna un factor Z , como se detalla en la Tabla N° 2. Este factor se define como la aceleración horizontal máxima en suelo rígido que tiene un 10% de probabilidad de ser superada en un periodo de 50 años. El factor Z se presenta como una fracción de la aceleración debida a la gravedad.

Tabla 2.
Factores de zona "Z"

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Nota. En la Tabla 2. se observa los factores de zona "Z" de acuerdo a (MVCS Norma E.030, 2018)

Factor de suelo: Según MVCS Norma E.030, (2018) “se toma en cuenta el tipo de perfil que mejor represente las condiciones locales, utilizando los valores correspondientes del factor de amplificación del suelo *S*, así como los periodos *TP* y *TL* especificados en las Tablas N° 3 y N° 4.”

Tabla 3.
Factores de suelo “S”

ZONA	SUELO			
	S0	S1	S2	S3
Z4	0.8	1	1.05	1.1
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.8	1.00	1.60	2.00

Nota. En la Tabla 3, se observa los factores de suelo “S” de acuerdo a MVCS Norma E.030, (2018)

Tabla 4.
Periodos TP Y TL

	Perfil del suelo			
	S0	S1	S2	S3
TP (s)	0.30	0.40	0.60	1.00
TL (s)	3.00	2.50	2.00	1.60

Nota. En la Tabla 4, se observa los “factores de amplificación del suelo *S* y de los periodos *TP*” de acuerdo a MVCS Norma E.030, (2018).

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

3.1. HIPÓTESIS

3.1.1. Hipótesis general

Los riesgos en el deslizamiento de taludes se analizan con efectividad mediante los modelos probabilístico y determinístico en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, Ancash 2024.

3.1.2. Hipótesis específicas

- Los riesgos en el deslizamiento de taludes se evalúan adecuadamente mediante el modelo probabilístico en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, Ancash 2024.
- Los riesgos en el deslizamiento de taludes se evalúan adecuadamente mediante el modelo determinístico en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, Ancash 2024.
- Los resultados de riesgos en el deslizamiento de taludes son comparados por los modelos probabilístico y determinístico, en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, Ancash 2024.

3.2. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

3.2.1. Identificación de la variable Independiente

- Variable independiente: Modelo probabilístico

3.2.1.1. Dimensión

- Método de Taylor

3.2.1.2. Indicadores

- Factor de seguridad estático
- Factor de seguridad dinámico

3.2.1.3. Escala para la medición de variables

- De intervalo

3.2.2. Identificación de la variable Independiente

- Variable independiente: Modelo Determinístico

3.2.2.1. Dimensión

- Método Monte Carlo

3.2.2.2. Indicadores

- Factor de seguridad estático
- Factor de seguridad dinámico

3.2.2.3. Escala para la medición de variables

- De intervalo

3.2.3. Identificación de la variable dependiente

- Variable dependiente: Riesgo al deslizamiento de Taludes

3.2.3.1. Dimensión

- Geometría del talud
- Propiedades físicas del suelo
- Propiedades mecánicas de suelos
- Infiltración
- Factores sísmicos

3.2.3.2. Indicadores

- Altura del talud
- Inclinación del talud
- Área de deslizamiento
- Granulometría

- Contenido de humedad
- Límites de consistencia
- Resistencia al corte
- Cohesión
- Ángulo de fricción
- Conductividad Hidráulica
- Permeabilidad
- Factor zona
- Factor de suelo
- Coeficiente sísmico

3.2.3.3. Escala para la medición de la variable

- De intervalo

3.2.4. Variables intervinientes

- No se tiene

Tabla 5.
Operacionalización de las variables

Variable	Definición de la variable	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente VI1: Modelo probabilístico	Fernández et al. (2018) señala como "el estudio basado en probabilidades sobre la estabilidad de los taludes, empleando un modelo que utiliza variables aleatorias para caracterizar los factores de resistencia. Para obtener los valores de las variables aleatorias, se emplea la simulación de Monte Carlo, que facilita la evaluación simultánea de la estabilidad del talud mediante el factor de seguridad, la probabilidad de fallo y el índice de confiabilidad."	El método Monte Carlo se utiliza para cuantificar tanto el factor de seguridad dinámico como estático de la variable modelo probabilístico.	Método Monte Carlo	Factor de seguridad estático Factor de seguridad dinámico
Variable independiente VI2: Modelo determinístico	Escobar Toro y Valencia González (2012) indica que "la estabilidad de un talud en términos de un Factor de Seguridad (F.S.), obtenido de un análisis matemático determinístico; cuyos modelos, deben tener en cuenta la mayoría de los factores que afectan la estabilidad, como son la geometría del talud, parámetros geológicos, cargas dinámicas por efecto de los sismos, flujos de agua, propiedades de los suelos, etc."	La variable modelo determinístico se operacionaliza mediante el método de Taylor para determinar el factor de seguridad dinámico y estático	Método Taylor	Factor de seguridad estático Factor de seguridad dinámico Factor de falla
Variable dependiente: Riesgos al deslizamiento de taludes	Suárez Díaz, (1998) afirma que "con la información sobre la amenaza y con la información disponible sobre los elementos de riesgo, tales como áreas cultivadas, bosques, asentamientos humanos, obras de infraestructura existentes, elementos ambientales importantes, sitios arqueológicos, carreteras, industrias, etc., se debe analizar la vulnerabilidad de cada elemento al impacto de deslizamientos y los efectos que de este se derivan. Al riesgo se le debe dar una escala y zonificar las áreas o puntos de riesgo".	La variable riesgo de deslizamiento se operacionaliza mediante sus dimensiones Geometría del talud, propiedades físicas del suelo, propiedades mecánicas de suelos, infiltración y factores sísmicos	Geometría del talud Propiedades físicas del suelo Propiedades mecánicas de suelos Infiltración Factores sísmicos	Altura del talud Inclinación del talud Área de deslizamiento Granulometría Contenido de humedad Límites de consistencia Resistencia al corte Cohesión Ángulo de fricción Conductividad hidráulica Permeabilidad Factor zona Factor de suelo Coef. sísmico

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigación básica. Según Ñaupas Paitan et al., (2018) “Es una búsqueda continua que ha estado en marcha desde los primeros indicios de la curiosidad científica, con el objetivo de comprender los enigmas del origen del universo, de la vida natural y de la vida humana.”

3.4. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Nivel relacional. Según Hernández Sampieri, (2014) “Busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población.”

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Diseño no experimental. Según Hernández Sampieri, (2014) “Se trata de investigaciones en las que no se manipulan deliberadamente variables, sino que se observan los fenómenos en su entorno natural para su análisis.”

3.6. ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN

3.6.1. Ámbito de la investigación

Sector Pariacato - carretera Huaraz - Casma.

3.6.2. Tiempo social de la investigación

La tesis se ha desarrollado en el período marzo - junio 2024.

3.7. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.7.1. Unidad de estudio.

Geográficamente el sector Pariacoto, se encuentra en el distrito de Pariacoto, provincia de Huaraz y departamento de Ancash.

3.7.2. Población.

La población considerada para la tesis es de 100 metros de deslizamiento entre el Km 60+900 – 61+000. Al respecto Hernández Sampieri, (2014 p. 174) la define como el “Conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones”.

3.7.3. Muestra.

La muestra será no probabilística a criterio del tesista o por conveniencia, y se considera en la misma magnitud de la población. La unidad muestral: 03 muestras de 40 kg a los 10m., 50m., y 90m, de deslizamiento, Hernández Sampieri, (2014 p. 173) "la define como subgrupo del universo o población del cual se recolectan los datos y que debe ser representativo de ésta."

3.8. PROCEDIMIENTO, TECNICAS E INSTRUMENTOS

3.8.1. Procedimiento

En la zona se ubicaron 03 puntos de exploración geotécnica del talud en el sector Pariacoto, kilometro 69+900 hasta el 61+000, carretera Huaraz – Casma.

3.8.2. Técnicas

- La técnica de recopilación de la información fue la observación y análisis de medición.

3.8.3. Instrumentos

- Fichas de recolección de datos de campo: se usaron para anotar el perfil estratigráfico y las propiedades físicas que se encontraran en cada una de las calicatas.
- Fichas de recolección de datos de laboratorio: se usarán para anotar los datos de los ensayos que se realizarán además de anotar alguna ocurrencia.
- Instrumento de ensayo de Corte Directo: se emplearon para evaluar las propiedades de resistencia al corte, tales como la cohesión y el ángulo de fricción.

a) Equipos básicos de laboratorio

Los instrumentos fundamentales de laboratorio empleados para llevar a cabo pruebas de mecánica de suelos, son los siguientes:

- Tamices
- Balanza con precisión de 0.1 gramos
- Horno para el secado de las muestras
- Copa Casagrande.
- Vidrio esmerilado.
- Contenedores

b) Normas técnicas de ensayo de mecánica de suelos

- Las normas técnicas utilizados para la ejecución de las pruebas de geotecnia y geología, fueron los siguientes:
- Norma técnica 339.127 (Contenido de humedad)
- Norma técnica 339.128 (Análisis Granulométrico por tamizado)
- Norma técnica 339.129 (Límite líquido y Límite plástico)
- Norma técnica 339.134 (Sistema Unificado de Clasificación SUCS)
- Norma técnica 339.143 (Densidad in situ)
- Norma técnica 339.171 (Corte Directo)
- Programa de cómputo Slide 6.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. DESCRIPCION DE TRABAJO DE CAMPO

4.1.1. Estudio Básicos de campo

Estudio topográfico.

El estudio topográfico es un estudio básico previo necesario para poder determinar posteriormente los riesgos que pudiera generarse en el deslizamiento del talud de la carretera Pariacoto determinándose para el efecto el plano inclinado del talud y el área de influencia del mismo que consiste en la obtención del área, curvas de nivel, forma y características del terreno, con el fin de representarlos adecuadamente. Este proceso consistió en la medición y registro de coordenadas, elevaciones, distancias horizontales y verticales, ángulos y otros datos relevantes utilizando instrumentos como: utilizando estación total Leica modelo TS – 04 y GPS Garmin GPSMAP 64xs.

Figura 5.

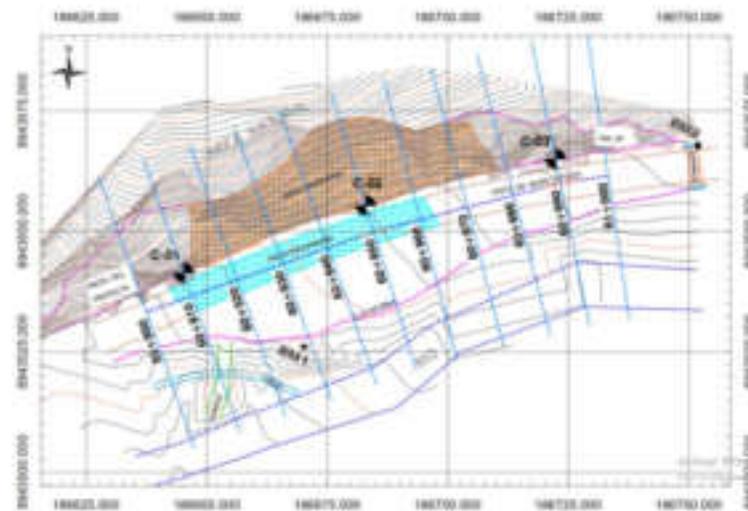
Levantamiento topográfico de la pista y talud



Nota. En la figura 5 se observa el levantamiento topográfico con estación total Leica TS07.

El plano topográfico resultante del levantamiento en campo se observa en la figura 6 donde las curvas de nivel demarcadas con color anaranjado muestran el talud que se ha deslizado sobre la carpeta del pavimento flexible entre los Km 60+900 hasta el Km 61+000, dañándola y que se muestra demarcada con el color celeste. El área de influencia de los daños producidos por el deslizamiento y los posibles daños sufridos por la calzada se demarca con una línea roja continua.

Figura 6.
Plano topográfico del levantamiento de campo de la zona de estudio



Nota. El ámbito de estudio se ubica en las coordenadas mencionadas en la tabla 6. En el mismo plano topográfico se fija la ubicación de los Bench Mark – BM1 y BM2 con las coordenadas que se especifican en la siguiente Tabla 6.

Tabla 6.
Coordenadas de los puntos de control y de las calicatas

SIMBOLO	NORTE (m)	ESTE (m)
BM-1	8943526.037	186670.192
BM-2	8943567.761	186751.890
C-1	8943541.384	186645.246

C-2	8943555.317	186683.003
C-3	8943564.995	186722.356

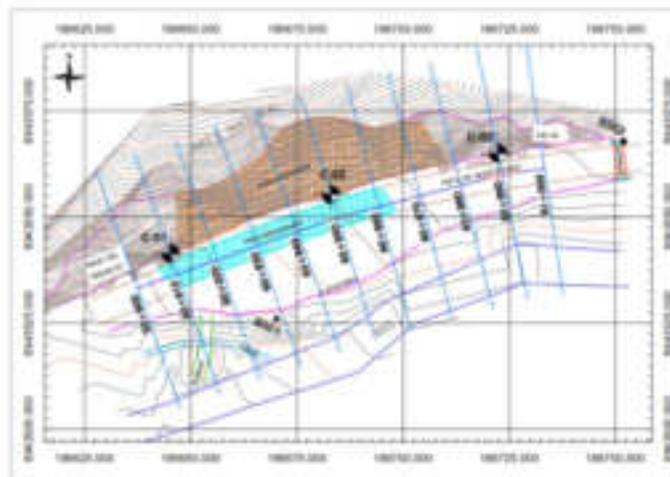
Nota. En la tabla 6 se han ubicado los puntos de control en campo, de la misma forma se han ubicado los puntos de extracción de muestras.

Obtención de muestras de campo

La obtención de muestras de campo se ha realizado en el talud deslizado que comprende 100 m. de longitud como se observa en el plano topográfico de la figura 7. La extracción de muestras sigue un protocolo que permite recolectar especímenes en la zona más representativa que contengan la variedad de material deslizado aplicando trincheras a cielo abierto considerando que es producto del deslizamiento; se a realizado por conveniencia del investigador fijando la extracción de estas, a los 10 m, 50 m y 90 m de la longitud total del movimiento de deslizamiento del talud, tal como se muestra en la figura 7.

Figura 7.

Plano topográfico de la ubicación de Calicatas en la zona de estudio



Nota. El ámbito de estudio se ubican los puntos de exploración aplicando trincheras a cielo abierto considerando que es producto del deslizamiento

4.2. DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Con las muestras obtenidas insitu aplicando trincheras a cielo abierto considerando que es producto del deslizamiento, se realizaron los ensayos en el laboratorio dedicado a pruebas de mecánica de suelos y materiales, para determinar la caracterización física y clasificación de suelos tales como el contenido de humedad, granulométrica del suelo por tamizado, como el límite líquido, el límite plástico, la clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el ángulo de fricción (ϕ) y la cohesión (c). Las coordenadas de cada sondeo se detallan en la tabla 6 del Anexo 29. Utilizando las muestras seleccionadas, se procedió inicialmente a determinar las propiedades físicas del suelo mediante pruebas de contenido de humedad, análisis granulométrico por tamizado, límite líquido y límite plástico. Los resultados se muestran en la tabla 7, tabla 8 y tabla 9, Anexo 7, anexo 8, anexo 9, anexo 10, anexo 11, anexo 14, anexo 15, anexo 16, anexo 17, anexo 18, anexo 21, anexo 22, anexo 23, anexo 24, anexo 25. Luego, se evaluaron las características mecánicas del suelo mediante el ensayo de corte directo, del cual se obtuvieron el ángulo de fricción (ϕ) y la cohesión (c) del suelo. Los resultados se muestran en la tabla 10, anexo 12, 19 y 26.

Utilizando los resultados del ángulo de fricción (ϕ) y la cohesión (c), se calcularon los factores de seguridad tanto determinístico como probabilístico. Las secciones fueron diseñadas en el programa Slide utilizando el enfoque determinístico de Taylor y el método probabilístico de Monte Carlo. Se determinaron los factores de seguridad estático e infiltrado, así como el factor de seguridad dinámico e infiltrado, y se compararon estos valores con los mínimos requeridos por la normativa (1.50 y 1.25, respectivamente). Con base en estos análisis, se concluye que el talud puede ser estable o inestable bajo condiciones estáticas debido a su peso propio, siendo las precipitaciones pluviales un factor desencadenante. Además, durante situaciones dinámicas, el talud también se percibe como vulnerable ante eventos sísmicos, especialmente si se

combinan con lluvias intensas simultáneas. Por lo tanto, es crucial realizar una evaluación detallada de su estabilidad.

4.3. RESULTADOS

4.3.1. Características físicas del suelo

Con las muestras obtenidas insitu, se determinan las propiedades físicas del suelo que a continuación se muestran:

Textura: se refiere a la proporción relativa de diferentes tamaños de partículas minerales en el suelo, la composición en porcentajes de grava, arena y finos se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7.
Composición del suelo

CALICATA	GRAVE %	ARENA %	FINOS %
C-1	67.50	26.10	6.40
C-2	52.00	39.40	8.60
C-3	34.30	54.00	11.70

Límite de consistencia: es una propiedad física que describe el comportamiento de un suelo en relación con su plasticidad. Se emplea para describir la plasticidad de los suelos que contienen arcilla. Existen tres principales tipos de límites de consistencia: el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad del suelo se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8.
Valores de límite de consistencia del suelo

CALICATA	LL	LP	IP
C-1	24.20	16.90	7.30
C-2	25.10	17.60	7.50
C-3	26.50	18.40	8.10

Clasificación SUCS del suelo: Es un sistema empleado para clasificar y describir los suelos según sus características físicas e ingenieriles. La clasificación SUCS de los suelos se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9.
Clasificación SUCS del suelo

Calicata	SUCS	Descripción
C-1	GW-GC	Grava bien gradada con arcilla y arena
C-2	GW-GC	Grava bien gradada con arcilla y arena
C-3	SP-SC	Arena pobremente gradada con arcilla y grava

4.3.2. Propiedades mecánicas del suelo

Las características de resistencia tales como Angulo de fricción y cohesión se muestran en la tabla 10.

Tabla 10.
Valores de propiedades mecánicas del suelo

Calicata	ϕ	Cohesión	
	(°)	(kg/cm ²)	(Ton/m ²)
C-1	33.79	0.18	1.80
C-2	33.82	0.14	1.14
C-3	32.37	0.20	2.00

4.3.3. Evaluación de riesgos en el deslizamiento de taludes por el modelo determinístico

Método desarrollado por Taylor.

Analizar la estabilidad de taludes implica estudiar las fuerzas de resistencia y las fuerzas actuantes para determinar el factor de seguridad

(F.S.) bajo condiciones estáticas, dinámicas y/o por infiltración debido a la lluvia. Se llevará a cabo el análisis determinístico de estabilidad del talud en el sector Pariacoto utilizando el software Slide 6.0. Este análisis tomará en cuenta los datos recopilados de mecánica de suelos de tres calicatas (Calicata 1 en la sección 60+910, Calicata 2 en la sección 60+950, y Calicata 3 en la sección 60+990), ubicadas según la distribución en planta mostrada en la Figura 6 y sus respectivas coordenadas listadas en la Tabla 6. Se aplicarán las metodologías de Taylor, método simplificado de Bishop, GLE/Morgenstern-Price y Spencer. La calicata 1 está compuesta por suelo de grava bien gradada con presencia de arcilla y arena, con valores de cohesión de 18.00 kN/m², ángulo de fricción interna de 33.79°, peso específico de 18.48 kN/m³ y permeabilidad hidráulica de 0.249 m/d. En cuanto a la calicata 2, también compuesta por suelo de grava bien gradada con arcilla y arena, presenta una cohesión de 14.00 kN/m², ángulo de fricción de 33.82°, peso específico de 18.51 kN/m³ y una permeabilidad hidráulica de 0.225 m/d. Por su parte, la calicata 3 consiste en suelo de arena pobremente gradada con presencia de arcilla y grava, con características mecánicas de cohesión de 20.00 kN/m², ángulo de fricción interna de 32.37°, peso específico de 18.63 kN/m³ y permeabilidad hidráulica de 0.203 m/d. Según MVCS Norma E.030, (2018) "el talud se encuentra en la zona sísmica 3 con un factor de zona de 0.35 y un factor de amplificación sísmica para el tipo de suelo S2 equivalente a 1.15." La aceleración prevista para el diseño se calcula multiplicando estos factores, resultando en un coeficiente pseudo estático de 0.201 para el análisis de deslizamiento de taludes. Además, se ha determinado la permeabilidad hidráulica de acuerdo al tipo de suelo: 0.249 m/d para la calicata 1, 0.225 m/d para la calicata 2 y 0.203 m/d para la calicata 3."

Aplicando la metodología determinística de Taylor y utilizando el método GLE/Morgenstern-Price, se determinaron los siguientes factores de seguridad para las secciones del talud en el sector Pariacoto:

Para la sección 60+910, figura 8 y figura 9. Los índices de seguridad ¹ estático y dinámico fueron de 0.792 y 0.592, respectivamente. En condiciones de infiltración de agua, figura 10 y figura 11, los índices de seguridad ¹ estático y dinámico fueron de 0.784 y 0.347, respectivamente. En la sección 60+950, figura 12 y figura 13, estos índices fueron de 0.728 y 0.532, en condiciones estáticas y dinámicas, respectivamente, y de 0.725 y 0.527 con infiltración de agua figura 14 y figura 15. Finalmente, ¹ en la sección 60+990, figura 16 y figura 17 los índices de seguridad estático y dinámico fueron de 0.732 y 0.609, respectivamente, mientras ¹ que con infiltración de agua, figura 18 y figura 19 fueron de 0.725 y 0.527, respectivamente.

Según el enfoque determinístico de Taylor, los factores de seguridad estáticos para las tres secciones anexo 30 son superiores a los factores dinámicos o pseudoestáticos, ya que estos últimos indican la capacidad de resistencia del talud ante eventos sísmicos. Además, los índices de seguridad disminuyen con la infiltración de agua tanto en condiciones estáticas como dinámicas ¹ sin lluvia, lo que sugiere que las precipitaciones son un factor crucial que desencadena los deslizamientos de talud, en el sector Paríacoto, tramo Casma – Huaraz.

Figura 8. ³ Análisis determinístico estático con el programa Slide, sección 60+910

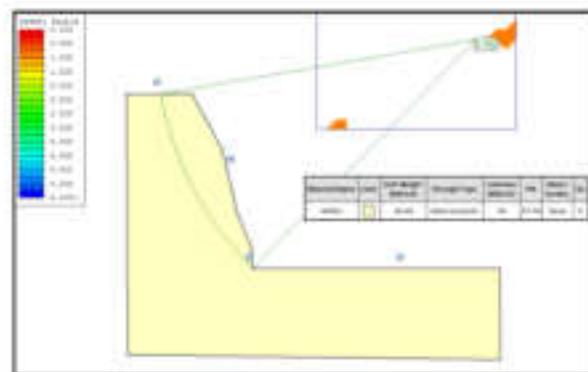


Figura 11.

Análisis determinístico dinámico con permeabilidad, con el programa Slide, sección 60+910

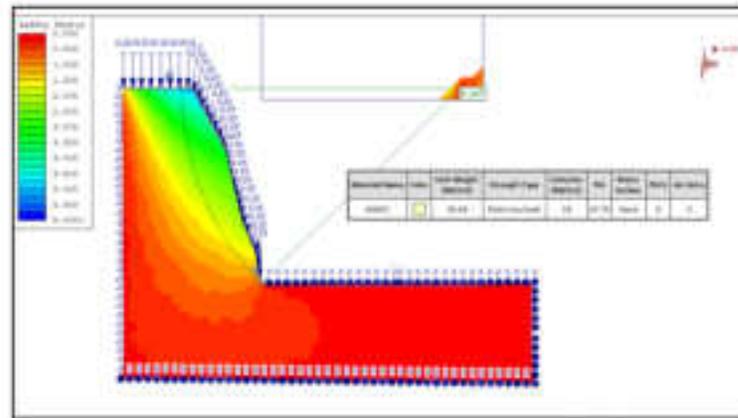


Figura 12.

Análisis determinístico estático con el programa Slide, sección 60+950

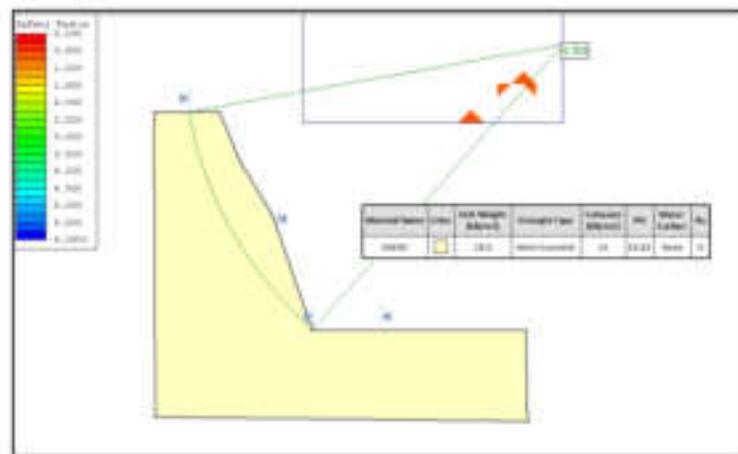
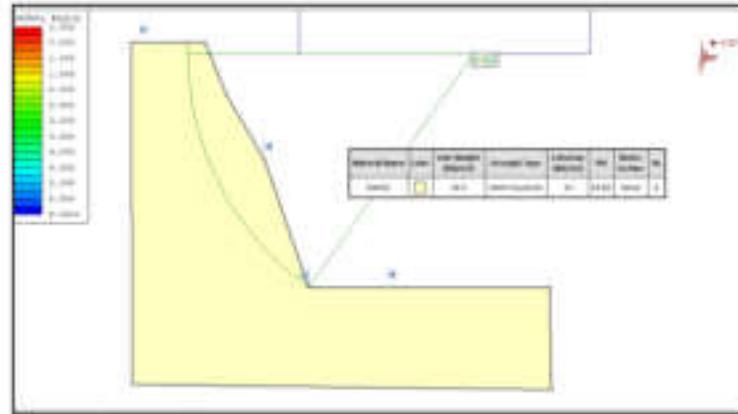


Figura 13.

Análisis determinístico dinámico con el programa Slide, sección 60+950

**Figura 14.**

Análisis determinístico estático por coeficiente de permeabilidad, con el programa Slide, sección 60+950

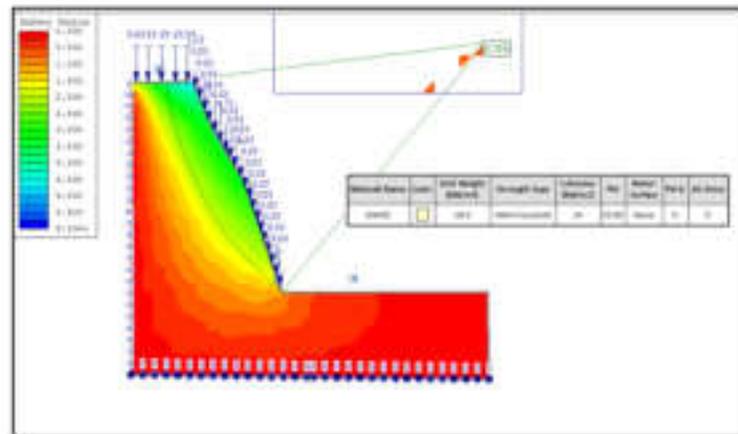


Figura 15.

Análisis determinístico dinámico con permeabilidad, con el programa Slide, sección 60+950

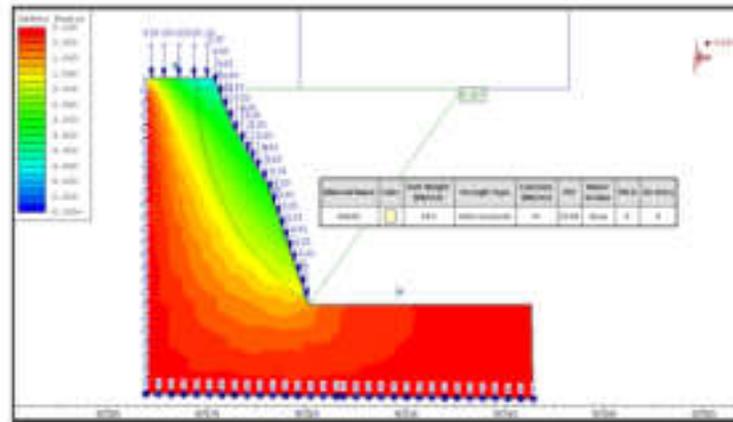


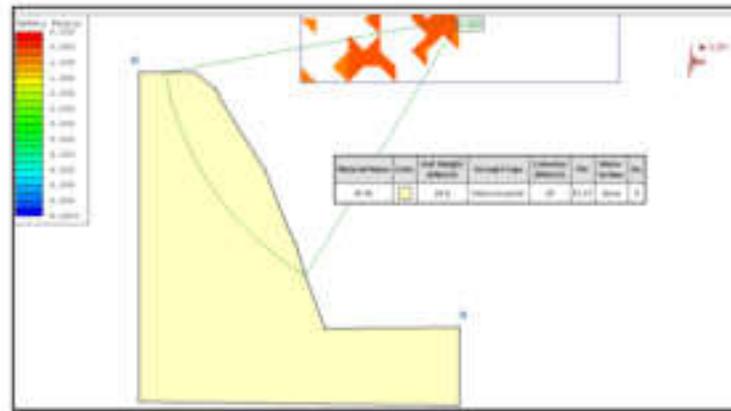
Figura 16.

Análisis determinístico estático con el programa Slide, sección 60+990



Figura 17.

Análisis determinístico dinámico con el programa Slide, sección 60+990

**Figura 18.**

Análisis determinístico estático por coeficiente de permeabilidad, con el programa Slide, sección 60+990

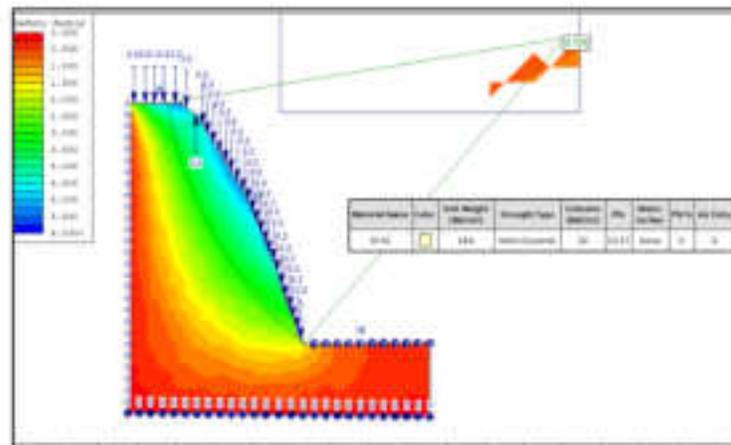
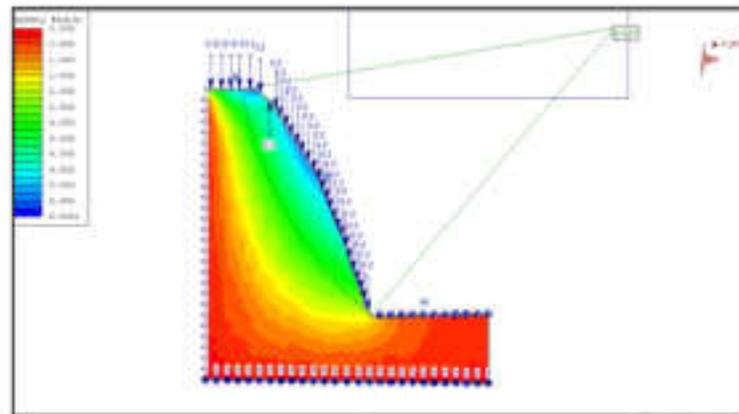


Figura 19.

Análisis determinístico dinámico con permeabilidad, con el programa Slide, sección 60+990 del talud sector Pariacoto, por el método determinístico



4.3.4. Evaluación de riesgos en el deslizamiento de taludes por el modelo

Probabilístico

Enfoque de Monte Carlo

Para analizar el factor de seguridad estático, dinámico y por infiltración ante lluvias en el talud deslizado en el sector Pariacoto, se utilizó el método probabilístico de Monte Carlo mediante el programa Slide 6.0. Se consideraron los resultados de los estudios de mecánica de suelos de las calicatas 1, 2 y 3, cuya disposición en planta se muestra en la Figura 6 y cuyas coordenadas se detallan en la Tabla 6. La calicata 1, compuesta por suelo de grava bien graduada con presencia de arcilla y arena, mostró una cohesión de 18.00 kN/m², un ángulo de fricción interna de 33.79°, un peso específico de 18.48 kN/m³ y una permeabilidad hidráulica de 0.249 m/d. En la calicata 2, que posee características similares de grava bien graduada con presencia de arcilla y arena, se observaron valores de 14.00 kN/m² para la cohesión, 33.82°

para el ángulo de fricción, 18.51 kN/m³ para el peso específico y una permeabilidad hidráulica de 0.225 m/d. En contraste, la calicata 3, compuesta por suelo de arena pobremente graduada con arcilla y grava, mostró una cohesión de 20.00 kN/m², un ángulo de fricción interno de 32.37°, un peso específico de 18.63 kN/m³ y una permeabilidad hidráulica de 0.203 m/d. En el enfoque probabilístico, estos parámetros fueron tratados como variables aleatorias con una desviación estándar de 1.00, lo que resultó en la realización de 1000 iteraciones para el análisis de la estabilidad del talud. Además, el talud está clasificado según MVCS Norma E.030, (2018) "en la zona sísmica 3, con un factor de zona de 0.35 y un factor de amplificación sísmica para el tipo de suelo S2 equivalente a 1.15." la aceleración requerida para el diseño se determinó multiplicando estos factores, resultando en un coeficiente pseudo estático de 0.201 para el análisis dinámico del talud en el sector Pariacoto.

Finalmente, para el análisis estático y dinámico con infiltración. Además, la permeabilidad hidráulica se determinó según el tipo de suelo: 0.249 m/d para la calicata 1, compuesta por grava bien graduada con arcilla y arena; 0.225 m/d para la calicata 2, también de grava bien graduada con arcilla y arena; y 0.203 m/d para la calicata 3, constituida por arena pobremente graduada con arcilla y grava.

En el estudio probabilístico de la estabilidad del talud mediante el método Monte Carlo, En la sección 60+910, figura 20 y figura 24, se determinó que los índices de seguridad estático y dinámico promedio fueron de 0.794 y 0.582, respectivamente, con una certeza del 100% de ocurrencia de fallo. Esto se observa en el histograma de los factores de seguridad, donde las barras rojas representan valores por debajo de 1.00. En el caso del talud afectado por infiltraciones debido a lluvias, figura 25 y figura 26 se registraron factores de seguridad estático y dinámico de 0.786 y 0.347, respectivamente. En la sección 60+950, figura 27 y figura 31 los factores de seguridad estático y dinámico promedio fueron de 0.726 y 0.531, con una probabilidad de fallo del 100% también. Los

índices de seguridad frente a infiltraciones por lluvias figuran 32 y figura 33 fueron de 0.726 y 0.531, respectivamente. En la sección 60+990, figura 34 y figura 38 se registraron índices de seguridad estático y dinámico promedio de 0.731 y 0.616, con una probabilidad de fallo del 100%. Los índices de seguridad frente a infiltraciones por lluvias figuran 39 y figura 40 fueron de 0.725 y 0.524, respectivamente.

Figura 20.

Análisis probabilístico estático con el programa Slide, sección 60+910.

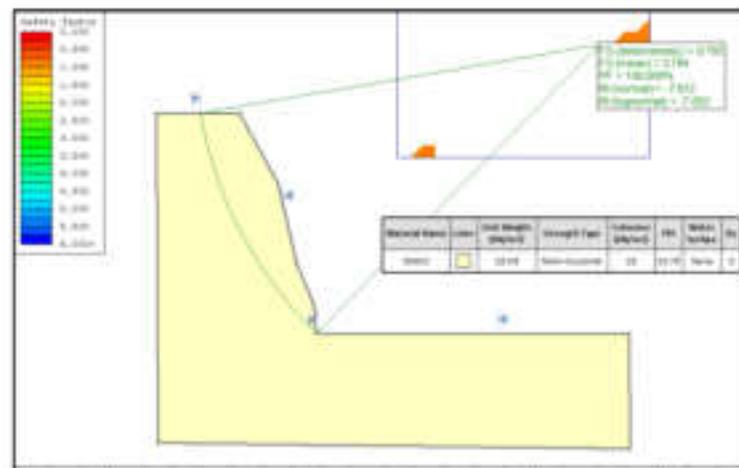
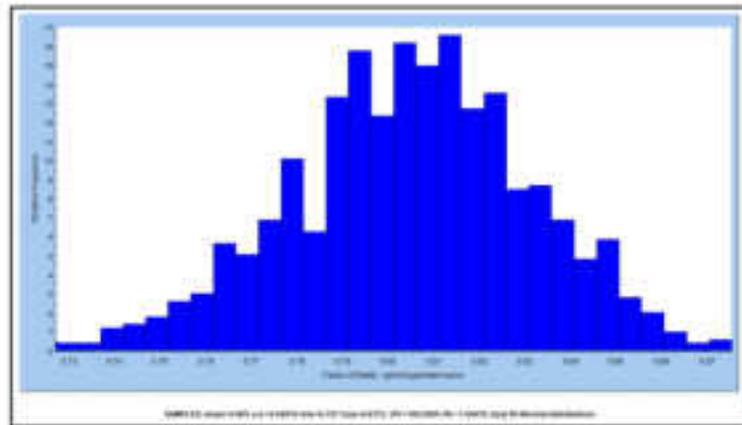


Figura 21.

Análisis probabilístico, Histograma del F.S. estático, sección 60+910

**Figura 22.**

Análisis probabilístico gráfico acumulativo del índice de seguridad estático de la sección 60+910

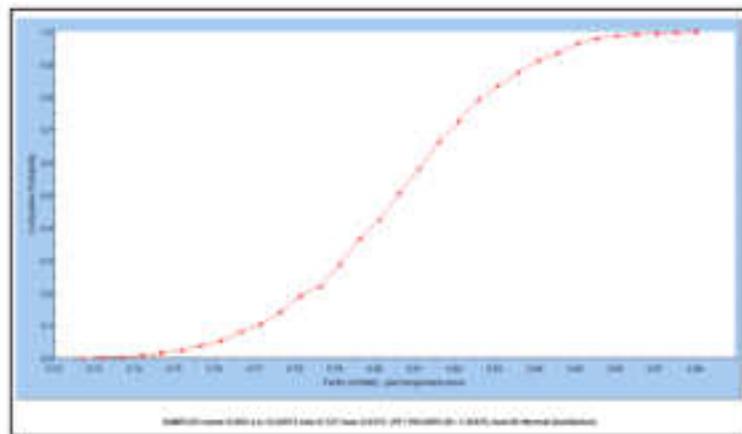
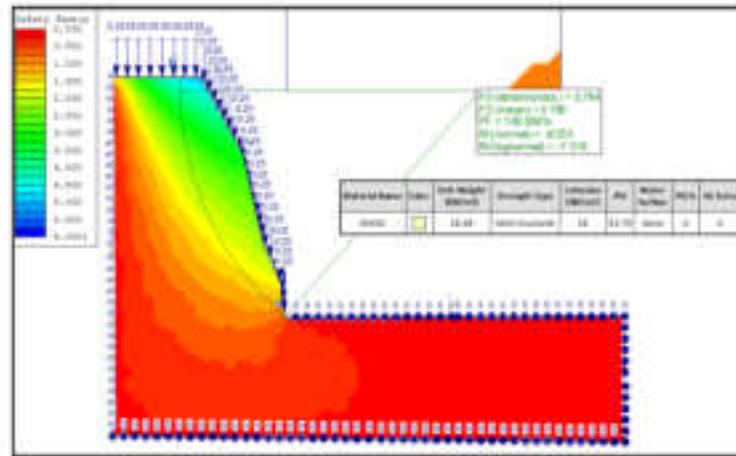


Figura 25.

Análisis de probabilidad estático con infiltración por precipitaciones, sección 60+910

**Figura 26.**

Análisis probabilístico dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 60+910

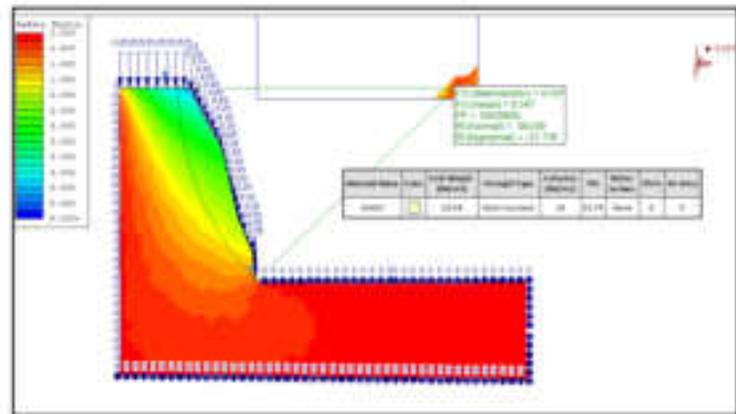


Figura 27.

Análisis probabilístico estático con el programa Slide, sección 60+950

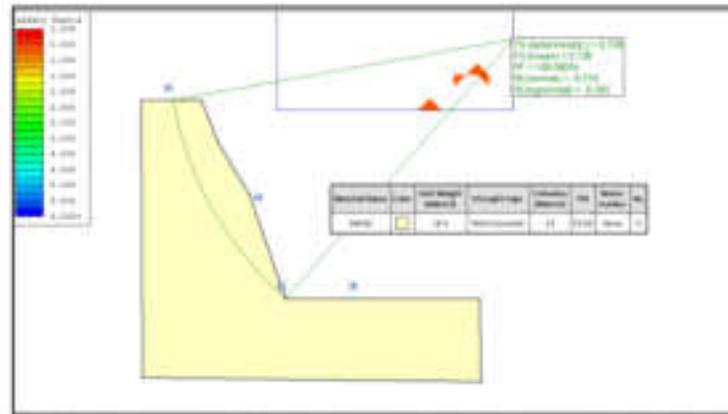


Figura 28.

Análisis probabilístico, Histograma del F.S. estático, sección 60+950

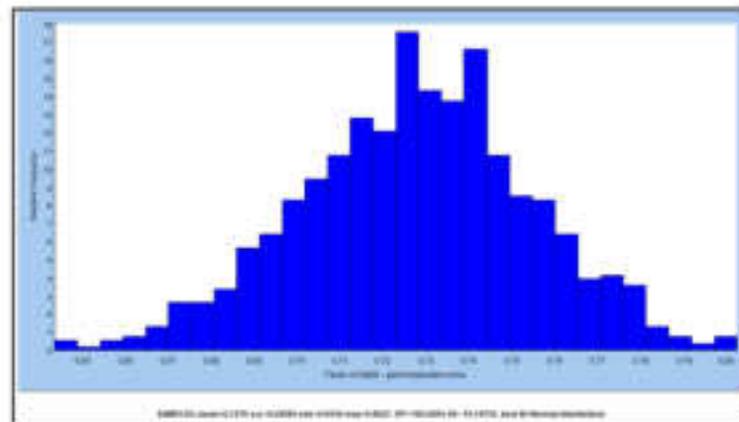
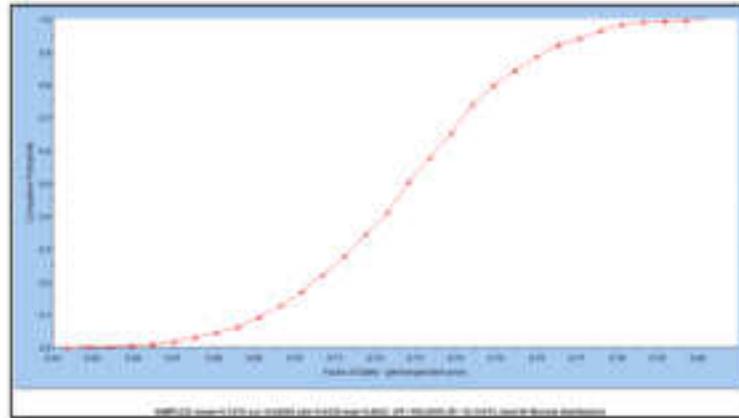


Figura 29.

Análisis probabilístico gráfico acumulativo del índice de seguridad estático de la sección 60+950

**Figura 30.**

Análisis probabilístico ángulo de fricción Vs FS, sección 60+950

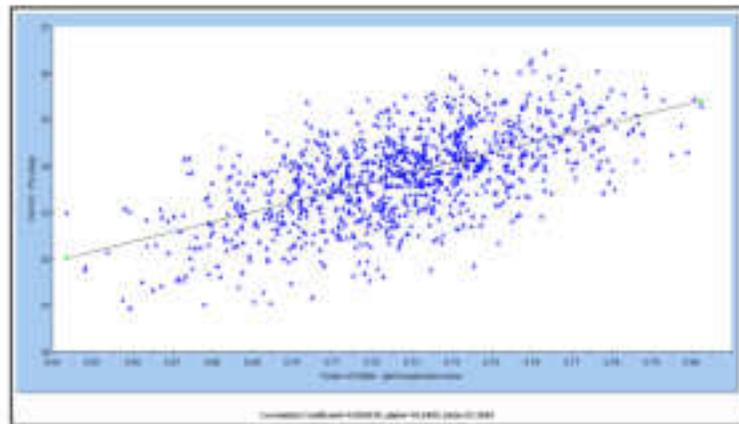


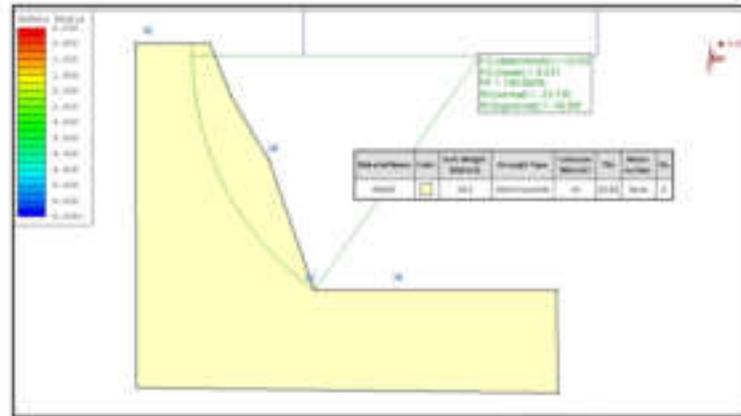
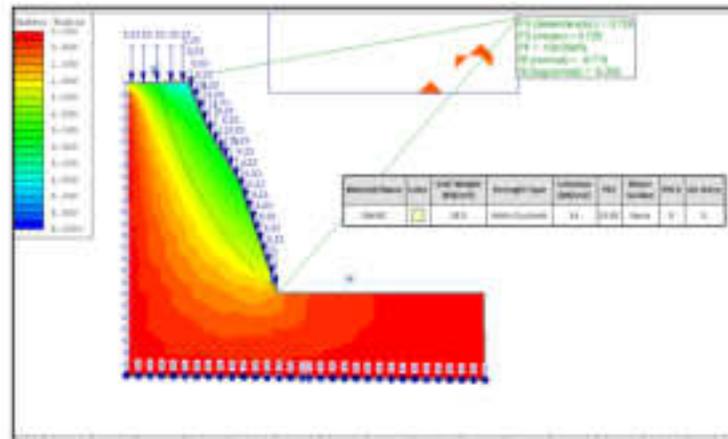
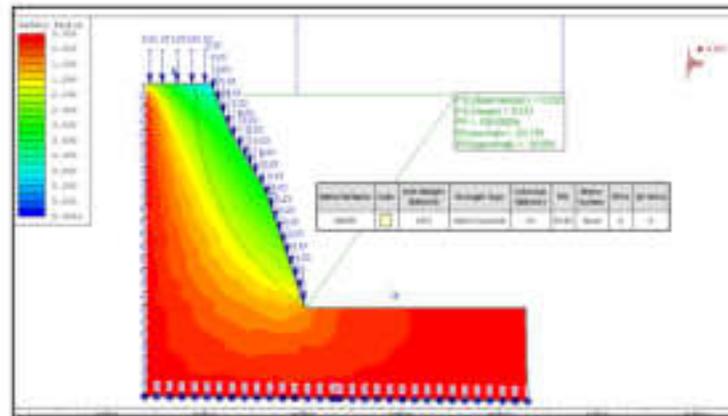
Figura 31.*Análisis probabilístico dinámico, sección 60+950***Figura 32.***Análisis de probabilidad estático-infiltración de lluvias, sección 60+950*

Figura 33.

Análisis probabilístico índice dinámico afectado por precipitaciones, sección 60+950

**Figura 34.**

Análisis probabilístico estático con el programa Slide, sección 60+990

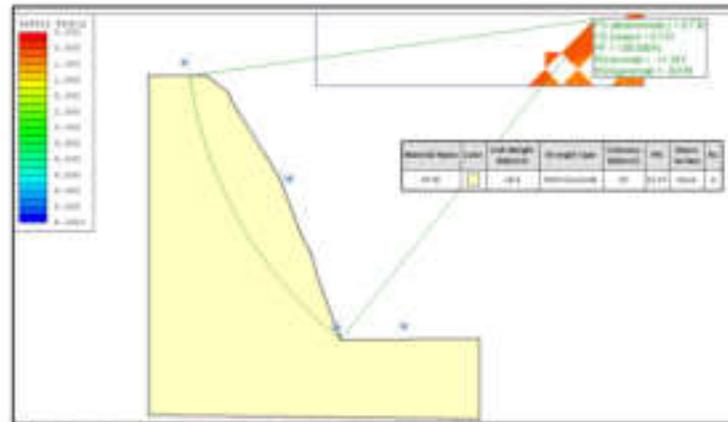


Figura 35.
Análisis probabilístico, Histograma del F.S. estático, sección 60+990

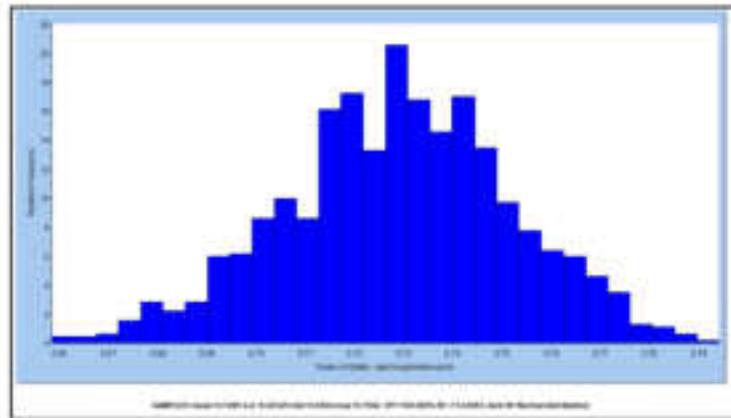


Figura 36.
Análisis probabilístico gráfico acumulativo del índice de seguridad estático de la sección 60+990

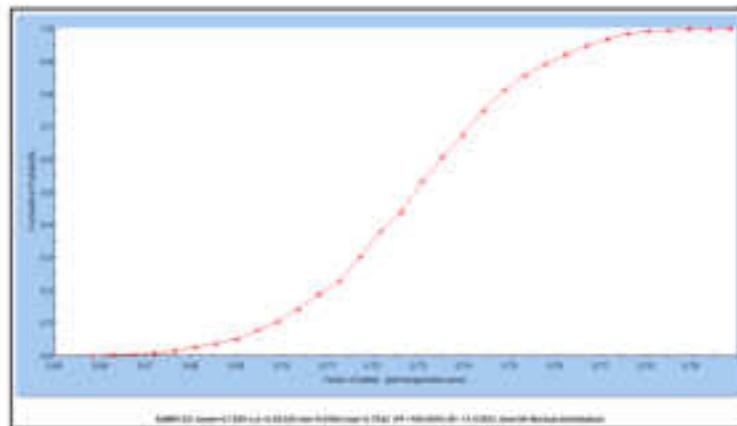
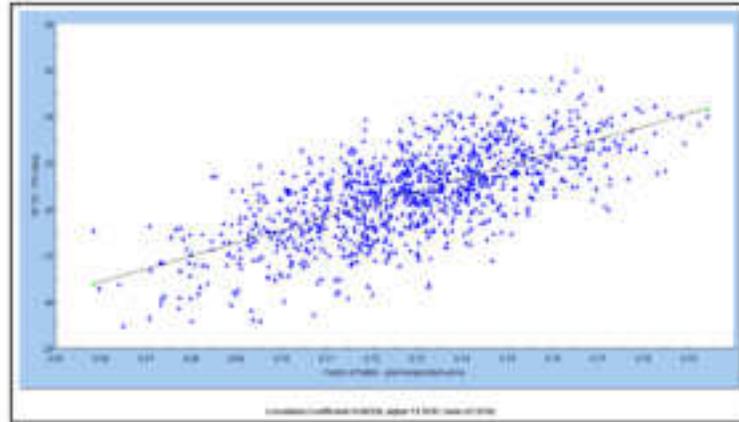
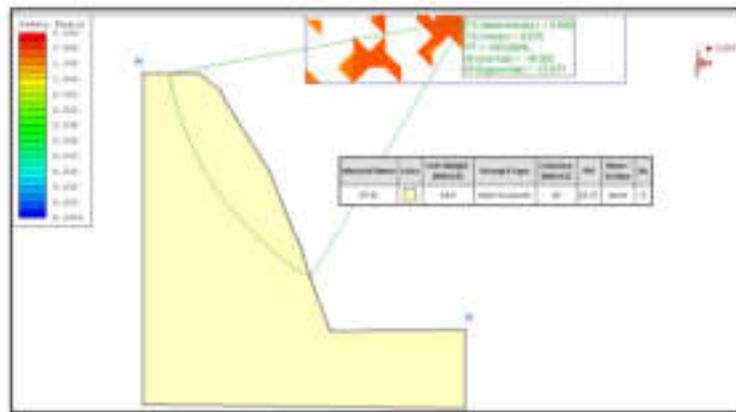


Figura 37.*Análisis probabilístico ángulo de fricción Vs FS, sección 60+990***Figura 38.***Análisis probabilístico dinámico, sección 60+990*

4.3.5. Comparar los riesgos en el deslizamiento de taludes determinados por los modelos probabilístico y determinístico,

Se han determinado los índices de seguridad estático y dinámico, así como los índices estático y dinámico bajo infiltración de agua para las tres secciones. Los resultados indican que los factores de seguridad estáticos son superiores a los dinámicos o pseudoestáticos, los cuales reflejan la resistencia del talud frente a eventos sísmicos.

Además, los índices de seguridad disminuyen con la infiltración de agua tanto en condiciones estáticas como dinámicas sin lluvia, lo que indica que las precipitaciones son un factor clave que provoca deslizamientos de taludes. en el sector Pariacoto, tramo Casma – Huaraz.

Se ha determinado que las tres secciones presentan factores de seguridad estático y dinámico con una probabilidad de falla del 100%. Sin embargo, los factores de seguridad ante la infiltración de precipitaciones pluviales, tanto en condiciones estáticas como dinámicas, también son inferiores, con una probabilidad de falla del 100%. Esto destaca la significativa influencia de las precipitaciones pluviales como un factor determinante en los deslizamientos de taludes. en el sector Pariacoto, tramo Casma – Huaraz.

Los resultados del modelo determinístico nos proporcionar un único factor de seguridad, indicando la estabilidad del talud bajo condiciones estáticas o dinámicas, estáticos o dinámicos con infiltración. Por otro lado, el modelo probabilístico no da resultados con una distribución de probabilidades de falla o factor de seguridad, reflejando la variabilidad en los datos de entrada.

Al comparar ambos resultados, se puede observar cómo la incertidumbre en los parámetros afecta la estabilidad del talud. El modelo probabilístico suele ser más conservador, ya que considera todas las posibles combinaciones de valores de parámetros.

4.4. PRUEBA ESTADISTICA

Se busca realizar una comparación entre los riesgos de deslizamiento en taludes, utilizando dos enfoques diferentes: el modelo probabilístico y el modelo determinístico. Obteniendo los valores de los parámetros del suelo, como el ángulo de fricción, la cohesión y la permeabilidad. Estos registros comprenden resultados de pruebas de laboratorio y finalmente se obtiene los valores de factor de seguridad estático y dinámico realizando el modelamiento con el programa Slide.

5 4.5. COMPROBACION DE HIPOTESIS

Verificación de hipótesis general

Los riesgos en el deslizamiento de taludes se analizan con efectividad mediante los modelos probabilístico y determinístico en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, Ancash 2024.

H0: Los riesgos en el deslizamiento de taludes No se analizan con efectividad mediante los modelos probabilístico y determinístico

H1: Los riesgos en el deslizamiento de taludes Si se analizan con efectividad mediante los modelos probabilístico y determinístico

Al evaluar los riesgos asociados al deslizamiento de taludes, la caracterización geotécnica proporcionó resultados concretos tanto en el laboratorio como en el análisis teórico del terreno natural. Se determinaron los factores de seguridad estático y dinámico (ver Tablas 11 y 12) mediante modelos probabilísticos y determinísticos con el software Slide, los cuales resultaron ser menores que 1.5 en condiciones estáticas y 1.25 bajo condiciones sísmicas.

Por lo tanto, se concluye que el talud es inestable según los criterios establecidos en MVCS Norma CE.20, (2018). Con base en estos resultados, la probabilidad de falla es del 100%, lo cual lleva al rechazo de la hipótesis nula (H0) y a la aceptación de la hipótesis alternativa (H1). Estos hallazgos demuestran la inestabilidad del talud al evaluar el factor de seguridad mediante enfoques probabilísticos y determinísticos.

Verificación de hipótesis específicas 1

Los riesgos en el deslizamiento de taludes se evalúan adecuadamente mediante el modelo probabilístico en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, Ancash 2024.

H0: Los riesgos en el deslizamiento de taludes No se evalúan adecuadamente mediante los modelos probabilístico

H1: Los riesgos en el deslizamiento de taludes Si se evalúan adecuadamente mediante los modelos probabilístico

La hipótesis nula (H0) ha sido descartada a favor de la hipótesis alternativa (H1), dado que la investigación muestra consistentemente una probabilidad de falla del 100% (ver Tabla 17) en todos los análisis de las secciones del talud utilizando el método probabilístico.

Comprobación de hipótesis específicas 2

Los riesgos en el deslizamiento de taludes se evalúan adecuadamente mediante el modelo determinístico en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, Ancash 2024.

H0: Los riesgos en el deslizamiento de taludes No se evalúan adecuadamente mediante los modelos determinístico

H1: Los riesgos en el deslizamiento de taludes Si se evalúan adecuadamente mediante los modelos determinístico

Se ha rechazado la hipótesis nula (H0) en favor de la hipótesis alternativa (H1). La investigación demuestra que los factores de seguridad resultaron ser menores que 1.5 en condiciones estáticas y 1.25 tanto en condiciones estáticas como dinámicas, incluyendo la dinámica con infiltración. Esto indica la inestabilidad del talud, ya que los valores están por debajo de los límites establecidos en MVCS Norma CE.20, (2018) Suelos y Taludes. Por lo tanto, se concluye que el talud es inestable y presenta riesgo de falla (ver Tabla 16) en todas las secciones analizadas según el método determinístico.

Comprobación de hipótesis específicas 3

Los resultados de riesgos en el deslizamiento de taludes son evaluados tanto por el modelo probabilístico como por el determinístico, en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, Ancash 2024.

H0: Los riesgos en el deslizamiento de taludes No se comparan por los modelos probabilístico y determinístico

H1: Los riesgos en el deslizamiento de taludes Si se comparan por los modelos probabilístico y determinístico

Se ha rechazado la hipótesis nula (H0) a favor de la hipótesis alternativa (H1), dado que, según la investigación, los resultados indican un riesgo de falla con una probabilidad del 100% (ver Tablas 17) en todos los análisis de las secciones del talud utilizando tanto el método probabilístico como el determinístico.

Tabla 11.

Factores de seguridad determinístico con el programa Slide

Sección del talud	Método determinístico (Taylor)			
	Estático	Dinámico	Estático con infiltración	Dinámico con infiltración
60+910	0.792	0.592	0.784	0.347
60+950	0.728	0.532	0.725	0.527
60+990	0.732	0.609	0.725	0.527

Tabla 12.

Factores de seguridad probabilístico con el programa Slide

Secciones del talud	Método probabilístico (Monte Carlo)			
	Estático	Dinámico	Estático con infiltración	Dinámico con infiltración
60+910	0.794	0.582	0.786	0.347
60+950	0.726	0.531	0.726	0.531
60+990	0.731	0.616	0.725	0.524

4.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Nuestros resultados muestran que el modelo determinístico proporciona un único factor de seguridad que indica la estabilidad del talud

bajo diversas condiciones estáticas o dinámicas, incluyendo infiltración. En contraste, el modelo probabilístico ofrece resultados con una distribución de probabilidades de falla o factor de seguridad, reflejando la variabilidad en los datos de entrada, coincidiendo con los resultados obtenidos por ambos enfoques lo que coincide con los resultados obtenidos por Tórriz & Medinaceli, (2021) en su investigación titulada "Aplicación de la simulación de Montecarlo a la evaluación probabilística de la estabilidad de taludes en roca", donde se verifica que la simulación de Montecarlo permite el análisis probabilístico de la estabilidad de taludes en roca en los que la modalidad previsible de fallamiento es la falla en cuña; en otras palabras, permite enriquecer la información proporcionada por un factor de seguridad sobre la estabilidad de un talud con la probabilidad de falla del talud. Si el factor de seguridad de un talud es, por ejemplo, igual a 1.2; teóricamente, el talud es estable (factor de seguridad superior a la unidad); Sin embargo, la principal interrogante que enfrenta el ingeniero encargado de evaluar la estabilidad del talud es si el talud será verdaderamente estable, considerando la considerable incertidumbre asociada a algunas de las variables involucradas en el cálculo del factor de seguridad. Cuando el factor de seguridad se acompaña de una probabilidad de falla del talud, por ejemplo, del 0.010 o 1%, es probable que el ingeniero concluya que el talud es estable. En contraste, si la probabilidad de falla del talud es del 0.450 o 45%, el ingeniero probablemente tendrá serias reservas acerca de la estabilidad del talud. En resumen, comprender la probabilidad de que un talud falle facilita una toma de decisiones más informada.

Asimismo, con los hallazgos de Torres Chung, (2020). En su investigación titulada "Evaluación de riesgo de deslizamientos y propuesta geotécnica de la trocha Ayash-Huaripampa tramo km 3+260 al km 3+300" Se concluye que, para la evaluación precisa del riesgo de deslizamiento, se utilizaron dos enfoques metodológicos: la Serie de Taylor y Monte Carlo, aplicando los métodos Bishop Simplificado y Morgenstern-Price

respectivamente. Esto se debió a la consideración de la variabilidad e incertidumbre de los parámetros de análisis, obteniendo resultados significativos en cuanto al factor de seguridad. La probabilidad de falla se refiere a la posibilidad de que ocurra un evento no deseado, mientras que el "índice de confiabilidad" indica la medida de certeza o seguridad en los resultados obtenidos; En contraste, el método de Morgenstern-Price, que se basa en la simulación de Monte Carlo, asegura el equilibrio de fuerzas y momentos entre cada dovela, a diferencia del método de Bishop Simplificado, que solo cumple con el equilibrio de momentos. Esto resultó en una probabilidad de falla más alta para el método de Monte Carlo, con un 34.3%, comparado con el 30% obtenido con la Serie de Taylor. Además, se observaron índices de confiabilidad de 0.371 y 0.316, respectivamente, para ambos métodos.

Así también, Fernández et al., (2018) en su investigación titulada "Evaluación probabilística de la estabilidad de taludes en suelos residuales de granito completamente descompuesto". Está de acuerdo con nuestros hallazgos al afirmar que el análisis probabilístico es una herramienta efectiva en la actualidad, aprovechando los avances tecnológicos y la capacidad para incorporar la incertidumbre natural en problemas que tradicionalmente se abordan de manera determinística. El empleo conjunto de ambas metodologías será provechoso para la ingeniería geológica y geotécnica, no solo para seleccionar un factor de seguridad adecuado, sino también para enriquecer la perspectiva en la gestión de estos problemas, al considerar una gama más amplia de factores en el análisis y mejorar así la toma de decisiones. No obstante, es crucial ser cautelosos con las simplificaciones empleadas en el análisis probabilístico, las cuales podrían subestimar la probabilidad de que un talud falle. El desafío actual en este campo consiste en establecer el riesgo que se considera aceptable, es decir, determinar cuál es la probabilidad de que ocurra un fallo que se puede tolerar al evaluar la estabilidad de un talud o estructura, y qué criterios deben utilizarse para establecerlo.

Estos hallazgos respaldan la idea de que el análisis probabilístico tiene una función crucial en la ingeniería geológica y geotécnica moderna al integrar la incertidumbre natural en problemas que tradicionalmente se han abordado de manera determinística, aprovechando el uso de tecnologías avanzadas. La combinación de estas dos metodologías en la evaluación de problemas complejos amplía el enfoque analítico y mejora la toma de decisiones al tener en cuenta diversas variables. No obstante, es importante usar con prudencia las simplificaciones en el análisis probabilístico para evitar subestimar la probabilidad de que ocurra un fallo. Un reto importante consiste en establecer el nivel de riesgo aceptable al determinar la probabilidad de fallo adecuada para evaluar la estabilidad de taludes o estructuras, y en definir los criterios relevantes para este propósito.

Tabla 13.

Composición del suelo promedio

CALICATA	GRAVE	ARENA	FINOS
	%	%	%
C-1	67.50	26.10	6.40
C-2	52.00	39.40	8.60
C-3	34.30	54.00	11.70
Promedio	51.26	39.83	8.90

El índice de plasticidad promedio del grupo de muestras analizadas es del 7.63, el promedio del límite líquido 25.26% y el promedio del límite plástico 17.63%, así como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14.

Valores de límite de consistencia del suelo promedio

CALICATA	LL	LP	IP

C-1	24.20	16.90	7.30
C-2	25.10	17.60	7.50
C-3	26.50	18.40	8.10
Promedio	25.26	17.63	7.63

Mientras que las propiedades mecánicas del suelo caracterizan al suelo con un valor para el ángulo de fricción Tabla 15, que varía desde 32.37° a 33.82°, con un valor medio (mediana) de 33.32°, y la cohesión varía entre valores de 1.14 ton/m² a 2.00 ton/m², con un valor promedio de (mediana) de 1.64 Ton/m².

Tabla 15.

Valores de propiedades mecánicas del suelo promedio

Calicata	ϕ (°)	Cohesión (kg/cm ²) (Ton/m ²)	
C-1	33.79	0.18	1.80
C-2	33.82	0.14	1.14
C-3	32.37	0.20	2.00
promedio	33.32	1.64	

Al efectuar el análisis en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, Según el enfoque determinístico de Taylor Tabla 16, se ha observado que el factor de seguridad (F.S.) promedio en condiciones estáticas, incluyendo infiltración, es de 0.751 y 0.745, respectivamente. Estos valores están por debajo del mínimo requerido de 1.50 para la estabilidad de taludes según MVCS Norma CE.20, (2018), Esto sugiere que el talud en la zona de Pariacoto es inestable en condiciones estáticas debido a su propio peso, exacerbado por las precipitaciones pluviales continuas como un factor desencadenante. Además, el factor dinámico o pseudoestático del talud, considerando la infiltración, en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, Los valores son de 0.578 y 0.467

respectivamente, los cuales están por debajo del mínimo requerido de 1.25 para la estabilidad de taludes según MVCS Norma CE.20, (2018). Por consiguiente, el talud en la zona de Pariacoto es inestable ante eventos sísmicos.

Tabla 16.

Factores de seguridad determinístico (Taylor) con el programa Slide

Método determinístico (Taylor)					
Secciones del talud	Estático	Dinámico	Estático con infiltración	Dinámico con infiltración	Riesgo de falla
60+910	0.792	0.592	0.784	0.347	Si
60+950	0.728	0.532	0.725	0.527	Si
60+990	0.732	0.609	0.725	0.527	Si
promedio	0.751	0.578	0.745	0.467	Si

Tabla 17.

Factores de seguridad probabilístico (Monte Carlo) con el programa Slide

Método probabilístico (Monte Carlo)					
Secciones del talud	Estático	Dinámico	Estático con infiltración	Dinámico con infiltración	Probabilidad de falla
60+910	0.794	0.582	0.786	0.347	100%
60+950	0.726	0.531	0.726	0.531	100%
60+990	0.731	0.616	0.725	0.524	100%
promedio	0.750	0.576	0.746	0.467	100%

Al efectuar el análisis del talud en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, se ha calculado utilizando la metodología probabilística de Monte Carlo tal como se muestra en la tabla 17, que el factor de seguridad (F.S.) promedio en condiciones estáticas, incluyendo

infiltración, es de 0.750 y 0.746, respectivamente. "Estos valores son inferiores al mínimo requerido de 1.50 para la estabilidad de taludes" según la MVCS Norma CE.20, (2018). Además, los valores del factor de seguridad **dinámico y con infiltración** son **0.576 y 0.467 respectivamente**, los cuales son **menores al mínimo** requerido de **1.25 para** asegurar la **estabilidad de los taludes** bajo **condiciones sísmicas según MVCS Norma CE.20, (2018)** aplicable. Dado que tanto el F.S. estático como el pseudo estático no cumplen con los requisitos mínimos establecidos por la normativa, se concluye que en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma, El talud muestra inestabilidad bajo su propio peso en condiciones estáticas, siendo las precipitaciones pluviales el factor principal que desencadena el movimiento de masa. Igualmente, bajo condiciones dinámicas, el talud muestra inestabilidad frente a eventos sísmicos, especialmente si estos coinciden con precipitaciones intensas. Según los resultados, también se observa que a medida que **aumenta la severidad del evento desencadenante transitando desde condiciones estáticas a estáticas con lluvias, luego a condiciones dinámicas y finalmente a dinámicas con lluvias**, la seguridad se reduce. Sin embargo, la probabilidad de que ocurra un comportamiento similar es menor a medida que intensifica el evento desencadenante y disminuye la seguridad.

Otra observación relevante es que el **método probabilístico de Monte Carlo** facilita calcular **la probabilidad de** que ocurra un **fallo**, la cual fue del 100% en todos los casos analizados. Esto significa que, **de las 1000 simulaciones realizadas por el programa Slide para evaluar la estabilidad del talud**, en todas se observaron condiciones de fallo, en el sector Pariacoto, carretera Huaraz – Casma. En todos los escenarios evaluados, el talud experimenta colapso. Además, este método proporciona representaciones visuales como **histogramas, gráficos de dispersión y curvas acumulativas del índice de seguridad**, lo que permite una representación más precisa de los resultados. Al comparar los

resultados del análisis de estabilidad del talud en el sector Pariacoto utilizando las metodologías determinísticas de Taylor y probabilística de Monte Carlo, se observaron similitudes notables con diferencias mínimas, típicamente en la milésima decimal. Esto sugiere que ambos enfoques son herramientas efectivas para este tipo de análisis. No obstante, Monte Carlo muestra directamente el porcentaje de falla del talud, lo que elimina la necesidad de hacer cálculos adicionales. Por consiguiente, este estudio confirma la mayor eficacia de la metodología de Monte Carlo, especialmente en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

Al revisar la Tabla 16 y la Tabla 17, se comprueba que los factores de seguridad estimados por ambos métodos son consistentes, lo que confirma su utilidad para la evaluación de la estabilidad de taludes. Sin embargo, es importante señalar que Monte Carlo demuestra una precisión superior cuando hay una cantidad sustancial de datos disponibles sobre los parámetros de mecánica de suelos.

CONCLUSIONES

1. Se ha establecido que el talud presenta un riesgo extremadamente elevado de colapso, con una probabilidad de falla del 100% en caso de fuertes precipitaciones o sismos.
2. Según el modelo probabilístico los riesgos en el deslizamiento de taludes en el sector Pariacoto, carretera Huaraz - Casma, se ha calculado que el promedio del índice de seguridad estático con infiltración es 0.750 y 0.746, mientras que para el índice de seguridad dinámico con infiltración es 0.576 y 0.467, respectivamente.
 Esto señala que tanto los índices de seguridad estático como pseudoestático son inferiores a los valores mínimos requeridos por la normativa (1.50 y 1.25, respectivamente). Por lo tanto, se deduce que el talud carece de estabilidad bajo condiciones estáticas debido a la acción de la gravedad, que desencadena deslizamientos, los cuales se agravan con las lluvias. Además, en condiciones dinámicas, el talud también exhibe inestabilidad frente a eventos sísmicos, especialmente cuando ocurren simultáneamente con lluvias.
3. Según el modelo determinístico los riesgos en el deslizamiento de taludes en el sector Pariacoto, carretera Huaraz - Casma, se ha determinado que el factor de seguridad promedio es 0.751 para condiciones estáticas y 0.745 con infiltración, ambos valores por debajo de 1.50. Esto indica que el talud es inestable bajo su propio peso en condiciones estáticas, agravado por las precipitaciones pluviales continuas como un factor desencadenante. Para condiciones dinámicas, El índice de seguridad con infiltración es 0.578 y 0.467, en ese orden, ambos valores están por debajo de 1.25, lo que confirma la inestabilidad del talud ante un evento sísmico.
4. De la comparación de riesgos en el deslizamiento de taludes en el sector Pariacoto, carretera Huaraz - Casma según los modelos probabilístico y determinístico se observa una concordancia en los resultados, con variaciones mínimas en las cifras decimales. Esto sugiere que la combinación de ambas metodologías (determinística y probabilística)

siempre será ventajosa en disciplinas como la ingeniería civil, la ingeniería de minas, la ingeniería geológica y la ingeniería geotécnica. No solo facilita la determinación de factores de seguridad para taludes, sino que también extiende las oportunidades de utilizar análisis probabilístico en el diseño de fundaciones, presas, estructuras de contención y una variedad de estructuras adicionales.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), Provias Nacional y las autoridades locales utilizar los hallazgos de la investigación como fundamentación técnica y científica para abordar la inestabilidad del talud en el sector Pariacoto de la carretera Huaraz – Casma, dado que es una zona propensa a deslizamientos que ha sido descuidada por las autoridades hasta la fecha.
2. Se sugiere realizar estudios adicionales y actualizados sobre la estabilidad de taludes tanto en carreteras como en áreas urbanas de la provincia de Huaraz. Esto permitirá identificar sectores susceptibles a deslizamientos, facilitando así que la Municipalidad Provincial de Huaraz elabore estrategias para mitigar estos riesgos.
3. Se sugiere a los ingenieros civiles, consultores, profesores, investigadores y estudiantes que utilicen el método probabilístico de Monte Carlo para evaluar la estabilidad de taludes. Aunque no esté ampliamente adoptado en el país, según la literatura y los hallazgos de este estudio, este método ofrece una mayor precisión, exactitud y nuevas formas de presentar los resultados.

QUITO CAMONES, Iver Antonio

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	www.scielo.org.bo Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	revistas.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	www.scielo.cl Fuente de Internet	1%
7	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%

10

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 20 words

Excluir bibliografía

Activo