

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL



UDH
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
<http://www.udh.edu.pe>

TESIS

“Análisis de la vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes en la carretera Rancho, Pano-Huánuco-2024”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
CIVIL

AUTORA: Caqui Castro, Janina Stefanny

ASESOR: Aguilar Alcantara, Leonel Marlo

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

D

H

**TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:**

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Geotecnia**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN** (2020)**CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:****Área:** Ingeniería, Tecnología**Sub área:** Ingeniería civil**Disciplina:** Ingeniería civil**DATOS DEL PROGRAMA:**

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniera Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 71530436

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 43415813

Grado/Título: Maestro en ingeniería civil con
mención en dirección de empresas de la
construcción

Código ORCID: 0000-0002-0877-5922

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Davila Herrera, Percy Mello	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41050949	0000-0003- 3299-4655
2	Valdivieso Echevarria, Martin Cesar	Maestro en gestión pública	22416570	0000-0002- 0579-5135
3	Tuanama Lavi, Jose Wicley	Maestro en gerencia publica	05860064	0000-0002- 5148-6384



UNIVERSIDAD DE HUANUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 14:00 horas del día **lunes 07 de julio de 2025**, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

❖ MG. PERCY MELLO DAVILA HERRERA	PRESIDENTE
❖ MG. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA	SECRETARIO
❖ MG. JOSE WICLEY TUANAMA LAVI	VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 1325-2025-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAÓ – HUÁNUCO - 2024", presentado por el (la) Bachiller. Bach. Janina Stefanny CAQUI CASTRO, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) **Aprobado** por **Unanimidad** con el calificativo cuantitativo de **14** y cualitativo de **Suficiente** (Art. 47).

Siendo las **15.15** horas del día **07** del mes de julio del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

MG. PERCY MELLO DAVILA HERRERA
DNI: 41050949
ORCID: 0000-0001-5484-6982
PRESIDENTE

MG. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA
DNI: 22416570
ORCID: 0000-0002-0579-5135
SECRETARIO (A)

MG. JOSE WICLEY TUANAMA LAVI
DNI: 05860064
ORCID: 0000-0002-5148-6384
VOCAL



VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: JANINA STEFANNY CAQUI CASTRO, de la investigación titulada "Análisis de la vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes en la carretera Rancho, Pano-Huánuco-2024", con asesor(a) LEONEL MARLO AGUILAR ALCANTARA, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1386-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 20 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 30 de mayo de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

208. Caqui Castro, Janina Stefanny.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.unal.edu.co

Fuente de Internet

4%

2

docplayer.es

Fuente de Internet

2%

3

repositorio.umsa.bo

Fuente de Internet

1%

4

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO

D.N.I.: 47074047

cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA

D.N.I.: 71345687

cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A mis padres María y Víctor que han sabido formarme con buenos principios, ya que esta tesis es un tributo a su esfuerzo, dedicación y amor, y un recordatorio constante del trabajo duro de la educación en nuestras vidas.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría expresar mi gratitud a Dios, quien es el que me brindo salud en este largo proceso, a mis padres y hermano quienes han sabido fortalecer y tomarme de la mano para no perecer.

Mi gratitud también se extiende aquellas personas que han contribuido de diferente manera a la culminación de esta tesis; y a la Institución por brindar profesionales que han sabido fortalecer no solo principios sino también la base de mi futura vida profesional.

INDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
INDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESÚMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN	XII
CAPÍTULO I.....	14
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	16
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	16
1.3. OBJETIVO GENERAL.....	17
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.5.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	17
1.5.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	18
1.5.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	18
1.5.4. JUSTIFICACIÓN SOCIAL	18
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
CAPÍTULO II.....	22
MARCO TEÓRICO	22

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	22
2.1.1 A NIVEL INTERNACIONAL.....	22
2.1.2 A NIVEL NACIONAL	24
2.1.3 A NIVEL LOCAL	25
2.2. BASES TEÓRICAS	26
2.2.1 VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES.....	26
2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES	44
2.4 HIPÓTESIS	47
2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL	47
2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	47
2.5. VARIABLES.....	47
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)	48
CAPÍTULO III.....	50
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	50
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	50
3.1.1 ENFOQUE.....	50
3.1.2 ALCANCE O NIVEL	51
3.1.3 DISEÑO.....	51
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	51
3.2.1 POBLACION	51
3.2.2 MUESTRA.....	52
3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	53
3.3.1 PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	53
3.3.2 PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS (CUADROS Y/O GRÁFICOS)	53
3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	54

CAPÍTULO IV.....	56
RESULTADOS.....	56
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	56
4.1.1 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 1 (MUESTRA 1) ..	58
4.1.2 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 2 (MUESTRA 1) ..	59
4.1.3 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 3 (MUESTRA 1) ..	59
4.1.4 CLASIFICACIÓN FINAL SEGÚN EL MÉTODO MORA-VAHRSON (MUESTRA 1)	60
4.1.5 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 1 (MUESTRA 2) ..	60
4.1.6 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 2 (MUESTRA 2) ..	61
4.1.7 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 3 (MUESTRA 2) ..	62
4.1.8 CLASIFICACIÓN FINAL SEGÚN EL MÉTODO MORA-VAHRSON (MUESTRA 2)	62
4.1.9 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 1 (MUESTRA 3) ..	62
4.1.10 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 2 (MUESTRA 3) ..	63
4.1.11 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 3 (MUESTRA 3) ..	64
4.1.12 CLASIFICACIÓN FINAL SEGÚN EL MÉTODO MORA-VAHRSON (MUESTRA 3)	64
4.1.13 RESUMEN DE LOS RESULTADOS HALLADOS	65
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	66
CAPÍTULO V.....	71
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	71
5.1 PRINCIPALES EVIDENCIAS	71
5.2 CONTRASTE CON OTROS ESTUDIOS.....	72
5.3 FORTALEZAS Y LIMITACIONES.....	75
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

ANEXOS.....	87
-------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de deslizamientos según el tipo de movimiento y material.....	28
Tabla 2 Ancho reticular según escala y unidad	34
Tabla 3 Calificación del factor de relieve relativo Rr.	37
Tabla 4 Calificación del factor litológico L, valorando la susceptibilidad a la inestabilidad de laderas	38
Tabla 5 Clasificación de los promedios mensuales máximos (sobre todo el registro) de la precipitación	39
Tabla 6 Clasificación del valor humedad H.....	40
Tabla 7 Calificación del factor sismicidad S para Tr=100 años.....	41
Tabla 8 Valoración del factor Intensidad de la precipitación P	43
Tabla 9 Clasificación de los grados de amenaza de deslizamientos, según la aplicación de la ecuación (1) y (4).	43
Tabla 10 Operacionalización de las variables.....	49
Tabla 11 Valores de las pendientes de los taludes analizados.....	56
Tabla 12 Litología de los taludes analizados	56
Tabla 13 Valores de la Humedad del suelo en los taludes analizados	57
Tabla 14 Valores de la sismicidad máxima registrada en la zona de Estudio (Provincia de Pachitea).....	57
Tabla 15 Lluvias máximas n > 10 años registrados en la zona de Estudio (Provincia de Pachitea).....	57
Tabla 16 Resultados hallados para cada una de las muestras (calicatas 1, 2 y 3).....	65
Tabla 17 Resultados de las muestras respecto a la Vulnerabilidad sísmica intrínseca, Vulnerabilidad sísmica detonante y la Vulnerabilidad sísmica combinada	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Clasificación general de los movimientos en masa	27
Figura 2 Componentes geométricos de un deslizamiento	29
Figura 3 Ubicación de la muestra del estudio, carretera Rancho- Panao;	52

RESÚMEN

La presente tesis titulada *“Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica del Deslizamiento de Taludes en la Carretera Rancho, Pano - Huánuco, 2024”* corresponde a una investigación de enfoque cuantitativo, tipo aplicada, nivel descriptivo y diseño no experimental. La población estuvo compuesta por la red vial nacional en Huánuco, y la muestra fue la carretera PE-18B, tramo Rancho–Pano. El objetivo general fue determinar la vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes, y entre los objetivos específicos destacaron el análisis de la vulnerabilidad intrínseca, detonante y combinada. La metodología aplicada fue el modelo Mora-Vahrson, utilizando técnicas de observación y análisis documental, además de cálculos basados en parámetros geotécnicos, topográficos y climáticos. Los resultados evidencian que la vulnerabilidad intrínseca promedio fue de 37.33 (baja a moderada), la vulnerabilidad detonante fue uniforme con un valor de 5, y la vulnerabilidad combinada alcanzó un promedio de 186.67, clasificada como Mediano. En la prueba t de una muestra, las hipótesis específicas y general, que postulaban vulnerabilidad alta, fueron rechazadas estadísticamente ($p > 0.05$), indicando que la zona presenta una vulnerabilidad sísmica no crítica. La Calicata 2 (progresiva 7+700) fue la más vulnerable. Se concluye que, si bien la amenaza general es moderada, existen sectores específicos que requieren atención prioritaria. Las recomendaciones propuestas, en cumplimiento del objetivo específico 4, incluyen estabilización de taludes, drenajes superficiales, monitoreo geotécnico y mantenimiento periódico para reducir riesgos sísmicos.

Palabras clave: Vulnerabilidad sísmica intrínseca, vulnerabilidad sísmica detonante, vulnerabilidad sísmica combinada, deslizamiento y talud.

ABSTRACT

The present thesis titled “*Seismic Vulnerability Analysis of Landslide-Prone Slopes on the Rancho–Panao Road, Huánuco – 2024*” corresponds to a quantitative, applied-type, descriptive-level, and non-experimental design research. The population consisted of the national road network in Huánuco, and the sample was the PE-18B highway, Rancho–Panao section. The general objective was to determine the seismic vulnerability of landslide-prone slopes, with specific objectives focused on analyzing intrinsic, triggering, and combined vulnerability. The methodology applied was the Mora-Vahrson model, using observation and documentary analysis techniques, as well as calculations based on geotechnical, topographic, and climatic parameters. The results show that the average intrinsic vulnerability was 37.33 (low to moderate), the triggering vulnerability was uniform with a value of 5, and the combined vulnerability reached an average of 186.67, classified as moderate. In the one-sample t-test, both the specific and general hypotheses suggesting high vulnerability were statistically rejected ($p > 0.05$), indicating that the area does not present critical seismic vulnerability. Calicata 2 (progressive 7+700) was identified as the most vulnerable. It is concluded that, although the overall threat is moderate, specific sectors require priority attention. The recommendations proposed, in response to Specific Objective 4, include slope stabilization, surface drainage systems, geotechnical monitoring, and periodic maintenance to reduce seismic risks.

Keywords: Intrinsic seismic vulnerability, triggering seismic vulnerability, combined seismic vulnerability, landslide and slope.

INTRODUCCIÓN

Para alcanzar los objetivos de la presente investigación titulada “Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica del Deslizamiento de Taludes en la Carretera Rancho, Pano - Huánuco, 2024”, se desarrolló un proceso metodológico riguroso estructurado en siete capítulos. La estructura de cada capítulo desarrollado se corresponde a la construcción del conocimiento partiendo de los objetivos que han sido establecidos y de los hallazgos que han permitido generar las conclusiones finales del estudio y las respectivas recomendaciones.

De este modo, como parte del Capítulo I, se desarrolla el planteamiento de la problemática de estudio, se describe el contexto general y específico de la investigación. Es decir, que se identifica el problema general conjuntamente con los problemas específicos para posteriormente establecer los objetivos generales y específicos y a su vez presentar las respectivas hipótesis, seguidamente se detalla la justificación de la investigación delimitando además el espacio, tiempo y población de estudio.

Con respecto al Capítulo II, el cual corresponde al marco teórico de la investigación, en esta sección del trabajo se presenta la síntesis de algunos antecedentes previos que de alguna manera tienen similitud con las variables de estudio, además se hace la recopilación de los fundamentos teóricos y conceptos básicos los cuales aportan sustento a la investigación. Posterior a estas definiciones, se presenta la operacionalización de variables de estudio.

En cuanto al Capítulo III, donde se desarrolla la Metodología aplicada en la investigación, se define el enfoque, el diseño y el nivel utilizado para el estudio. En este capítulo se detalla la población, que corresponde a la red vial nacional de la región Huánuco, y se identifica como muestra al tramo Rancho–Pano de la carretera PE-18B. Asimismo, se describe la unidad de análisis: los taludes de corte en tres progresivas específicas (0+900, 7+700 y 12+700), donde se realizaron calicatas y análisis de laboratorio. Se explica la metodología Mora-Vahrson como modelo de evaluación, detallando sus ecuaciones, factores, y tablas de clasificación, y se justifica su aplicación. También se describen las técnicas e instrumentos de recolección de datos,

tanto de campo como de laboratorio, y se especifican los métodos de análisis estadístico para la contrastación de hipótesis.

En la presentación del Capítulo IV, se detallan los hallazgos obtenidos en el estudio, también se incluyen los gráficos, tablas, y las explicaciones técnicas sobre cada cálculo realizado. De igual manera, se ofrece un resumen comparativo que permite observar tendencias y destacar la situación más crítica en la carretera de estudio. Estos datos y hallazgos permiten dar respuesta a los objetivos específicos planteados y finalmente orientar la toma de decisiones ajustada a estos resultados permitiendo además generar recomendaciones a futuro.

Para el contenido correspondiente al Capítulo V, se presenta la Discusión de los resultados obtenidos del estudio, éste se ha dividido en tres numerales que contienen las evidencias principales, el contraste con otros estudios, y las fortalezas y limitaciones. En primer numeral, se exponen las evidencias obtenidas de acuerdo a cada hipótesis planteada. En el segundo numeral se hace la comparación con otros estudios similares, confrontando algunas coincidencias metodológicas, así como también algunas diferencias entre los estudios. En el tercer numeral, se describen algunas fortalezas relacionadas al proceso metodológico, así como también las limitaciones relacionadas al acceso, los datos disponibles y los recursos.

Con relación a la sección de Conclusiones, en ella se exponen los hallazgos claves que además están vinculados a los objetivos e hipótesis planteados. Es así como, a través de la narrativa de estas conclusiones, se permiten establecer prioridades y validar el modelo aplicado en esta investigación.

En la última sección correspondiente a las Recomendaciones, se hace el planteamiento de algunas propuestas específicas de acciones correctivas que dan respuesta directamente al objetivo específico número 4. Asimismo, se incluyen las sugerencias finales derivadas del estudio.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El tema de la vulnerabilidad sísmica de las carreteras se considera de gran importancia debido a la función esencial que tienen. Si bien es cierto que las carreteras son infraestructuras diseñadas, también es innegable que ante la probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos, alguna de estas infraestructuras puede sufrir daños severos que afecten su adecuada funcionalidad y su capacidad de respuesta ante eventos emergentes. Por esta razón, es sumamente importante comprender y abordar esta problemática de las carreteras para garantizar su optima funcionabilidad y de ese modo minimizar los impactos negativos que puedan derivarse de los movimientos sísmicos.

De acuerdo con Chamorro et al., (2020), evaluar la vulnerabilidad sísmica de las carreteras es clave, ya que ayuda a identificar los puntos más críticos de la red vial y, además, permite priorizar acciones que conlleven a mitigar riesgos y fortalecer estas estructuras. De hecho, cuando se dice que las carreteras son vulnerables ante los movimientos sísmicos, se hace referencia a qué tan expuestas están estas infraestructuras a sufrir daños o inclusive colapsar si ocurre un terremoto. Es por ello que, su definición engloba varios aspectos, como la firmeza de los componentes de la vía, su capacidad para absorber y resistir las fuerzas que genera un sismo, y también su habilidad para recuperarse después de un evento de este tipo.

De ahí que, la problemática de la vulnerabilidad sísmica de las carreteras muchas veces es agravada por diversos factores que inciden en su acentuamiento. Muchas veces la ubicación geográfica es uno de los factores que expone a las carreteras sobre todo en las zonas que poseen un alto movimiento sísmico, siendo esto un riesgo considerable que produce daños más aun en caso de producirse un terremoto. Por otro lado, las condiciones de la infraestructura vial que en muchas regiones se encuentra obsoleta por la falta de un mantenimiento adecuado, lo cual pueden debilitar la resistencia de las carreteras frente a eventos sísmicos.

De hecho, autores como Winter y Bromhead (2012) expresan que la aceptación social de los riesgos asociados a la vulnerabilidad sísmica de las carreteras se considera un aspecto fundamental que debe ser considerado. De modo que, la percepción que posee la población acerca de la seguridad de las infraestructuras viales influye notablemente en la adecuada planificación y en la ejecución de medidas de prevención y mitigación de riesgos. En virtud de ello, se hace necesario abordar la sensibilización en la sociedad acerca de la importancia de promover la inversión en medidas de protección y de fortalecimiento de la infraestructura vial.

No obstante, la interconexión de las redes viales con otros sistemas de transporte y servicios esenciales, como servicios médicos y residenciales, destacan lo importante que es garantizar una adecuada funcionalidad de las carreteras ante posibles situaciones de emergencia sísmica. En este sentido, autores como Tsakalidis et al. (2020) exponen que es necesario implementar nuevas tecnologías y diversificar las estrategias para poder mejorar las condiciones de las redes viales que permitan una mayor y mejor movilización durante y después de un evento sísmico de magnitud.

En el contexto nacional, según lo reseña Salazar (2021) en su artículo de prensa publicado en el portal de la Universidad de Piura, el Perú está ubicado en el conocido Cinturón de Fuego del Pacífico, siendo considerada como una región altamente sísmica y que además se caracteriza porque en ella convergen diversas placas tectónicas. Esta ubicación geográfica hace que el país sea vulnerable a terremotos de diversas magnitudes, además de generar una amenaza constante tanto para la infraestructura como para la población. En efecto, la historia sísmica del país ha estado marcada por diversos eventos que han sido completamente devastadores, como es caso del terremoto ocurrido en Pisco en el año 2007, así como también el terremoto que se generó en Áncash en el año 1970, ambos eventos han sido tomados como referencia para generar reflexión sobre lo importante que es la planificación de medidas de prevención y de mitigación de riesgos.

En igual forma, esta problemática en las carreteras se ve agravada por varios factores dentro de los cuales se tiene que la infraestructura vial en muchas regiones del país es obsoleta y presenta además falta de mantenimiento. En efecto, el Organismo Supervisor de la Inversión en

Infraestructura de Transporte de Uso Público [OSITRAN], (2021), asegura que muchas carreteras del país fueron construidas hace varias décadas y desde entonces no han recibido el debido mantenimiento, esto hace que su resistencia estructural frente a eventos sísmicos se vea comprometida. A esto además se adiciona, la falta de estudios específicos relacionados a la vulnerabilidad sísmica de las carreteras, lo cual ha limitado la capacidad de las autoridades para poder identificar y abordar los puntos críticos de la red vial.

Con respecto al contexto local, particularmente en la región Huánuco, la vulnerabilidad sísmica de las carreteras presenta algunas características particulares. Tomando en cuenta que Huánuco se ubica en una zona que presenta una actividad sísmica significativa y que además cuenta con una red vial vital para la conectividad interna y externa de la región. Sin embargo, la topografía montañosa y la presencia de suelos susceptibles a la licuefacción y la amplificación sísmica representan desafíos adicionales para la seguridad de las carreteras en esta zona (Instituto Nacional de Estadística e Información,[INEI], 2021).

La ausencia de estudios específicos relacionados a la situación de las carreteras en Huánuco ajustados a las condiciones locales, resalta la importancia de hacer un abordaje de esta problemática, así como también la necesidad de proponer medidas de mitigación de riesgos que de igual manera estén contextualizadas a las condiciones particulares de la región.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

Problema específico 1

¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica intrínseca del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao?

Problema específico 2

¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica detonante del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao?

Problema específico 3

¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica combinada del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao?

Problema específico 4

¿Cuáles son las recomendaciones para disminuir la vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao?

1.3. OBJETIVO GENERAL

Determinar la vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo Específico 1

Hallar la vulnerabilidad sísmica intrínseca del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao.

Objetivo Específico 2

Hallar la vulnerabilidad sísmica detonante del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao.

Objetivo Específico 3

Hallar la vulnerabilidad sísmica combinada del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao.

Objetivo Específico 4

Plantear recomendaciones para disminuir la vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

En términos teóricos, el estudio se justifica en la necesidad de obtener un mayor entendimiento acerca de los factores que condicionan la vulnerabilidad en las carreteras y que están directamente vinculados con la habilidad para recuperar la infraestructura vial ante sucesos sísmicos. Indudablemente, conocer las diferentes metodologías de análisis probadas es fundamental porque permite hacer una evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las carreteras e identificar los puntos más críticos de la red de carreteras y, basándose en esto, priorizar las medidas y las acciones

dirigidas a mitigar los riesgos, así como también a fortalecer las acciones preventivas.

1.5.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

A nivel práctico el estudio tiene su justificación en cuanto a que es importante garantizar la operatividad y la seguridad de la infraestructura vial ante situaciones de movimientos sísmicos. Cabe señalar que, las carreteras son de suma relevancia debido a la conectividad y la facilidad de movilidad para las personas, así como también en el impulso que genera en la distribución de suministros y servicios básicos durante alguna situación de emergencia durante algún movimiento sísmico.

1.5.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

En términos de metodología, la investigación se justifica en el hecho de que emplear un método, en este caso el de Mora-Vahrson el cual ofrece una base sólida para estudiar los riesgos vinculados a los deslizamientos de terreno en las vías ocasionados por movimientos sísmicos. De igual manera, al implementar los métodos de evaluación geotécnica y sísmica validan la precisión y la fiabilidad de los hallazgos obtenidos en el estudio.

1.5.4. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

El estudio adquiere su justificación social debido a que la protección y el bienestar de personas y localidades que son usuarios de la carretera Rancho-Panao y otras redes viales en la región de Huánuco se considera un derecho fundamental y por esta razón se debe garantizar. En este contexto, la conexión de las vías con diferentes modos de transporte y servicios esenciales resalta la necesidad de que la infraestructura vial funcione adecuadamente en caso de emergencias sísmicas. Por esta razón, el estudio se orienta a crear conciencia sobre la relevancia de tratar la vulnerabilidad sísmica de las carreteras y la importancia de incentivar la inversión en acciones de protección y conservación de la infraestructura vial en la zona de Huánuco.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

A lo largo del proceso de investigación, se detectaron ciertas limitaciones que, aunque representaron retos tanto en los métodos como en la operación, fueron manejadas de forma efectiva, reduciendo su influencia en los resultados obtenidos y en el logro de los objetivos establecidos para el estudio.

En lo referente a la accesibilidad y calidad de la información geotécnica, sísmica y meteorológica, se presentó una pequeña restricción debido a su limitado acceso, lo que pudo haber comprometido la confiabilidad y la validez de los resultados, a pesar de ello, se pudo mitigar a través de la revisión de fuentes secundarias confiables que ofrecieron los datos requeridos para el estudio, así como también se optó por la implementación de metodologías adicionales y la validación cruzada de los datos recogidos, logrando de esa manera tener una base confiable para el análisis final.

Por otra parte, el acceso al lugar de estudio presentó varios inconvenientes debido a las condiciones climáticas, ubicación geográfica y logística. Para ello, se pudo adoptar estrategias alternativas, como la reprogramación de visitas de inspección, la utilización de herramientas de teledetección y el análisis de registros históricos, lo cual permitió obtener la suficiente información para hacer la evaluación de los taludes evitando comprometer la calidad de la investigación.

En lo concerniente a los factores externos algunas alteraciones presentadas como las condiciones del clima y la ocurrencia de movimientos sísmicos imprevistos, que pudieron impactar la estabilidad de los terrenos evaluados y por consiguiente el registro de los datos, se pudo abordar a través de la aplicación de modelos de simulación y la integración del análisis de probabilidad los cuales ayudaron a reducir el impacto de estas variables.

Finalmente, se tienen las limitaciones económicas y la falta de recursos tecnológicos y humanos que pudieron haber limitado la extensión y profundidad del estudio, haciendo más difícil la aplicación de las medidas de mitigación sugeridas. A pesar de eso, la elección de métodos eficientes con

costos accesibles y el apoyo obtenido con instituciones especializadas en la problemática ayudaron a llevar a cabo la investigación dentro de los lineamientos establecidos, sin poner en riesgo la validez de los resultados alcanzados.

En resumen, aunque surgieron varias limitaciones a lo largo de la investigación, la decisión de aplicar de estrategias adecuadas de mitigación permitió reducir su efecto, lo cual aseguró la validez, fiabilidad y relevancia de los resultados conseguidos y el cumplimiento exitoso de los objetivos propuestos.

1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Durante el desarrollo de la investigación, se pudo confirmar que la factibilidad planteada inicialmente en el proyecto era acertada, lo que permitió llevar a cabo el estudio sin mayores dificultades. Es decir, que los factores que respaldaban esta viabilidad fueron aprovechados de manera eficiente, lo que permitió que se alcanzaran en su totalidad los objetivos propuestos.

Por ejemplo, gracias al tiempo empleado en la adecuada organización y planificación de las etapas de la investigación se pudo lograr los resultados esperados en correspondencia a los objetivos propuestos. Es por ello que, la disponibilidad del tiempo para cada una de las fases del estudio fue fundamental para dar el rigor metodológico al estudio.

De igual manera, el financiamiento propio garantizó disponer de los equipos, insumos y otros requerimientos necesarios para el estudio, evitando así contratiempos y limitaciones índole económico, este factor hizo que cada etapa del estudio se cumpliera de acuerdo con lo planificado sin afectar la calidad de los resultados.

Finalmente, la capacidad de tomar decisiones de manera independiente fue un aspecto fundamental que ayudó a que el estudio se adaptara a posibles retos o nuevas posibilidades. Al no estar comprometido con financiamiento externo, se tuvo una total autonomía para establecer el diseño metodológico, modificar el enfoque basado en los hallazgos de

estudios previos y también permitió aplicar métodos innovadores cuando se consideró necesario, mejorando así los resultados alcanzados.

En conclusión, los diversos factores que respaldaban la factibilidad de la investigación permanecieron constantes durante su ejecución, lo que permitió que el estudio se desarrollara sin tener limitaciones significativas. Esto garantizó la precisión del análisis y la validez de los resultados, cumpliendo completamente con los objetivos establecidos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 A NIVEL INTERNACIONAL

Ferrera et al., (2008) desarrollaron un estudio que tuvo como objetivo evaluar qué tan vulnerables son las carreteras de la red nacional ubicadas en una provincia cubana ante la posibilidad de ocurrencia de eventos naturales. Esta investigación descriptiva y aplicada, tiene como objetivo evaluar las condiciones técnicas de las carreteras, identificar cuáles son los riesgos de índole geológico y valorar la vulnerabilidad sísmica que tienen los puentes ubicados en esta provincia. Su diseño permitió determinar los niveles de riesgo natural, caracterizar los peligros geológicos, hacer el reconocimiento técnico de las vías y evaluar su vulnerabilidad. Como población de estudio se tuvo las carreteras de índole nacional en la provincia Santiago de Cuba, y para la muestra se seleccionaron alguna de las vías de la provincia. Los objetivos del estudio incluyen determinar la vulnerabilidad de las carreteras ante eventos naturales, identificar los peligros geológicos que las afectan y evaluar la vulnerabilidad sísmica de los puentes en la región de Santiago de Cuba. Entre las conclusiones alcanzadas se destaca la vulnerabilidad de los puentes a los efectos de los terremotos, principalmente por problemas en las cimentaciones y elementos estructurales, así como los causados por inundaciones en las carreteras debido a ríos desbordados en esta región de Cuba.

Solís (2018) planteó como objetivo para su estudio evaluar la vulnerabilidad de la zona de estudio, utilizando información recopilada y diversos métodos analíticos. Como parte de la metodología esbozó 3 etapas principales para la elaboración de proyecto. La primera etapa consistió en recopilar y procesar información disponible de fuentes preexistentes. En la segunda etapa, realizó un exhaustivo análisis de los datos obtenidos. Para etapa final utilizó el análisis realizado anteriormente para generar los resultados finales del estudio. La

información topográfica fue clave en la planificación de los modelos analíticos. De manera particular fue utilizada la información proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), la cual incluía curvas de nivel a intervalos de 5 metros, que permitió cubrir el área de estudio. Con respecto a los resultados, estos indicaron que la carretera es considerada altamente vulnerable a movimientos particularmente en sus taludes de corte. En este caso, la utilización del método del ángulo crítico, les permitió identificar esta área debido a los grandes ángulos de pendiente y alturas superiores a los 10 metros en todo el tramo. En la fase de verificación en campo, en este tramo pudieron observar evidencias de deslizamientos en una menor proporción, lo cual confirmó su alta vulnerabilidad. De manera que, a pesar de usar el método Mora Vahrson, hubo resultados divergentes y con poca compatibilidad con la metodología del ángulo crítico en gran parte del área estudiada. Finalmente, se señala que esta metodología del ángulo crítico puede tener limitaciones en su aplicabilidad para otros objetivos, como el ordenamiento territorial. Las cuencas que alcanzan las partes más elevadas de la zona de estudio muestran una alta susceptibilidad a los flujos de lodo, principalmente debido a la presencia de laderas empinadas y alturas significativas en comparación con el resto del área de estudio.

Molina (2011) desarrolló un estudio donde se plantea como objetivo general realizar un análisis exhaustivo de la vulnerabilidad sísmica funcional de la red vial del Área Metropolitana de San José, centrándose específicamente en la conexión entre Desamparados y los principales hospitales de la ciudad. Como parte de la metodología empleada, utilizó el programa TSIS para modelar el funcionamiento de la red vial y examinar diversos escenarios sísmicos, especialmente el riesgo asociado al sistema de fallas Aguascalientes - Orosi. Se integró el índice de riesgo sísmico social de Salas (2003) en la evaluación. En sus conclusiones, destaca que, a partir de los resultados obtenidos mediante la modelación, se identifican aspectos críticos de la vulnerabilidad, para los cuales se generan recomendaciones funcionales de la red para mitigarla, incluyendo la propuesta de rutas

alternativas en caso de emergencia desde Desamparados hacia los centros médicos.

2.1.2 A NIVEL NACIONAL

Guerra (2020) aplicando una investigación descriptiva, se planteó evaluar en un segmento específico la susceptibilidad de la corteza de taludes ante un movimiento sísmico. Igualmente, pudo evaluar el componente de seguridad en tres secciones del mismo segmento escogido. Este proceso metodológico lo dividió por etapas: en la primera etapa contiene una inspección visual, el levantamiento topográfico, la determinación de densidades naturales y extracción de muestras, mientras que la segunda se tienen los ensayos de laboratorio para caracterizar los materiales. Posteriormente se procedió al cálculo de los parámetros sísmicos y al factor de seguridad mediante el software Slide V 6.0, el cual está basado en los parámetros geotécnicos del suelo. En los resultados se observa que los factores de seguridad promedio para cada corte indican una evidente inestabilidad en los taludes que fueron parte del estudio. De esta manera se concluye que, se confirma que la vulnerabilidad sísmica desempeña un papel significativo en la estabilidad de los taludes de corte.

Faichin (2023) en su investigación se plantea como objetivo establecer un precedente en el cálculo de la vulnerabilidad a reducidas en la carretera Caclic - Luya Lamud, utilizando la metodología de Mora Vahrson. Se empleó información proporcionada por el expediente técnico de la carretera, datos del SENAMHI sobre precipitaciones, información geológica de GEO GPS PERÚ sobre litología y el mapa de intensidades sísmicas de CISMID/FIC - UNI. Estos datos fueron procesados utilizando un software especializado para generar mapas individuales que representan cómo se comporta cada factor en la carretera fue evaluada. Posteriormente, se integraron estos factores para generar un mapa de vulnerabilidad, el cual permite identificar las zonas con mayor riesgo de deslizamientos. En los resultados, el índice de vulnerabilidad, con valores entre 0 y 180, clasifica el riesgo desde muy bajo hasta mediano, siendo los sectores más críticos ubicados entre el kilómetro 5 y el kilómetro 7 de la carretera. Los factores

intrínsecos, especialmente la pendiente y la litología, fueron determinantes en la identificación de las áreas más vulnerables, junto con los factores de activación, que contribuyeron a establecer niveles de peligro hasta medianos en la zona de estudio. Concluye finalmente el ámbito de mayor riesgo se encuentran concentradas entre los kilómetros 5 y 7 de la carretera en análisis.

Carlos (2021) en su investigación, se planteó el objetivo de evaluar el peligro sísmico en los taludes de corte del sistema de riego del canal Yanama, tramo 1+980-2+290, situado en el centro poblado de Huandunga. Este objetivo condujo a formular la hipótesis general de la existencia de un riesgo sísmico en dichos taludes. Como parte de la metodología se establece como una investigación de tipo aplicada con un enfoque descriptivo-explicativo. Se adoptó un diseño de investigación no experimental, considerando como población de estudio el método de riego del canal Yanama en el centro poblado de Huandunga, y como muestra específica el tramo de kilómetros 1+980 a 2+290. El resultado principal reveló que el talud de corte del sistema de riego del canal Yanama, en el tramo 1+980-2+290, en el centro poblado de Huandunga, presentan un riesgo sísmico que puede ser fragmentado en cinco sectores. El sector 1, que cubre el tramo 1+980 a 2+030, exhibe un alto riesgo a los sismos debido a deficiencias en su construcción y daños actuales. Por otro lado, los sectores 2, 3 y 4 (tramos 2+030-2+100, 2+100-2+160, y 2+160-2+230 respectivamente) presentan un riesgo sísmico medio, con la posibilidad de desprendimientos de material durante un evento sísmico, pero con un nivel de construcción aceptable y suelos de calidad intermedia. Se concluye que en cuanto al sector 5 (tramo 2+230-2+290) muestra un riesgo sísmico bajo, con una mínima probabilidad de desprendimientos de material, gracias a un proceso de construcción adecuado y la presencia de suelos rígidos.

2.1.3 A NIVEL LOCAL

Chaupis (2020) desarrolló una investigación cuyo objetivo fue establecer la vulnerabilidad a los peligros naturales con el fin de mejorar la transitabilidad de la carretera Poque - Puños. Se empleó un

enfoque mixto, combinando metodología aplicada y descriptiva, con un diseño no experimental. Entre los resultados obtenidos se destaca que la carretera Poque - Puños enfrenta riesgos naturales relacionados con la Geodinámica Externa, especialmente movimientos en masa, que afectan aproximadamente el 80% de su extensión, con un nivel de peligrosidad considerado alto según la metodología de evaluación del CENEPRED. Este análisis se basa en el estudio de factores como el Fenómeno El Niño, la precipitación y la topografía, entre otros. La infraestructura vial se ve afectada por tamaños de tierra, lo que dificulta el tránsito entre el distrito Puños y el centro poblado de Poque. A la luz de estos resultados concluye que se ha identificado un tramo particularmente crítico con un alto nivel de peligrosidad, pero lamentablemente no cuenta con planos de continuidad operativa, de emergencia o acondicionamiento de la infraestructura por parte de las autoridades municipales, lo que refleja una baja resiliencia y aumenta los riesgos de la carretera. Para mejorar la transitabilidad de la vía, el autor recomienda la implementación de un pavimento flexible utilizando la metodología del MTC. Esto incluye medidas como el desquinche del material suelto, la estabilización de taludes y mejoras en el diseño de la carretera, con una cobertura asfáltica de 2 pulgadas, una base de 6 pulgadas y una subbase de 4 pulgadas.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1 VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES

NATURALEZA DE LOS DESLIZAMIENTOS

La acción de deslizamiento de tierra es un proceso natural de degradación y desempeña un papel fundamental en la configuración del paisaje. Se describe como el desplazamiento descendente de suelo, rocas y materia orgánica, impulsado por la fuerza de la gravedad, a lo largo de una superficie de ruptura que puede ser curva (deslizamiento de rotación) o plana (deslizamiento de traslación). Este concepto también engloba la configuración del terreno que resulta de dicho movimiento (Highland y Bobrowsky, 2008).

Según el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET, 2004), los movimientos de tierra se clasifican en tres categorías principales:

Derrumbes: ocurren cuando bloques o fragmentos rocosos se desprenden o vuelcan, cayendo con gran velocidad casi en caída libre.

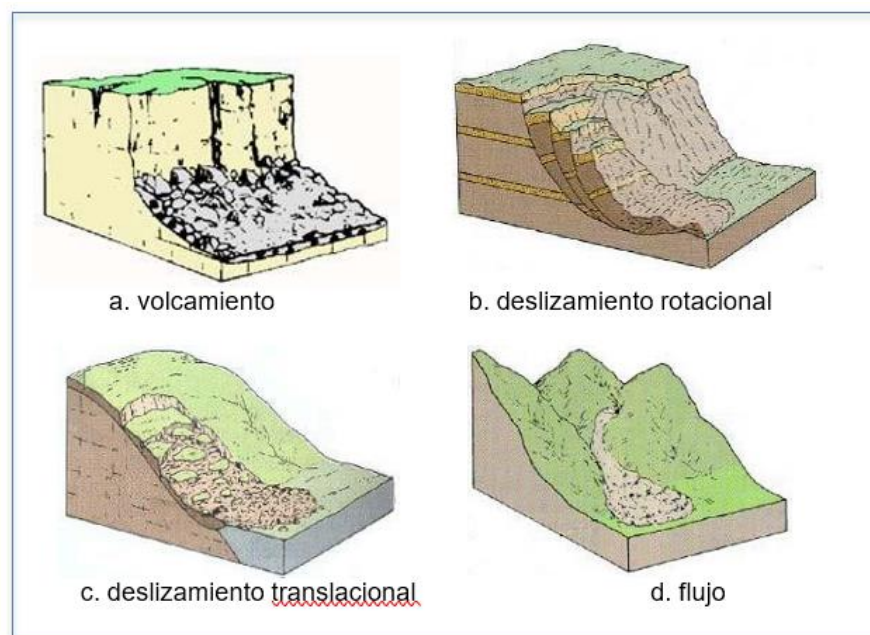
Deslizamientos: implican el desplazamiento de una masa de suelo a través de una superficie de ruptura, pudiendo ser rotacionales o traslacionales.

Flujos: Se distinguen por la ruptura y desintegración de la masa en movimiento, convirtiéndose en una sustancia viscosa que se desplaza hacia las zonas inferiores de la pendiente.

Se observa la clasificación de los movimientos que se producen en masa a través de la Figura 1.

Figura 1

Clasificación general de los movimientos en masa



Nota: Figura referencial extraída de los autores (Varnes 1978; Skinner y Porter 1992)

Estos movimientos de masa se encuentran entre las causas más frecuentes de desastres naturales en todo el mundo, con pérdidas socioeconómicas directas que pueden alcanzar altas cifras de dinero (Aristizábal y Yokota, 2006). Además, Mora y Mora (1994) señalan

que los factores de origen humano también pueden desencadenar deslizamientos, ya que el aumento demográfico lleva a una ocupación de áreas propensas a estos eventos, así como la expansión de actividades agrícolas y ganaderas, junto con la manipulación del terreno para la construcción de infraestructuras, lo que contribuye a la inestabilidad de las laderas.

En este contexto, es crucial entender los factores involucrados y comprender sus interacciones, para identificar las zonas más propensas a sufrir deslizamientos y poder implementar las medidas necesarias de mitigación, corrección y protección.

CARACTERIZACIÓN DE LOS DESLIZAMIENTOS

Existen diversas formas de clasificar los deslizamientos, dependiendo del enfoque del estudio. Dentro de las clasificaciones más utilizadas es la propuesta por Varnes (1984) la cual considera el tipo de movimiento y la naturaleza del material. Posteriormente, se establecen subcategorías más específicas basadas en la geometría, el tipo de movimiento y otras características relevantes. A continuación, la tabla 1 presenta el resumen de la clasificación de deslizamientos planteada por Varnes (1984).

Tabla 1

Clasificación de deslizamientos según el tipo de movimiento y material

Tipo de material				
		Suelo		
Tipo de movimiento		Roca	De grano grueso	De grano fino
Caídas		Caídas de rocas.	Caídas de detritos.	Caídas de suelo.
Basculamiento		Basculamiento de rocas.	Basculamiento de detritos.	Basculamiento de suelo.
Deslizamiento	Rotacional	Deslizamiento rotacional de rocas.	Deslizamiento rotacional de detritos.	Deslizamiento rotacional de suelos.
	Translacional	Desplazamiento translacional de rocas.	Deslizamiento translacional de detritos.	Deslizamiento translacional de suelo.
Separación		Separación	Separación	

lateral	lateral en roca.	lateral en detritos.	Separación lateral en suelos.
Flujo	Flujo de rocas.	Flujo de detritos.	Flujo de suelos.
Complejos	Combinación de dos o más tipos		

Nota: Clasificación referencial expuesta por Varnes (1984).

Con el fin de facilitar la comprensión de la clasificación mencionada anteriormente, Varnes (1984) proporciona las siguientes definiciones:

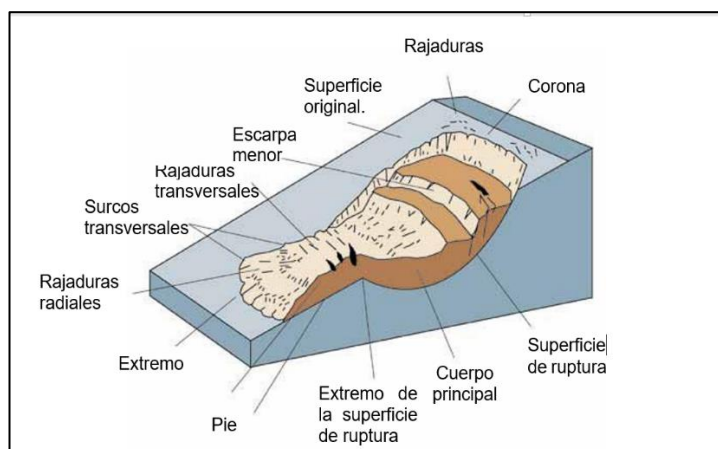
Roca: se define como la estructura litológica dura o sólida que permanece indemne y en su lugar antes de producirse el movimiento.

Suelo: se trata de un conjunto de partículas sueltas, no consolidadas, que consisten en rocas poco cementadas o agregados inorgánicos. Este material puede ser de tipo residual, formado in situ, o de material transportado. El detrito se define por tener entre un veinte (20%) y un ochenta por ciento (80%) de fragmentos mayores a 2 mm, mientras que el suelo fino está compuesto por más del 80% de fragmentos menores a 2 mm.

Las estructuras básicas que se encuentran en un deslizamiento pueden observarse en la figura 2.

Figura 2

Componentes geométricos de un deslizamiento



Nota: Figura referencial de Varnes(1984).

FACTORES ASOCIADOS A DESLIZAMIENTOS

Los factores que contribuyen a la ocurrencia de deslizamientos se pueden dividir en dos grupos: naturales y antropogénicos. Los elementos naturales comprenden características intrínsecas del entorno, como el clima, el tipo de rocas, el suelo y la actividad sísmica; por su parte, los factores antropogénicos abarcan actividades humanas que alteran las condiciones naturales del área, como la construcción de infraestructuras, movimientos de tierra, cortes, rellenos y acciones productivas (Peraldo, 2000). En ocasiones, los deslizamientos pueden ser influenciados o agravados por la combinación de ambos tipos de factores.

Los orígenes naturales de estos movimientos implican desencadenantes que pueden presentarse de manera individual o combinada, como el agua y la actividad sísmica (tectónica o volcánica). Estos mecanismos tienen diversas consecuencias según las condiciones específicas del área, como la pendiente, la geomorfología, la geología subyacente y el tipo de suelo (Peraldo, 2000).

Por otro lado, las causas de origen antropogénicas están principalmente relacionadas con la interacción entre el sitio, los causantes y las actividades humanas llevadas a cabo en el lugar. Esto incluye perturbaciones artificiales en una pendiente (cortes, rellenos), modificaciones o interrupciones en el sistema de drenaje y la construcción de infraestructuras (Peraldo, 2000).

SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA

De acuerdo con la definición de Vargas (2004), la susceptibilidad a deslizamientos se refiere a la propensión natural o potencial de una región para experimentar fenómenos de remoción en masa, siendo influenciada por diversos factores como altas precipitaciones, cortes naturales o artificiales y actividad sísmica.

Mientras que Soeters y van Westen (citados por Aristizábal y Yokota, 2006), describen la susceptibilidad como la capacidad de que ocurra un fenómeno en una zona en función de las características

locales del terreno, excluyendo factores desencadenantes como la precipitación, la actividad sísmica y volcánica.

Por su parte, Varnes (1984) expresa que la amenaza es definida como la probabilidad de ocurrencia de un evento latentemente destructivo que puede producirse en un lugar específico y en un determinado periodo de tiempo.

Además, afirma que es crucial saber que los mapas de vulnerabilidad pretenden identificar las regiones que tienen mayor propensión a sufrir de deslizamientos, sin tener una especificación de cuándo, dónde o cómo ocurrirán con exactitud. En contraposición, el concepto de amenaza involucra establecer la posibilidad de ocurrencia considerando ciertos factores temporales, espaciales, así como la magnitud del evento.

Por esta razón se han venido desarrollando diversos métodos que permiten evaluar la susceptibilidad a deslizamientos en una zona o región en particular. De allí que, autores como Aristizábal y Yokota (2006) han presentado una clasificación de estas metodologías organizándolas tres grupos:

1. Primeramente se presentan las metodologías empíricas, las cuales tienen su fundamentación en la comprensión de los procesos geográficos que impactan el terreno, las cuales se emplean ampliamente para evaluar su vulnerabilidad. Estas técnicas incluyen diversos enfoques, como la elaboración de mapas de deslizamientos, la identificación de los elementos ambientales que influyen en la estabilidad de las laderas, el análisis de las relaciones entre estos factores y los procesos de inestabilidad, así como la clasificación del terreno según su nivel de susceptibilidad.

2. En segundo lugar, se tiene a las metodologías estadísticas, las cuales están fundamentadas en las predicciones procedentes de datos históricos relacionados a los deslizamientos, esta metodología permite combinar diversas variables para evaluar tanto la susceptibilidad como la amenaza de futuros deslizamientos.

3. Como tercero y último, los métodos determinísticos basados en modelos de estabilidad y que son ampliamente empleados para evaluar

la probabilidad de amenazas de deslizamientos, además de proporcionar un enfoque más específico y detallado en la evaluación de riesgos.

Ahora bien, el índice de susceptibilidad a deslizamientos hace referencia a la tendencia de una zona a experimentar un deslizamiento, resultado de la interacción entre los factores de susceptibilidad y los factores detonantes. Por consecuencia, según Vahrson (1994), la determinación de esta susceptibilidad se fundamenta en condiciones geológicas, topográficas y de humedad del suelo. Asimismo, los factores desencadenantes incluyen la actividad sísmica y la incidencia de lluvias extremadamente intensas.

DETERMINACIÓN DE LA AMENAZA DE DESLIZAMIENTO

Categorías e Indicadores

Para determinar la amenaza a los deslizamientos, se utilizan cinco indicadores morfodinámicos, diferenciados en dos categorías principales:

1. Factores de Susceptibilidad: Aquellos que intrínsecamente forman parte de las propiedades y comportamiento del medio, es decir, que constituyen los elementos pasivos. Tal es el caso del relieve del terreno, su constitución litológica y las condiciones usuales de su humedad natural.

2. Factores de Disparo: Son por su parte los que inducen desde el exterior hacia un comportamiento dinámico activo que, a partir de las condiciones iniciales generarán, con mayor o menor intensidad, los fenómenos decisivos de movilización. Se trata pues de la intensidad de los sismos y de las lluvias.

Combinación de los Indicadores

Para cada uno de los parámetros se puede así definir un peso relativo y específico propio, ponderando su grado de influencia. La combinación de los pesos relativos puede realizarse por medio de una ecuación empírica sencilla, como la siguiente:

$$Ad = Susc * Disp \quad (1)$$

En donde:

- Ad: Amenaza de deslizamientos.

- Susc: Parámetros de susceptibilidad: relieve, litologías, humedad.
- Disp: Parámetros de disparo: intensidades sísmicas y pluviométrica.

Al mismo tiempo, el parámetro de susceptibilidad (Susc) es una combinación de los parámetros litológicos, de la pendiente del relieve relativo y de la humedad del suelo:

$$\text{Susc} = \text{Rr} * \text{L} * \text{H} \quad (2)$$

En donde:

- R: Índice de influencia del relieve relativo.
- L: Índice de influencia de las condiciones litológicas.
- H: Índice de influencia de la humedad usual del suelo.

El parámetro de disparo (Disp), por su parte, es la combinación de los índices de lluvias y de la sismicidad:

$$\text{Disp} = \text{S} + \text{LI} \quad (3)$$

En donde:

- S: Índice de influencia de la intensidad sísmica máxima.
- LI: Índice de influencia de la intensidad de las lluvias.

Es decir que:

$$\text{Ad} = (\text{Rr} * \text{L} * \text{H}) + (\text{S} + \text{LI}) \quad (4)$$

Debe tomarse en cuenta el hecho de que el resultado indica condiciones de relatividad al comparar las situaciones adyacentes unas con otras. No se trata, hasta demostrar lo contrario, de calificativos o cuantificaciones absolutas.

Sobre la susceptibilidad de los terrenos naturales, según sus propiedades intrínsecas y los factores usuales de disparo, se puede referir a la literatura disponible (González, 1910; Mora et al., 1983; Leandro et al., 1983; Mora 1985, 1986; Mora et al., 1988; Vahrson et al., 1990; Mora y Morales, 1986).

Es así como según las particularidades tectónicas y climáticas de determinada región puede darse prioridad a la consideración de determinado factor de disparo. Las ecuaciones originales (1 y 2) pueden segregarse en:

$$\text{PDL} = (\text{Rr} * \text{L} * \text{H}) * \text{LI} \quad (5)$$

Con PDL: Potencial generador de deslizamientos por la intensidad de las lluvias.

$$PDL = (R_r * L * H) * S \quad (6)$$

Con PDS: Potencial generador de deslizamientos por la sismicidad.

Sistemas Cartográficos

Cada uno de los parámetros concernidos, es vertido sobre una base cartográfica, previamente dotada con una rejilla cuadriculada, que permita luego una digitalización y codificación cómoda, a la vez de un tratamiento estadístico apropiado. A manera de ejemplo, se puede sugerir que el ancho reticular de la rejilla (píxel) según la escala y su unidad de área, podría ser:

Tabla 2

Ancho reticular según escala y unidad

Escala	Ancho de retícula	Unidad de área
1:500.000	5 km	25 km ²
1:200.000	2 km	4 km ²
1:50.000	1 km	1 km ²
1:10.000	100 m	1 ha

Nota: Tabla referencial extraída de los autores Mora, S., & Vahrson, W. G. (1993)

De acuerdo con las calidades usuales de las bases cartográficas disponibles, se ha observado que las mejores escalas de trabajo se sitúan entre 1:200.000 y 1:25.000. Sin embargo, la cantidad y calidad de la información temática, en cuanto a los parámetros de lluvia, sismos y geología, no siempre son equivalentemente adecuadas y suficientes. Por lo tanto, en la mayoría de los casos, la escala de trabajo será definida en función de los objetivos perseguidos, de la base cartográfica de mayor precisión disponible y de la densidad y

calidad de los datos paramétricos. Mucho dependerá entonces del buen juicio del ejecutante.

Una vez definidas las condiciones y limitaciones de trabajo, podrá ejecutarse la labor por medio de una combinación manual de los datos o utilizando un Sistema de Información Geográfica. De estos últimos en plena expansión tecnológica en la actualidad se dispone de una enorme variedad y gama muy amplias. Por ejemplo, se conocen desde los más sencillos: PCMAP, IDRISI, hasta los más complejos: ERDAS, INFOCAD, ARCINFO y otros.

La utilización de uno u otro sistema no debe ser más que parte de la toma de decisiones para definir la velocidad, resolución y elasticidad del resultado. El resultado global, según la escala, no variará gran cosa; pues más bien será dependiente de la calidad de los datos base y de los pesos relativos asignados.

Inventario de Laderas Inestables

Una de las tareas fundamentales para iniciar la labor de evaluación y luego calibrar el resultado es la realización de un inventario general de laderas inestables. La idea es identificar y cartografiar todos los indicios de inestabilidad y plasmarlos en un mapa, utilizando formatos y simbologías normalizados.

Análisis Paramétrico

A continuación, se describe el detalle principal de los parámetros involucrados en el análisis y la determinación de la amenaza de los deslizamientos. La determinación y sobre todo la ponderación de su peso relativo, según las condiciones locales, es el más crítico y condiciona el éxito de la aplicación de la metodología.

Índice de Relieve Relativo (Rr)

El índice de Relieve Relativo (Rr) es la traducción de la rugosidad natural del terreno. Para medir esa rugosidad se establece, para el centro de cada unidad de área, la mayor diferencia de elevación que precise la escala del mapa que se esté utilizando:

$$Rr = dh_{max} / A \text{ (m/km}^2\text{)},$$

En donde, dh_{max} es la mayor diferencia de elevación en el área A. Usualmente y sobre todo cuando se trabaja en la escala 1:50.000, las unidades que se utilizan son m/km².

La información del relieve relativo puede ser traducida en forma sencilla al parámetro de pendiente de cada ladera. Esto puede lograrse dividiendo el valor de R_r por 1,41 (12) para obtener la pendiente menor por unidad de área o por la longitud mínima de determinada ladera que requiera analizarse en forma particular.

Utilizando la retícula definida según la escala del análisis, se procede a hacer un barrido de determinaciones de R_r para cada centro de la red. Posteriormente, se trazan curvas de igual (iso) valor de R_r . Los traslapes sucesivos y adyacentes, permite un análisis transitorio con el que se establecen las tendencias necesidad de extrapolar o interpolar los valores.

Por medio de análisis retrospectivos y observando la influencia del relieve como variable única (en la medida de lo posible, con otros factores constantes), se ha observado que la susceptibilidad a los deslizamientos no crece linealmente, sino limitada por los valores máximos observados (<1000m/km²). Es evidente que los relieves de muy elevado valor de R_r , indican también la presencia de rocas con alta resistencia y por lo tanto estables. La utilización apropiada de la información geológica y geomorfológica permite corregir y aplicar mejor el análisis.

Con el objeto aplicar los procesos de cálculo automático, se han definido varias clases de índice de influencia (peso específico relativo) de R_r , según los valores observados. Para ello, se ha hecho un análisis estadístico por medio de un histograma de distribución normal. Se advierte sobre la conveniencia de realizar el mismo ejercicio en cada región estudiada, para efectos de considerar las condiciones locales y la escala utilizada (tabla 3).

Se puede apreciar que el Relieve Relativo es el único factor que puede poseer una ponderación de cero, en el caso de áreas de poco relieve (planas o casi). En tal caso y aunque los otros factores

indiquen condiciones adversas, simplemente no se desarrollan los deslizamientos por falta de laderas de pendiente suficiente.

Tabla 3

Calificación del factor de relieve relativo R_r

Relieve Relativo m/km ²	Pendiente (%)	Calificativo	Valor del parámetro R_r
0 - 75	00.0-07.5	muy bajo	0
75 - 175	07.6 – 17.5	bajo	1
175 - 300	17.6 – 30.0	moderado	2
300 - 500	30.1 – 50.0	mediano	3
500 - 800	50.1 – 80.0	alto	4
> 800	Mayor a 80	muy alto	5

Nota: Tabla referencial extraída de los autores Mora, S., & Vahrson, W. G. (1993)

La Influencia de la Litología

La influencia de la composición litológica es quizás una de las más relevantes y al mismo tiempo la más complicada de evaluar. Desafortunadamente, la ausencia de datos geotécnicos cuantitativos debe sustituirse con la aplicación de calificativos subjetivos, basados en las descripciones sumarias de que se disponga.

Idealmente, en este rubro debería poder tomarse en cuenta los siguientes factores:

Resistencia al corte del material (cohesión, fricción interna, grados de alteración meteórica e hidrotermal).

Pesos Volumétricos

Disposición espacial con respecto a las discontinuidades y su relación con la geometría y orientación de las laderas (diacласas, esquistosidad, estratificación, fallas, cuñas, dihedros), tipos de rellenos en las discontinuidades (calcita, ceolita, arcilla, fisuras limpias), rugosidad.

Capacidad de drenaje, disipación rápida o no de la presión de poros (positiva o negativa; posición del nivel freático y zonas de saturación total o parcial; flujos hidrodinámicos.

En la medida de lo posible y basándose en la información disponible, la tabla 4 muestra un ejemplo de las condiciones litológicas típicas, con los criterios anteriores aplicados. Los calificativos e índices de influencia se han definido subjetivamente y en base a la experiencia. Evidentemente, para cada región deben revisarse los criterios y adaptarse, para de ser necesario, redefinir las clases de influencia.

$$EPT = 1721 - (0,177 * ELEV)$$

Donde:

EPT = Evapotranspiración potencial promedio anual (mm)

ELEV = Elevación (msnm)

Esta relación es válida para Costa Rica, pero requiere tal vez de una comprobación y recalibración para otros lugares.

Tabla 4

Calificación del factor litológico L, valorando la susceptibilidad a la inestabilidad de laderas

Valor L = 1; Calificativo: BAJA SUSCEPTIBILIDAD
Litologías: * Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático bajo. * Calizas duras, permeables. * Rocas intrusivas poco fisuradas, bajo nivel freático. * Basaltos, andesitas, ignimbritas y otras rocas efusivas, sanas, permeables y poco fisuradas.
* Rocas metamórficas, sanas, poco fisuradas, nivel freático bajo. Características físico-mecánicas: Materiales sanos con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevada, fisuras sanas, sin relleno.
Valor L = 2; Calificativo: MODERADA SUSCEPTIBILIDAD
Litologías: * Rocas sedimentarias no o muy poco alteradas, estratificación maciza (decimétrica o métrica), poco fisuradas, nivel freático bajo. * Rocas intrusivas, calizas duras, lavas, ignimbritas, rocas metamórficas medianamente alteradas y fisuradas.

* Aluviones con compactaciones leves, con proporciones considerables de finos, drenaje moderado, nivel freático a profundidades intermedias.

Características físico-mecánicas: Resistencia al corte media a elevada, fracturas cizallables.

Valor L = 3; Calificativo: MEDIANA SUSCEPTIBILIDAD

Litologías:

* Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas, tobas poco soldadas, rocas metamórficas mediana a fuertemente alteradas, coluvios, lahares, arenas, suelos regolíticos levemente compactados, drenaje poco desarrollado, niveles freáticos relativamente altos.

Características físico-mecánicas: Resistencia al corte moderada a media, fracturación importante.

Valor L = 4; Calificativo: ALTA SUSCEPTIBILIDAD

Litologías:

* Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente y con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros.

Características físico-mecánicas: Resistencia al corte moderada a baja, con la presencia frecuente de arcillas.

Valor L = 5; Calificativo: MUY ALTA SUSCEPTIBILIDAD

Litologías:

* Materiales aluviales, coluviales y regolíticos de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen los casos 3 y 4 con niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos elevados.

Características físico-mecánicas: Resistencia al corte muy baja, materiales blandos con muchos finos.

Nota: Tabla referencial extraída de los autores Mora, S., & Vahrson, W. G. (1993)

Tabla 5

Clasificación de los promedios mensuales máximos (sobre todo el registro) de la precipitación

Precipitación promedio (mm/mes)	Valor asignado
---------------------------------	----------------

Precipitación promedio (mm/mes)	Valor asignado
< 125	0
125 - 250	1
> 250	2

Nota: Tabla referencial extraída de los autores Mora, S., & Vahrson, W. G. (1993)

Tabla 6

Clasificación del valor humedad H

Valor acumulado	Calificativo	Valor parámetro H
0 - 4	muy bajo	1
5 - 11	bajo	2
12 - 14	medio	3
15 - 19	alto	4
20 - 24	muy alto	5

Nota: Tabla referencial extraída de los autores Mora, S., & Vahrson, W. G. (1993)

La Influencia de la Actividad Sísmica

Para establecer los criterios para definir las clases de influencia de la actividad sísmica sobre la generación de deslizamientos, se realizó un análisis retrospectivo sobre un conjunto de laderas vecinas con características climáticas, geológicas y de relieve semejantes. En estas laderas (Sarchi, Fraijanes) han ocurrido deslizamientos generados por sismos en diferentes fechas, de diferente magnitud y de diferentes intensidades locales.

La tabla 7 indica una correlación entre la intensidad (Mercalli, Modificada) y los índices de influencia de la sismicidad, definiendo 10 clases para cada situación específica. Dado que la información más abundante y confiable (hasta ahora) es la de las intensidades (MM), se recomienda utilizarlas bajo la forma de mapas de máximos históricos, corregidos de la intensidad relativa a un período de recurrencia de 100 años.

Es importante recalcar que, por considerarse a la sismicidad como el elemento de disparo más importante, se le ha asignado un valor máximo de 10 para su índice de influencia.

Tabla 7

Calificación del factor sismicidad S para $T_r=100$ años

Intensidades (Mercalli Modificada)	Calificativo	Valor Parámetro S
III	leve	1
IV	muy bajo	2
V	bajo	3
VI	moderado	4
VII	medio	5
VIII	elevado	6
IX	fuerte	7
X	bastante fuerte	8
XI	muy fuerte	9
XII	extra. fuerte	10

Nota: Tabla referencial extraída de los autores Mora, S., & Vahrson, W. G. (1993)

Lluvias intensas

Las lluvias de alta intensidad son la segunda causa en importancia para el disparo de los deslizamientos, especialmente en regiones tropicales. Ahora bien, se ha notado que mientras los deslizamientos de tipo flujo regolítico corresponden más con lluvias de duración corta y de altas intensidades (de tipo convectivo), los deslizamientos más profundos (de tipo traslacional) son activados y reactivados por grandes cantidades de lluvias, de larga duración (orográficas, temporales).

Para cubrir ambos fenómenos, se utiliza aquí un índice basado en la información de las lluvias máximas en 24 horas. Para la caracterización de la influencia de las lluvias, se debe seguir los pasos siguientes:

- Determinar, para todas las estaciones, la serie de los valores máximos diarios anuales.

- Analizar si existen valores fuera de la serie y si los hay, eliminarlos (ver anexo).

- a) Para registros < 10 años: calcular el promedio aritmético.

- b) Para otros registros: calcular con el método de Gumbel, la precipitación máxima para un periodo de retorno de 100 años. La aplicabilidad de esta metodología fue mostrada por Vahrson y Fallas (1988).

Asignar el valor del parámetro L1 según la tabla 8.

Valores de los Niveles y Clases de Amenaza

Utilizando los valores paramétricos antes descritos y aplicando la ecuación por medio de los elementos de influencia, se obtiene una serie de rangos y clases que ilustran la amenaza de generación de deslizamientos en determinada localidad.

La tabla 9 muestra una clasificación de niveles de amenaza en particular. Sin embargo, las clases y catalogaciones deben ser adaptadas y redefinidas según sea el sitio en donde se quiera aplicar el método.

Tabla 8

Valoración del factor Intensidad de la precipitación P

Lluvias máximas n > 10 años Tr = 100 años (mm)	Lluvias máximas n < 10 años promedio (mm)	Calificativo	Valor parámetro P	del
< 100	< 50	muy bajo	1	
100 - 200	50 - 90	bajo	2	
201 - 300	91 - 130	medio	3	
301 - 400	131 - 175	alto	4	
> 400	> 175	muy alto	5	

Nota: Tabla referencial extraída de los autores Mora, S., & Vahrson, W. G. (1993)

Tabla 9

Clasificación de los grados de amenaza de deslizamientos, según la aplicación de la ecuación (1) y (4)

Potencial	Clase	Grado de amenaza
0 - 6	I	muy bajo
6 - 32	II	bajo
32 - 162	III	moderado
162 - 512	IV	mediano
513 - 1250	V	alto

Nota: Tabla referencial extraída de los autores Mora, S., & Vahrson, W. G. (1993)

Estas clases indican el grado de susceptibilidad general o de amenaza y no necesariamente el tipo de deslizamiento potencialmente desarrollable.

Según las fórmulas aplicadas, se pueden obtener valores máximos de 1875 unidades para las ecuaciones 1 y 2, al considerar todos los elementos en juego. Si se determinan por separado las susceptibilidades, utilizando las ecuaciones 3 y 4, pueden obtenerse valores máximos de 625 unidades para las lluvias y 1250 unidades para los sismos.

2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES

Como parte del estudio, es fundamental comprender una serie de definiciones básicas que nos permiten abordar de manera adecuada el estudio de los suelos, las rocas y los fenómenos geodinámicos asociados. Estas definiciones proporcionan un marco conceptual sólido para analizar la composición, propiedades y comportamiento de los materiales terrestres, así como para tener mayor referencia sobre los riesgos geotécnicos. A razón de ello, se presentan algunas definiciones puntuales que han servido como apoyo para la investigación.

Aceleración sísmica: a través de ella se puede medir la fuerza de un temblor utilizando como referencia unidades de gravedad, de esta manera muestra cómo cambia la rapidez con la que se mueve un lugar sobre la tierra cuando se produce un terremoto (Universidad de Puerto Rico, 2021).

Agrietamiento: es la aparición de hendiduras en un terreno inclinado, lo cual hace que se vuelva menos firme debido a que el agua se filtra a través de las fisuras (MTC, 2013).

Amortiguamiento sísmico: se refiere a la habilidad de una estructura o material de disipar la energía sísmica y disminuir las fuerzas dinámicas que inciden en un talud (Universidad de Puerto Rico, 2021).

Análisis de elementos finitos: se trata de un método computacional que se emplea para modelar y examinar la estabilidad de taludes, dividiendo la geometría en componentes más reducidos (MTC, 2013).

Ángulo de reposo: se refiere al ángulo máximo de inclinación en el cual un material granular se mantiene completamente estable sin deslizarse (MTC, 2013).

Cizalla: es la deformación que se produce cuando las capas de suelo o de la roca tiende a desplazarse de forma horizontal superpuestas una encima de la otra, originando un deslizamiento (MTC, 2013).

Coeficiente de respuesta sísmica: es una medida que permite representar la relación existente entre la respuesta de un talud ante la aceleración sísmica. (Universidad de Puerto Rico, 2021).

Coeficiente de fricción: es la medida de firmeza al deslizamiento que se genera entre las partículas del suelo o de roca en un talud (MTC, 2013).

Deformación: modificación en la posición o forma de un talud que es generalmente ocasionada por fuerzas intrínsecas o extrínsecas, como por ejemplo presión del agua (MTC, 2013).

Deslizamiento de ladera sísmico: se conoce como un desplazamiento que se produce de una masa de suelo o roca a través de una superficie de falla generada mediante un terremoto, precede de la aceleración sísmica (Universidad de Puerto Rico, 2021).

Deslizamiento: hace referencia al movimiento inclinado de una masa de suelo o roca que se produce a lo largo de una superficie de falla ya existente, la mayoría de las veces causado por algunos factores como la gravedad, desgaste o la sobre saturación producida por el agua (MTC, 2013).

Drenaje: es el control del flujo de agua en un talud lo cual evita que se acumule la presión de poros que pueda llegar a originar un deslizamiento (MTC, 2013).

Erosión: es el desgaste y arrastre de suelos y rocas condicionado por el agua, el viento o el hielo, lo cual debilita la estabilidad de un talud (MTC, 2013).

Estabilidad global: se refiere a la resistencia que tiene un talud en su conformación ante un colapso o el deslizamiento. (MTC, 2013).

Estudio de microzonificación sísmica: es la evaluación que proporciona información detallada del riesgo de deslizamiento ante los

movimientos sísmicos y la caracterización del suelo en una región en particular, (Universidad de Puerto Rico, 2021).

Factor de amplificación sísmica: es el aumento de la amplificación de las ondas sísmicas que se producen resultantes de las condiciones geográficas particulares de una zona.(Universidad de Puerto Rico, 2021).

Factor de seguridad: utilizado para evaluar la estabilidad del talud y se concibe como la relación entre la resistencia al deslizamiento de un talud y la fuerza que podría provocar un deslizamiento, (MTC, 2013).

Fracturación: es la formación de fisuras en rocas o suelos, que generalmente debilitan la estabilidad de un talud porque proporcionan recorridos para la infiltración de agua (MTC, 2013).

Interacción del suelo y estructura: efectos que se dan entre un talud y una estructura adyacente de manera bidireccional durante un movimiento sísmico (Universidad de Puerto Rico, 2021).

Inclinación crítica: Es el ángulo máximo de inclinación que presenta un talud manteniendo igualmente su estabilidad y ante cualquier cambio adicional puede generar un deslizamiento (MTC,2013).

Monitoreo: es el seguimiento permanente de la estabilidad de un talud utilizando una instrumentación especializada para detectar los cambios que se producen (MTC, 2013).

Movimiento de masa: es desplazamiento de suelo o roca en grandes cantidades a lo largo de un talud producida por la gravedad u otros factores (MTC, 2013).

Percolación: es el movimiento del agua que se produce a través de un talud afectando su estabilidad porque altera las propiedades del suelo o roca (MTC, 2013).

Rotura dinámica: hace referencia a la formación de grietas en un talud como consecuencia de las fuerzas sísmicas que se producen durante un movimiento de magnitud como el terremoto (Universidad de Puerto Rico, 2021).

Sismo inducido: es un movimiento de tierra a través de la fuerza provocada por algunas actividades realizadas por personas, tal es el caso de la minería porque se hace presión subterránea que repercute en el movimiento del suelo o rocas (Universidad de Puerto Rico, 2021).

Sobrecarga sísmica: es la carga adicional que experimenta un talud durante un terremoto debido a la aceleración sísmica, aumentando así el riesgo de deslizamientos (Universidad de Puerto Rico, 2021).

Sobrecarga: es la carga adicional que se aplica en la parte superior de un talud, tiene una incidencia directa en el aumento de riesgo de deslizamiento (MTC, 2013).

Suelo expansivo: es un tipo de suelo que experimenta cambios significativos en su volumen que se da por las variaciones en la humedad, afectando la estabilidad de un talud (MTC, 2013).

Talud: puede definirse como una pendiente o inclinación de terreno, pudiendo ser natural o artificial, y que está sujeta a movimientos de masa (MTC, 2013).

Topografía: a través de ella se puede definir las características y diferentes formas del suelo, permite proyectar la capacidad de estabilidad de un talud (MTC, 2013).

2.4 HIPÓTESIS

2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

La vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao, es alta.

2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Hipótesis específica 1

La vulnerabilidad sísmica intrínseca del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao, es alta.

Hipótesis específica 2

La vulnerabilidad sísmica detonante del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao, es alta.

Hipótesis específica 3

La vulnerabilidad sísmica combinada del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao, es alta.

2.5. VARIABLES

Variable de interés

Vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes.

Dimensiones de la variable de interés

Vulnerabilidad intrínseca
Vulnerabilidad detonante
Vulnerabilidad combinada

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)

Para realizar el estudio de la variable, se estableció su definición operacional a través de dimensiones e indicadores que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 10

Operacionalización de las variables

Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica del Deslizamiento de Taludes en la carretera Rancho-Panao, Huánuco – 2024							
Variable	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Unidad	Tipo de variable	Escala	Instrumento
<u>Variable de interés</u> Vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes	La metodología que permite determinar la susceptibilidad a deslizamientos de taludes se realiza por medio del análisis de cinco variables, las cuales se clasifican en factores intrínsecos (vulnerabilidad Intrínseca) y factores detonantes (vulnerabilidad detonante). Los factores intrínsecos son; Pendiente, Litología y Humedad del suelo, y los factores detonantes son; Sismicidad Precipitación pluvial (Mora y Vahrson, 1994)	Vulnerabilidad Intrínseca	Pendiente	Sr	Cuantitativa	Continua, de razón	Anexo B
			Litología	Sl	Cuantitativa	Continua, de razón	Anexo B
			Humedad	Sh	Cuantitativa	Continua, de razón	Anexo B
		Vulnerabilidad detonante	Sismicidad	Ts	Cuantitativa	Continua, de razón	Anexo B
			Precipitación pluvial	Tp	Cuantitativa	Continua, de razón	Anexo B

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 ENFOQUE

La investigación se llevó a cabo dentro del paradigma positivista y adoptó un enfoque cuantitativo, basado en la recolección, análisis y presentación de datos de naturaleza cuantitativa. Según Borja (2012), este enfoque postula que la recopilación y el análisis de datos constituyen un método fiable para comprender la realidad, lo que facilitó la respuesta a las interrogantes planteadas en la investigación y la evaluación de las hipótesis propuestas. Este tipo de estudio tuvo como objetivo identificar patrones de comportamiento en una población a través de mediciones numéricas, recuentos y el uso frecuente de técnicas estadísticas. Por consiguiente, los datos obtenidos en el estudio fueron sometidos a un análisis en el contexto de la estadística descriptiva.

En esta misma línea metodológica, el estudio se orientó hacia un tipo de aplicación práctica debido a que los hallazgos encontrados se centran hacia la toma de decisiones que permitan de resolver problemas prácticos. En este ámbito de estudio, se buscó describir la vulnerabilidad sísmica al deslizamiento de los taludes ubicados en un tramo de la carretera seleccionada y para lograrlo se utilizó la teoría de Mora Vahrson y complementariamente la metodología *Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination* (MMLHD).

De acuerdo con lo que expone Chávez (2015), con relación al ámbito de las investigaciones aplicadas, en ellas el investigador se va a centrar en la aplicación de algunos métodos específicos y medidas puntuales para poder abordar y resolver las problemáticas presentadas. En concordancia con este enfoque, en la investigación se utilizaron herramientas especializadas tanto analíticas como técnicas para evaluar los factores de riesgo que estaban asociados a la estabilidad de los taludes en la carretera Rancho-Panao.

3.1.2 ALCANCE O NIVEL

De acuerdo con el objetivo planteado, la investigación tiene un alcance descriptivo. Al respecto, Hernández et al. (2014) exponen que las investigaciones ubicadas en un nivel descriptivo se consideran de utilidad para lograr tener una visión detallada y precisa de un fenómeno o situación en estudio, lo cual puede llegar a servir como punto inicial para futuras investigaciones. También afirman que la selección de un método de análisis adecuado, es importante para validar las conclusiones finales del estudio. Es por ello que, se han aplicado métodos de análisis apropiados garantizando así resultados válidos y confiables.

3.1.3 DISEÑO

En correspondencia con el objetivo general de la investigación, se adoptó un diseño de naturaleza no experimental. Según lo expuesto por el autor Palella (2012), este diseño se diferencia de otros porque no admite la modificación de deliberada cualquier variable. Es decir que, el investigador no interviene de forma intencional en las variables independientes; por el contrario, solo se limita a observar los fenómenos tal cual como se presentan en su contexto real para luego analizarlos en un momento dado.

Durante investigación, el investigador solo se limitó a la observación inherente a la vulnerabilidad al deslizamiento de los taludes de la carretera estudiada, únicamente procedió a la recopilación de los datos asociados a los indicadores a evaluar cómo fueron: Pendiente, Litología, Humedad, Sismicidad y Precipitación pluvial en el área donde se emplaza la carretera.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 POBLACION

Para el presente estudio, la población estuvo constituida por las carreteras de la red vial nacional que discurren en la región de Huánuco. Palella (2012) define la población como un conjunto de unidades sobre las cuales se busca obtener información con el propósito de generar conclusiones. En este contexto, la población representó la totalidad del fenómeno bajo estudio, donde las entidades

que la componían compartían una característica común que fue objeto de análisis y que sirvió como base para la recopilación de datos en la investigación.

3.2.2 MUESTRA

Según la definición de Palella (2012), la muestra del estudio se entiende como una porción o subconjunto de la población que debe representar con precisión ciertas características. Siguiendo esta conceptualización, las muestras pueden ser clasificadas en dos categorías principales: muestras no probabilísticas y muestras probabilísticas.

En el presente estudio, se optó por una muestra no probabilística y de conveniencia, seleccionada intencionalmente según el criterio del investigador. La muestra estuvo conformada por la carretera Ruta PE-18B: Puente Rancho (Km 0+000) – Panao (Km 30+000), en la cual se identificaron los taludes más propensos a deslizamientos. La representación de la carretera seleccionada como muestra del estudio se presenta en la siguiente figura;

Figura 3

Ubicación de la muestra del estudio, carretera Rancho- Panao



3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1 PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Creswell (2019) definió las técnicas como los procedimientos y métodos específicos utilizados para recopilar datos en una investigación. Estas técnicas pueden incluir la observación, la encuesta y el análisis de documentos, entre otras; de manera que son los pasos prácticos que los investigadores deben seguir para recoger la información necesaria para el estudio de sus variables. De ahí que, las técnicas utilizadas en este caso fue la observación de campo, la cual se empleó para medir los valores de la pendiente, litología, humedad y precipitación pluvial, y de igual manera se aplicó la técnica del análisis de documentos, con la cual se recopiló la información sobre la sismicidad en el área de estudio.

Ahora bien, con respecto a los instrumentos, Creswell (2019) hace referencia a que son los medios concretos o herramientas que se utilizan para aplicar dichas técnicas, dentro de los cuales se incluyen hojas de registro, cuestionarios, entrevistas estructuradas, escalas de medición, guías de observación, entre otros. Es decir que, los instrumentos vienen a ser los medios tangibles a través de los cuales se recopilan los datos utilizando las técnicas establecidas. Es por ello que, en la aplicación de la técnica de observación se emplearon hojas de registro (para la medición de la pendiente, litología, humedad y precipitación pluvial), mientras que para la técnica de revisión documental fueron usadas guías de observación (para la recopilación de información sobre la sismicidad).

3.3.2 PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS (CUADROS Y/O GRÁFICOS)

En esta etapa de la investigación fueron de gran utilidad los diversos formatos utilizados para recabar la información porque de alguna manera facilitaron realizar una adecuada organización y visualización de la información obtenida. Para lograr esta organización de datos, se cumplió con el siguiente procedimiento por cada indicador:

Pendiente: cada valor obtenido en la observación de campo fue organizado en tablas de clasificación y luego presentados en gráficos

de barras y diagramas de dispersión, lo cual permitió visualizar la distribución de los valores de pendiente en las diferentes zonas evaluadas.

Litología: la información recopilada para este indicador se organizó en tablas comparativas. Además, se crearon mapas temáticos que muestran la distribución espacial de las distintas unidades litológicas en la carretera analizada.

Humedad: la información fue mostrada en tablas explicativas, conjuntamente con gráficos (de caja y bigotes) para reconocer la variabilidad y los valores desiguales dentro del grupo de datos. De igual modo, se han presentado mapas de interpolación para poder observar cómo es la distribución de la humedad en la zona de estudio.

Precipitación pluvial: para obtener el registro de datos de este indicador se tomaron fuentes documentales, estos datos fueron organizados en series temporales, con lo cual se pudo verificar la variación de las precipitaciones a lo largo del tiempo. Para la presentación de esta información documental se realizaron gráficos de líneas y diagramas de tendencia, los cuales permitieron identificar patrones estacionales y ver su relación con la estabilidad de los taludes evaluados.

3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Análisis de Datos. Este procedimiento se llevó a cabo empleando la estadística descriptiva e inferencial, las cuales se han implementado en relación a cada hipótesis planteada y conforme a la información organizada.

1: Estadística Descriptiva: mediante ella se pudo establecer y concentrar los datos recolectados en el estudio de los taludes, proporcionando de tendencia central y de medidas de dispersión según cada uno de los indicadores. Igualmente, se utilizaron representaciones visuales como histogramas, diagramas de dispersión y mapas de temas que simplificaron la comprensión de los datos estadísticos.

2. Estadística Inferencial. Para la contrastación de hipótesis se aplicaron ensayos de significancia estadística con el objetivo de corroborar cada una de ellas. En este sentido, se llevaron a cabo

estudios de compensación y regresión, a lo cual se adicionaron las pruebas de hipótesis fundamentadas en distribuciones paramétricas y no paramétricas, tomando en cuenta el tipo de datos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Previamente al procesamiento de datos se presentan los resultados de la recolección de datos realizado para cada uno de los taludes analizados;

Pendiente

Tabla 11

Valores de las pendientes de los taludes analizados

N.º de Talud	Progresiva (Km)	Pendiente (%)
1	0+900	78%
2	7+700	80%
3	12+700	75%

Litología

Tabla 12

Litología de los taludes analizados

N.º de Talud	Progresiva (Km)	Litología
1	0+900	Arena limosa con grava (SM), sin plasticidad, con cohesión baja (0.038 kg/cm ²) y ángulo de fricción de 26.40°. Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente y con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros.
2	7+700	Grava mal graduada con limo y arena (GP-GM), con cohesión baja (0.021 kg/cm ²) y ángulo de fricción de 32.14°. Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente y con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros.

3	12+700	Arena limosa con grava (SM), con un ángulo de fricción interna de 25.08° y cohesión de 0.015 kg/cm². Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente y con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros.
---	--------	---

Humedad

Tabla 13

Valores de la Humedad del suelo en los taludes analizados

N.º de Talud	Progresiva (Km)	Humedad (%)
1	0+900	10.33
2	7+700	13.34
3	12+700	11.00

Sismicidad

Tabla 14

Valores de la sismicidad máxima registrada en la zona de Estudio (Provincia de Pachitea)

N.º de Talud	Progresiva (Km)	Intensidades (Mercalli Modificada)
1	0+900	V-VI
2	7+700	V-VI
3	12+700	V-VI

Precipitación

Tabla 15

Lluvias máximas n > 10 años registrados en la zona de Estudio (Provincia de Pachitea)

N.º de Talud	Progresiva (Km)	Lluvias maximas n > 10 años Tr =100 años(mm)
1	0+900	100 - 200
2	7+700	100 - 200
3	12+700	100 - 200

4.1.1 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 1 (MUESTRA 1)

Hallar la vulnerabilidad sísmica intrínseca del deslizamiento de taludes.

Según la metodología de Mora-Vahrson, la vulnerabilidad sísmica intrínseca (Susc) se calcula con la ecuación:

$$Susc = R_r \times L \times H$$

• (R_r) = Factor de Pendiente: Según la tabla 11, la pendiente del talud 1 en la progresiva 0+900 es de 78%, y según la Tabla 3 del método Mora Vahrson.

El valor de esta pendiente está en el rango de 50.1 a 80%, por lo que le corresponde un valor del parámetro R_r = 4 con un calificativo de Alto.

• (L) = Factor Litológico: De acuerdo con los resultados hallados para la litología de las muestras, presentados en la tabla 12, en el talud 1 de la progresiva 00+900 el suelo corresponde a una arena limosa con grava (SM), sin plasticidad, con cohesión baja (0.038 kg/cm²) y ángulo de fricción de 26.40°, Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente y con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros, y según la tabla 4 del método Mora Vahrson.

Al factor litológico hallado para el talud 1, le corresponde un valor de L=4 con un calificativo de Alta Susceptibilidad, este material se clasifica con una litología de alta susceptibilidad, asignándole L = 4.

• (H) = Factor de Humedad del Suelo: Según los resultados hallados para la humedad del suelo en el talud 1 ubicado en la progresiva 00+900 presentados en la tabla 13, se tiene un valor de 10.33% y de acuerdo con la tabla 6 del método Mora Vahrson.

A una humedad de valor 10.33% le corresponde un Valor parámetro de humedad H=2 con un calificativo de Bajo

Cálculo de Susceptibilidad Intrínseca en el talud 1 (Susc):

En la expresión $Susc = R_r \times L \times H$ se tienen los valores de R_r, L y H, reemplazando esos valores se tiene lo siguiente:

$$Susc = 4 \times 4 \times 2 = 32$$

Clasificación: Según la Tabla 9 del método Mora Vahrson.

El valor 32 se encuentra en el límite superior de la clase II con un grado de Amenaza (Vulnerabilidad) de 'Bajo', con tendencia a 'Moderado'.

4.1.2 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 2 (MUESTRA 1)

Hallar la vulnerabilidad sísmica detonante del deslizamiento de taludes.

La vulnerabilidad sísmica detonante (D) se calcula mediante la fórmula:

$$D = S + P$$

- (S) = Factor de Sismicidad: De acuerdo con los resultados hallados en la tabla 14 respecto a la sismicidad, al talud 1 ubicado en la progresiva 00+900 le corresponde intensidades de V en la escala de Mercalli Modificada (correspondiente a la Provincia de Pachitea), y de acuerdo con la tabla 7 del método Mora Vahrson.

Según esta tabla, a una intensidad de grado V (Escala Mercalli Modificada) le corresponde un valor parámetro de S=3 con un calificativo de Bajo.

- (P) = Factor de Precipitación: Considerando los valores hallados para la precipitación en el talud 1 ubicado en la progresiva 00+900 le corresponde un valor de Lluvias máximas $n > 10$ años $Tr = 100$ años (mm) = 100 – 200 mm, y considerando los valores de la tabla 8 del método Mora Vahrson;

En esta tabla, valor de 100 – 200 mm le corresponde un valor del parámetro P = 2 con el calificativo de bajo.

Cálculo del Factor Detonante

Con los valores hallados de S y P, se calcula el valor del Factor Detonante D.

$$D = S + P = 3 + 2 = 5$$

4.1.3 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 3 (MUESTRA 1)

Hallar la vulnerabilidad sísmica combinada del deslizamiento de taludes

La vulnerabilidad combinada del talud 1 ubicado en la progresiva 00+900 se determina (según el método Mora Vahrson) multiplicando la susceptibilidad intrínseca por el factor detonante:

$$V = S_{usc} \times D = 32 \times 5 = 160$$

4.1.4 CLASIFICACIÓN FINAL SEGÚN EL MÉTODO MORA-VAHRSON (MUESTRA 1)

Según la Tabla 9 del método Mora Vahrson;

En esta tabla, para valor de vulnerabilidad combinada $V = 160$ le corresponde a la siguiente clasificación:

- Intervalo: 32 – 162
- Clase: III
- Grado de amenaza de deslizamiento: Moderado

Por tanto, se concluye que el talud derecho en la progresiva 0+900 presenta una Vulnerabilidad de deslizamiento Moderado, lo que sugiere la implementación de medidas preventivas para preservar la seguridad de la vía.

4.1.5 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 1 (MUESTRA 2)

Hallar la vulnerabilidad sísmica intrínseca del deslizamiento de taludes.

Según la metodología de Mora-Vahrson, la vulnerabilidad sísmica intrínseca (S_{usc}) se calcula con la ecuación:

$$S_{usc} = R_r \times L \times H$$

- (R_r) = Factor de Pendiente: Según la tabla 11 la pendiente del talud 2 ubicado en la progresiva 7+700 es de 80%, y según la Tabla 3 del método Mora Vahrson.

En esta tabla valor de esta pendiente está en el rango de 50.1 a 80%, por lo que le corresponde un valor del parámetro $R_r = 4$ con un calificativo de Alto.

- (L) = Factor Litológico: De acuerdo con los resultados hallados para la litología de las muestras, presentados en la tabla 12, en el talud 2 de la progresiva 07+700 el suelo corresponde a una Grava mal graduada con limo y arena (GP-GM), con cohesión baja (0.021 kg/cm^2) y ángulo de fricción de 32.14° . Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente y con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros, y según la tabla 4 del método Mora Vahrson.

Al factor litológico hallado para el talud 1, le corresponde un valor de $L=4$ con un calificativo de Alta Susceptibilidad, este material se clasifica con una litología de alta susceptibilidad, asignándole $L = 4$.

- (H) = Factor de Humedad del Suelo: Según los resultados hallados para la humedad del suelo en el talud 2 ubicado en la progresiva 9+700 presentados en la tabla 13, se tiene un valor de 13.34% y de acuerdo con la tabla 6 del método Mora Vahrson.

A una humedad de valor 13.34% le corresponde un Valor parámetro de humedad $H=3$ con un calificativo de Medio.

Cálculo de Susceptibilidad Intrínseca en el talud 2 (Susc):

En la expresión $Susc = R_r \times L \times H$ se tienen los valores de R_r , L y H , reemplazando esos valores se tiene lo siguiente;

$$Susc = 4 \times 4 \times 3 = 48$$

Clasificación: Según la Tabla 9 del método Mora Vahrson.

El valor 48 se encuentra en el rango de la clase III con un grado de Amenaza (Vulnerabilidad) de Moderado.

4.1.6 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 2 (MUESTRA 2)

Hallar la vulnerabilidad sísmica detonante del deslizamiento de taludes.

La vulnerabilidad sísmica detonante (D) se calcula mediante la fórmula:

$$D = S + P$$

- (S) = Factor de Sismicidad: De acuerdo con los resultados hallados en la tabla 14 respecto a la sismicidad, al talud 2 ubicado en la progresiva 07+700 le corresponde intensidades de V en la escala de Mercalli Modificada (correspondiente a la Provincia de Pachitea), y de acuerdo con la tabla 7 del método Mora Vahrson.

En esta tabla, para la intensidad de grado V (Escala Mercalli Modificada) le corresponde un valor parámetro de $S=3$ con un calificativo de Bajo

- (P) = Factor de Precipitación: Considerando los valores hallados para la precipitación en el talud 2 ubicado en la progresiva 07+700 le corresponde un valor de Lluvias máximas $n > 10$ años $Tr = 100$ años (mm) = 100 – 200 mm, y considerando los valores de la tabla 8 del método Mora Vahrson.

En esta tabla, para el valor de 100 – 200 mm le corresponde un valor del parámetro $P = 2$ con el calificativo de bajo.

Cálculo del Factor Detonante en el talud 2:

Con los valores hallados de S y P, se calcula el valor del Factor Detonante D.

$$D = S + P = 3 + 2 = 5$$

4.1.7 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 3 (MUESTRA 2)

La vulnerabilidad combinada del talud 2 ubicado en la progresiva 07+700 se determina (según el método Mora Vahrson) multiplicando la susceptibilidad intrínseca por el factor detonante:

$$V = \text{Susc} \times D = 48 \times 5 = 240$$

4.1.8 CLASIFICACIÓN FINAL SEGÚN EL MÉTODO MORA-VAHRSON (MUESTRA 2)

Según la Tabla 9 del método Mora Vahrson.

Un valor de vulnerabilidad combinada $V = 160$ corresponde a la siguiente clasificación:

- Intervalo: 162 – 512
- Clase: IV
- Grado de amenaza de deslizamiento: Mediano

Por tanto, se concluye que el talud 2 ubicado en la progresiva 7+700 presenta una Vulnerabilidad de deslizamiento Mediano, lo que sugiere la implementación de medidas preventivas para preservar la seguridad de la vía.

4.1.9 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 1 (MUESTRA 3)

Hallar la vulnerabilidad sísmica intrínseca del deslizamiento de taludes.

Según la metodología de Mora-Vahrson, la vulnerabilidad sísmica intrínseca (Susc) se calcula con la ecuación:

$$\text{Susc} = R_r \times L \times H$$

- (Rr) = Factor de Pendiente: Según la tabla 11 la pendiente del talud 3 ubicado en la progresiva 12+700 es de 75%, y según la Tabla 3 del método Mora Vahrson.

El valor de la pendiente (75%) está en el rango de 50.1 a 80%, por lo que le corresponde un valor del parámetro $R_r = 4$ con un calificativo de Alto.

• (L) = Factor Litológico: De acuerdo con los resultados hallados para la litología de las muestras, presentados en la tabla 12, en el talud 3 de la progresiva 12+700 el suelo corresponde una Arena limosa con grava (SM), con un ángulo de fricción interna de 25.08° y cohesión de 0.015 kg/cm^2 . Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente y con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros, y según la tabla 4 del método Mora Vahrson.

Al factor litológico hallado para el talud 2, le corresponde un valor de $L=4$ con un calificativo de Alta Susceptibilidad, este material se clasifica con una litología de alta susceptibilidad, asignándole $L = 4$.

• (H) = Factor de Humedad del Suelo: Según los resultados hallados para la humedad del suelo en el talud 3 ubicado en la progresiva 12+700 presentados en la tabla 13, se tiene un valor de 11.00 % y de acuerdo con la tabla 6 del método Mora Vahrson.

A una humedad de valor 11.00% le corresponde un Valor parámetro de humedad $H=2$ con un calificativo de Bajo.

Cálculo de Susceptibilidad Intrínseca en el talud 3 (Susc):

En la expresión $Susc = R_r \times L \times H$ se tienen los valores de R_r , L y H , reemplazando esos valores se tiene lo siguiente;

$$Susc = 4 \times 4 \times 2 = 32$$

Clasificación: Según la Tabla 9 del método Mora Vahrson.

El valor 32 se encuentra en el rango de la clase II con un grado de Amenaza (Vulnerabilidad) de Bajo con tendencia a Moderado.

4.1.10 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 2 (MUESTRA 3)

Hallar la vulnerabilidad sísmica detonante del deslizamiento de taludes.

La vulnerabilidad sísmica detonante (D) se calcula mediante la fórmula:

$$D = S + P$$

- (S) = Factor de Sismicidad: De acuerdo con los resultados hallados en la tabla 14 respecto a la sismicidad, al talud 3 ubicado en la progresiva 12+700 le corresponde intensidades de V en la escala de Mercalli Modificada (correspondiente a la Provincia de Pachitea), y de acuerdo con la tabla 7 del método Mora Vahrson.

Para una intensidad de grado V (Escala Mercalli Modificada) le corresponde un valor parámetro de $S=3$ con un calificativo de Bajo.

- (P) = Factor de Precipitación: Considerando los valores hallados para la precipitación en el talud 3 ubicado en la progresiva 12+700 le corresponde un valor de Lluvias máximas $n > 10$ años $Tr = 100$ años (mm) = 100 – 200 mm, y considerando los valores de la tabla 8 del método Mora Vahrson.

Según esta tabla, al valor de 100 – 200 mm le corresponde un valor del parámetro $P = 2$ con el calificativo de bajo.

Cálculo del Factor Detonante en el talud 3:

Con los valores hallados de S y P, se calcula el valor del Factor Detonante D.

$$D = S + P = 3 + 2 = 5$$

4.1.11 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 3 (MUESTRA 3)

La vulnerabilidad combinada del talud 3 ubicado en la progresiva 12+700 se determina (según el método Mora Vahrson) multiplicando la susceptibilidad intrínseca por el factor detonante:

$$V = \text{Susc} \times D = 32 \times 5 = 160$$

4.1.12 CLASIFICACIÓN FINAL SEGÚN EL MÉTODO MORA-VAHRSON (MUESTRA 3)

Según la Tabla 9 del método Mora Vahrson.

Un valor de vulnerabilidad combinada $V = 160$ corresponde a la siguiente clasificación:

- Intervalo: 32 – 162
- Clase: III
- Grado de amenaza de deslizamiento: Moderado

Por tanto, se concluye que el talud 2 ubicado en la progresiva 7+700 presenta una Vulnerabilidad de deslizamiento Moderado, lo que

sugiere la implementación de medidas preventivas para preservar la seguridad de la vía.

4.1.13 RESUMEN DE LOS RESULTADOS HALLADOS

La Calicata 1, ubicada en la progresiva 0+900 con una pendiente de 78%, presentó una vulnerabilidad intrínseca de 32, clasificada como baja. Este valor fue influido por una baja humedad del suelo (10.33%) y una litología con alta susceptibilidad. La vulnerabilidad detonante, resultado de la suma de los factores sísmico (3) y de lluvias (2), alcanzó un valor de 5. Por lo tanto, la vulnerabilidad combinada fue de 160, clasificada como moderada. La baja humedad disminuyó la amenaza global del talud.

La Calicata 2, en la progresiva 7+700 y con una pendiente de 80%, mostró una vulnerabilidad intrínseca de 48, clasificada como moderada. Este resultado se debe a una humedad media (13.34%) y una litología de alta susceptibilidad (GP-GM), combinadas con una pendiente crítica. La vulnerabilidad detonante fue también de 5, lo que llevó a una vulnerabilidad combinada de 240, clasificada como mediana, pero cercana al umbral del nivel alto. Este tramo constituye el punto más vulnerable de los tres analizados.

La Calicata 3, en la progresiva 12+700, con una pendiente de 75%, presentó resultados idénticos a los de la Calicata 1: vulnerabilidad intrínseca de 32 (baja), detonante de 5, y combinada de 160 (moderada). Esta coincidencia indica similitudes en humedad, litología y condiciones geomorfológicas, lo que valida la consistencia del método aplicado en el estudio.

Tabla 16

Resultados hallados para cada una de las muestras (calicatas 1, 2 y 3)

Indicador	Calicata 1 (0+900)	Calicata 2 (7+700)	Calicata 3 (12+700)	Promedio	Comentario
-----------	-----------------------	-----------------------	------------------------	----------	------------

Vulnerabilidad Intrínseca (Susc)	32 (Baja)	48 (Moderada)	32 (Baja)	37.33	Calicata 2 tiene mayor pendiente y humedad. 1 y 3 presentan condiciones similares.
Vulnerabilidad Detonante (D)	5	5	5	5.0	Valor uniforme por compartir condiciones sísmicas y de precipitación similares.
Vulnerabilidad Combinada (V)	160 (Moderada)	240 (Mediana)	160 (Moderada)	186.67 Mediana (cercana al límite superior)	2 moderadas y 1 mediana; Calicata 2 requiere especial atención.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

En este capítulo se presenta el análisis estadístico de las tres hipótesis específicas relacionadas con la vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes en la carretera Rancho-Panao, Huánuco-2024. El procedimiento comprende un análisis descriptivo seguido de un análisis inferencial, sustentado en los datos empíricos obtenidos en las tres calicatas estudiadas, de acuerdo con la metodología de Mora-Vahrson.

Análisis Descriptivo

Se utilizó estadística descriptiva para resumir los valores de vulnerabilidad intrínseca, detonante y combinada:

Tabla 17

Resultados de las muestras respecto a la Vulnerabilidad sísmica intrínseca, Vulnerabilidad sísmica detonante y la Vulnerabilidad sísmica combinada

Indicador	Calicata 1 (0+900)	Calicata 2 (7+700)	Calicata 3 (12+700)	Promedio	Clasificación promedio
Vulnerabilidad Intrínseca	32 (Baja)	48 (Moderada)	32 (Baja)	37.33	Baja a Moderada
Vulnerabilidad Detonante	5	5	5	5.0	Uniforme
Vulnerabilidad Combinada	160 (Moderada)	240 (Mediana)	160 (Moderada)	186.67	Moderada a Mediana

En términos generales, se observa que la vulnerabilidad intrínseca es baja en las calicatas 1 y 3, mientras que la calicata 2 presenta una condición moderada. La vulnerabilidad detonante es constante en todas las calicatas, lo que refleja uniformidad en los factores sísmicos y de precipitación. Finalmente, la vulnerabilidad combinada es moderada en 2 casos y Mediana en 1, en la calicata 2, debido a su mayor vulnerabilidad intrínseca.

Adicionalmente, se puede advertir una clara relación entre la pendiente y el contenido de humedad con los valores de vulnerabilidad intrínseca, lo cual concuerda con los principios del método Mora-Vahrson, en tanto la pendiente pronunciada y la mayor retención de agua incrementan la inestabilidad potencial del talud.

Análisis inferencial

Prueba de Hipótesis. Para la prueba de hipótesis se aplicó la prueba t de una muestra, la cual permite comparar el valor promedio observado de cada variable contra un valor de referencia (crítico) correspondiente a la categoría "alta" según el método de Mora-Vahrson:

- Para Vulnerabilidad Intrínseca, el umbral para clasificación "Alta" es ≥ 50 (Mora-Vahrson, 1994).
- Para Vulnerabilidad Detonante, el umbral "Alta" es ≥ 7 .
- Para Vulnerabilidad Combinada, el umbral "Alta" es ≥ 512 .

Se adopta un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Hipótesis Específica H1: La vulnerabilidad sísmica intrínseca es alta.

- $H_01: \mu < 50$ (no es alta)
- $H_a1: \mu \geq 50$ (es alta)

Resultados:

- Media observada: 37.33
- Valor crítico: 50
- $s \approx 9.24$
- $t \text{ calculada} = (37.33 - 50) / (9.24 / \sqrt{3}) \approx -2.37$
- $t \text{ crítico (gl} = 2, \alpha = 0.05) \approx 2.92$

Decisión: No se rechaza H_01 . Conclusión: La vulnerabilidad intrínseca no es alta.

Esta evidencia estadística está en correspondencia con los resultados de campo, donde dos de las tres calicatas presentan una clasificación "Baja"

y sólo una "Moderada". Esto sugiere que, si bien existen variaciones locales, en promedio la condición estructural de los suelos y las pendientes no inducen un nivel de amenaza crítico.

Hipótesis Específica H2: La vulnerabilidad sísmica detonante es alta.

- $H_{o2}: \mu < 7$
- $H_{a2}: \mu \geq 7$

Resultados:

- Media observada: 5
- $s = 0$ (valores constantes)

Decisión: Dado que no existe variabilidad entre muestras y los valores están por debajo del umbral crítico, se concluye que la vulnerabilidad detonante no es alta.

La ausencia de variación en este indicador se explica por las condiciones geográficas compartidas entre los puntos de muestreo. La homogeneidad de los factores sísmicos y pluviales en la región de estudio sugiere que no hay sectores críticos que eleven el riesgo por activadores externos. Esta uniformidad fortalece la robustez del método empleado.

Hipótesis Específica H3: La vulnerabilidad sísmica combinada es alta.

- $H_{o3}: \mu < 512$
- $H_{a3}: \mu \geq 512$

Resultados:

- Media observada: 186.67
- Valor crítico: 512
- $s \approx 46.19$
- $t \text{ calculada} = (186.67 - 260) / (46.19 / \sqrt{3}) \approx -2.76$
- $t \text{ crítico (gl} = 2, \alpha = 0.05) \approx 2.92$

Decisión: No se rechaza H_{o3} . Conclusión: La vulnerabilidad combinada no es alta.

Aunque los resultados se ubican dentro de la categoría moderada, el valor de la calicata 2 (240) está próximo al límite superior de la clasificación mediano a alto. Esto amerita una vigilancia preventiva en dicho tramo. En este sentido, se sugiere incorporar medidas de mitigación específicas, tales como refuerzos de talud o drenaje superficial adicional.

Los resultados obtenidos mediante la prueba t de una muestra permiten concluir que ninguna de las dimensiones analizadas de la vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes en la carretera Rancho-Panao alcanza el nivel "alto". En consecuencia, las tres hipótesis específicas fueron refutadas y se aceptan las hipótesis nulas. La evidencia empírica muestra que la vulnerabilidad, si bien moderada en algunos tramos, no alcanza niveles críticos.

Este hallazgo no debe interpretarse como ausencia de riesgo, sino como una condición que exige vigilancia constante, especialmente en puntos como la calicata 2. El enfoque metodológico basado en Mora-Vahrson demostró ser adecuado para capturar la variabilidad y establecer prioridades de intervención en infraestructura vial vulnerable.

Prueba de la Hipótesis General

Hipótesis General (Hg): La vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao es alta.

- HoG: $\mu < 512$ (no es alta)
- HaG: $\mu \geq 512$ (es alta)

Prueba estadística utilizada: Para evaluar esta hipótesis general se utiliza la prueba t de una muestra, al igual que en las hipótesis específicas. Esta prueba es apropiada cuando se desea contrastar el valor promedio de una muestra frente a un valor teórico o de referencia, como en este caso el umbral de 512 establecido por el método Mora-Vahrson para clasificar la vulnerabilidad combinada como "alta". Según Borja (2012), esta prueba es adecuada para muestras pequeñas cuando la variable se aproxima a una distribución normal y se conoce la desviación estándar muestral.

Resultados:

- Media de vulnerabilidad combinada: 186.67
- Valor crítico (umbral para clasificación alta): 512
- Desviación estándar muestral: ≈ 46.19
- t calculada = $(186.67 - 512) / (46.19 / \sqrt{3}) \approx -2.76$
- t crítico (gl = 2, $\alpha = 0.05$) ≈ 2.92

Decisión: No se rechaza la hipótesis nula HoG.

Conclusión: La vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes no es alta en el tramo evaluado de la carretera Rancho-Panao.

Análisis complementario: Desde el punto de vista estadístico, los resultados permiten inferir que, para el tramo estudiado, el nivel de vulnerabilidad sísmica se ubica dentro del rango Mediano, sin alcanzar el umbral de criticidad definido por la metodología técnica empleada. Aunque la calicata 2 presentó un valor elevado (240), este no fue suficiente para elevar el promedio general por encima del umbral de 512.

Los resultados sí permiten identificar zonas de atención prioritaria (como la calicata 2) y establecer líneas base para futuras investigaciones e intervenciones.

Los resultados obtenidos mediante la prueba t de una muestra permiten concluir que ni las dimensiones específicas ni la vulnerabilidad sísmica general del deslizamiento de taludes en la carretera Rancho-Panao alcanzan el nivel "alto". En consecuencia, tanto las hipótesis específicas como la general fueron refutadas y se aceptan las hipótesis nulas. La evidencia empírica muestra que la vulnerabilidad, si bien moderada en algunos tramos, no alcanza niveles críticos.

Se recomienda vigilancia y monitoreo continuo, así como estudios complementarios para fortalecer la capacidad predictiva y de respuesta ante posibles eventos geodinámicos.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La discusión de resultados constituye una etapa clave en toda investigación, ya que permite contrastar los hallazgos empíricos con los objetivos planteados, las hipótesis formuladas y con estudios previos. De acuerdo con Sampieri, Collado y Lucio (2014), la discusión es el espacio donde el investigador interpreta sus resultados, relacionándolos con el marco teórico y evaluando su pertinencia frente a los objetivos e hipótesis establecidos. En concordancia con esta definición, en este apartado se presenta la discusión de los resultados del estudio la cual ha sido desglosada en tres secciones: principales evidencias, contraste con otros estudios, fortalezas y limitaciones.

5.1 PRINCIPALES EVIDENCIAS

De acuerdo con Hernández et al. (2014), las evidencias en una investigación representan el soporte práctico que permite validar o refutar las hipótesis formuladas. De manera que, estas evidencias deben ser interpretadas en convergencia con el problema de investigación, los objetivos y el método científico que se ha utilizado.

A continuación, se detallan las evidencias encontradas en función a cada objetivo específico e hipótesis establecida.

Con relación al Objetivo Específico 1, los resultados evidencian que de las tres excavaciones (calicatas) solo dos de ellas (1 y 3) exhiben un valor de 32, clasificado como bajo, en cambio la excavación (calicata) 2 obtuvo un valor de 48, considerado en la clasificación como moderado. Mientras que la media global fue de 37.33, estos valores dejan en evidencia que la vulnerabilidad intrínseca no alcanza niveles críticos, lo cual refuta la Hipótesis Específica H1, en la cual se afirmaba que dicha vulnerabilidad era alta. Además que el análisis estadístico (prueba t) corroboró esta conclusión demostrando que el valor medio no supera el umbral crítico de 50.

En lo que respecta al Objetivo Específico 2, que se relaciona con la vulnerabilidad sísmica por detonación, los hallazgos mostraron consistencia en todas las calicatas, obteniendo un puntaje de 5 en cada una de ellas. Esta igualdad se debe a la similitud de los elementos sísmicos ($S = 3$) y de

lluvia ($P = 2$) en la zona analizada. De este modo se tiene que, la falta de variaciones y el promedio por debajo del límite crítico (≥ 7) desmienten la Hipótesis Específica H2, lo cual indica que la vulnerabilidad por detonación no es alta.

En referencia al Objetivo Específico 3, relacionado con la vulnerabilidad sísmica combinada, se notó que las calicatas 1 y 3 lograron un valor de 160, mientras que la calicata 2 tuvo un valor de 240. El promedio general fue de 186.67, lo que sitúa al grupo de muestras en la categoría de vulnerabilidad Mediana. Cabe señalar que, a pesar de tener valor bastante elevado en la calicata 2, no se superó el umbral definido (≥ 512) para ser clasificado como Alto, lo que también refuta la Hipótesis Específica H3. Sin embargo, es importante señalar la importancia de una intervención preventiva en el área de la calicata 2.

Finalmente, en relación con el objetivo y la hipótesis general, que sugería que los taludes en el segmento analizado presentaban una alta vulnerabilidad sísmica, los estudios llevados a cabo permitieron descartar esta afirmación. En oposición a ello, se obtuvo que la media combinada de 186.67 está por debajo del valor umbral de 512, así es que no llega a ser crítica la vulnerabilidad sísmica, aunque si se considera necesario hacer un monitoreo y cuidado regular en el área de estudio de modo preventivo.

5.2 CONTRASTE CON OTROS ESTUDIOS

En una investigación el contraste con otros estudios previos suele ser una técnica esencial para ubicar hallazgos similares o complementarios dentro de un repertorio científico existente. Según lo exponen Hernández Sampieri et al. (2014), esta comparación que se hace de los resultados con otras investigaciones realizadas permite identificar diversos puntos de convergencia o divergencia, y analizar las posibles causas de las similitudes o diferencias observadas. A través de este análisis no solo se fortalece la validez del estudio, sino que también facilita la generación de nuevas hipótesis, así como también sugerir nuevas líneas de investigación. En base a estas consideraciones, en este apartado se realiza un contraste detallado de los resultados de la investigación con los estudios nacionales e internacionales que han sido referenciados en la sección de los antecedentes.

En tal sentido, se tiene que el estudio realizado por Ferrera et al. (2008) en la provincia de Santiago de Cuba presenta ciertas convergencias con el presente trabajo, particularmente con respecto al objetivo general planteado. Aun y cuando el citado autor presenta un enfoque más integral porque toma en cuenta tanto las carreteras como los puentes, mas no se centra exclusivamente en la amenaza sísmica, pero, su metodología comparte algunas similitudes con la presente investigación en cuanto a la evaluación de amenazas geológicas y la necesidad de realizar inspecciones técnicas detalladas. Asimismo, el enfoque descriptivo-aplicado utilizado por Ferrera et al. permitió identificar debilidades estructurales relevantes, estos factores complementan el análisis focalizado en taludes que se ha desarrollado en la carretera Rancho-Panao. Si bien es cierto que el contexto geográfico y las amenazas son desiguales, en ambos estudios se coincide en lo importante que es la implementación de medidas de mitigación estructural y de monitoreo constante en las vías que son vulnerables.

En igual forma, en el estudio realizado por Solís (2018) en el enfoque utilizado combina múltiples fuentes de información topográfica con modelos de evaluación de riesgo, incluyendo el método Mora-Vahrson. A diferencia del presente trabajo, Solís presenta resultados inconsistentes entre las metodologías que utilizó, específicamente entre el método Mora-Vahrson y el método del ángulo crítico. Esta discrepancia metodológica resulta interesante, pues en el presente estudio los valores obtenidos por el método Mora-Vahrson si tienen una correspondencia con las observaciones de campo y la caracterización geotécnica de los taludes. Cabe señalar que las circunstancias geomorfológicas del área de estudio pudieran ser condicionantes en los resultados. Sin embargo, en el estudio de Solis (2018) se destaca el papel determinante de la pendiente y la altura de los taludes, coincidiendo así con los hallazgos de la calicata 2, donde se arrojaron valores de vulnerabilidad superiores debido a una mayor pendiente y humedad.

Por otro lado, el estudio presentado por Molina (2011) incluye una evaluación de la vulnerabilidad sísmica con una visión funcional y urbana, centrándose en la red vial del Área Metropolitana de San José. En su metodología hace una combinación de la modelación de tráfico con análisis

de riesgo, y aunque no aborda directamente la estabilidad de taludes, su interés por garantizar la continuidad funcional del sistema vial en escenarios de emergencia aporta un valor significativo a la presente investigación, porque puede beneficiarse de esta aproximación, integrando en estudios futuros consideraciones de operatividad post-desastre, rutas alternativas y tiempos de recuperación. Es decir que, ambas investigaciones convergen en la necesidad de establecer prioridades de intervención y monitoreo en segmentos vulnerables, aunque difieren en la escala (urbana vs rural) y en la naturaleza del riesgo evaluado (funcional vs geotécnico).

En el contraste con estudios a nivel nacional, en el caso del trabajo de Guerra (2020) este estudio proporciona resultados complementarios al método Mora-Vahrson, el cual ha sido empleado en esta investigación, donde los valores de factor de seguridad reportados por Guerra (0.3 a 0.8) revelan condiciones de inestabilidad crítica, particularmente en zonas con deficiente cohesión del suelo. Aunque los niveles de vulnerabilidad obtenidos en esta investigación (160 a 240) no se consideran como críticos, en ambas investigaciones se destaca la influencia clave de la pendiente y la composición geológica en la seguridad de los taludes. Esta convergencia en la metodología fortalece la credibilidad y confiabilidad de ambas técnicas, si bien el enfoque de Mora-Vahrson proporciona una opción más accesible para estudios iniciales en áreas rurales, dado que hay menos recursos computacionales avanzados disponibles.

En el estudio efectuado por Faichin (2023), en un tramo vial de la sierra nororiental de Perú, los resultados arrojaron una clasificación de riesgo entre bajo y moderado. Al comparar este hallazgo con los resultados del actual análisis de la carretera en estudio, se identificó una vulnerabilidad promedio combinada de 186.67, considerada como moderada. Aunque existen diferencias en las cifras entre los dos análisis, ambos coinciden en que los aspectos internos, en particular la inclinación del terreno y las características de las rocas, son cruciales para determinar el nivel de peligro. Este autor profundizó el análisis de sus hallazgos aplicando la técnica de los mapas temáticos la cual puede usarse en fases posteriores del presente estudio para perfeccionar la forma en que se presenta la información. En conclusión,

esta evaluación comparativa respalda la validez del enfoque de Mora-Vahrson en el entorno andino de Perú.

Asimismo, Carlos (2021) evalúa el peligro sísmico en los taludes del sistema de riego del canal Yanama, utilizando un enfoque aplicado con diseño descriptivo-explicativo. Su estudio identifica diversos niveles de riesgo, desde alto hasta bajo, segmentando el tramo en función de la calidad constructiva y del suelo. Aunque el objeto de análisis es diferente infraestructura de riego versus infraestructura vial, el tratamiento del riesgo en función de factores estructurales y geológicos guarda similitudes con el presente estudio. En ambos casos, se evidencian sectores que requieren atención prioritaria, lo que resalta la necesidad de adoptar enfoques integrales y preventivos para reducir la exposición a amenazas sísmicas, especialmente en zonas rurales de alta pendiente.

Finalmente, en el contexto local, el estudio de Chaupis (2020) sobre la carretera Poque – Puños identifica un alto nivel de exposición a peligros geodinámicos, como movimientos en masa. Aunque su metodología se centra en la evaluación de peligrosidad mediante criterios del CENEPRED y no utiliza el modelo Mora-Vahrson, sus resultados coinciden en señalar tramos críticos donde la transitabilidad se ve comprometida por factores naturales. Su enfoque mixto y el énfasis en la falta de resiliencia institucional ofrecen una perspectiva complementaria a la presente investigación, la cual se concentra en los aspectos técnicos del deslizamiento de taludes. Cabe señalar que en este contraste se destaca la importancia hacer una integración de algunos elementos sociales en futuros estudios de vulnerabilidad.

5.3 FORTALEZAS Y LIMITACIONES

De acuerdo con por Hernández Sampieri, Collado y Lucio (2014), las fortalezas y limitaciones deben exponerse objetivamente, porque forman parte de los elementos esenciales que conllevan a tener una mejor comprensión del alcance, la validez y aplicabilidad de los resultados y hallazgos obtenidos. A continuación se detallan algunas fortalezas y limitaciones que forman parte del estudio, y las estrategias que fueron implementadas para minimizar el impacto de las mismas.

Fortalezas

Como parte de las fortalezas se destaca el uso del método Mora-Vahrson, que ha sido probado en investigaciones sobre vulnerabilidad sísmica. Su utilización en el análisis permitió valorar integralmente tanto los elementos intrínsecos como los que provocan los deslizamientos de taludes, confirmando técnicamente los hallazgos. La selección de tres muestras distribuidas en diferentes puntos de la vía considerada como representativa, contribuyó a la fiabilidad de los resultados.

Otra fortaleza como parte del estudio es uso del enfoque metodológico sistemático. En este caso, el uso de pruebas estadísticas, proporcionó soporte empírico para el contraste de la hipótesis lo cual permitió establecer conclusiones completamente fundamentadas. De manera similar, la combinación de información de laboratorio con las observaciones de campo ayudó a hacer un un análisis más exhaustivo del fenómeno geotécnico.

Por último, contar con una amplia variedad de literatura tanto nacional como internacional permitió crear un marco de referencia amplio, favoreciendo el rigor científico en la discusión y aportó una base teórica a los resultados.

Limitaciones

A medida que se desarrollaba la investigación se presentaron algunas limitaciones que en su momento fueron solventadas de manera efectiva, logrando tener a tiempo los resultados y finalmente dar cumplimiento a los objetivos establecidos.

Una de estas limitaciones fue tener disponibilidad y veracidad de los datos geotécnicos, sísmicos y meteorológicos, ya que su acceso pudo haberse visto restringido, además de haber podido afectar la precisión y validez de los resultados. Sin embargo, esta dificultad fue atenuada utilizando fuentes de datos secundarios confiables, además del uso de metodologías complementarias y la validación cruzada de los datos obtenidos.

Algunos inconvenientes vinculados al acceso al área de estudio surgieron a causa de las condiciones del clima y en otras ocasiones por la logística de transporte hacia la zona de estudio. Sin embargo, se llevó a cabo un reajuste en las visitas al área, se emplearon recursos de teledetección y se tuvo apoyo a través de los registros históricos, lo que

facilitó la obtención de la información necesaria para la evaluación de los taludes.

Por otra parte, la existencia de factores externos imprevisibles, como por ejemplo las alteraciones en el clima o actividad sísmica inesperada, también pudieron influir en la estabilidad de los taludes y en la interpretación de información. No obstante, el uso de modelos de simulación y la incorporación de análisis probabilísticos ayudaron a reducir estas condiciones adversas.

Por último, pero no menos importante son las limitaciones en el presupuesto, recursos humanos y tecnológicos. Sin embargo, el autofinanciamiento de estos recursos y la cooperación con entidades especializadas permitieron desarrollar la investigación dentro del tiempo planificado.

CONCLUSIONES

En toda investigación, las conclusiones se consideran como la parte esencial donde se resumen los hallazgos obtenidos en relación con los objetivos establecidos, así como también donde se refleja la validación o negación de las hipótesis formuladas. En efecto, autores como Sampieri, Collado y Lucio (2014), señalan que las conclusiones deben manifestar el análisis final de los resultados, demostrar que se ha dado cumplimiento a los objetivos propuestos y además debe ofrecer una visión clara sobre las incompatibilidades del estudio. De manera que, en este apartado se exponen a continuación cada una de las conclusiones en contraste con los objetivos e hipótesis del estudio.

Conclusión 1

Luego de un análisis exhaustivo para dar respuesta al objetivo 1, se ha podido establecer que la vulnerabilidad a movimientos sísmicos intrínsecos en los taludes de la carretera en estudio se sitúa, generalmente, entre niveles bajos y medios. Los resultados obtenidos aplicando el método Mora-Vahrson indicaron que en dos de los tres puntos de muestreo (kilómetros 0+900 y 12+700) se detectó una vulnerabilidad de bajo nivel. No obstante, el estudio realizado en el punto kilométrico 7+700 arrojó un nivel de riesgo moderado. Esto se debe a la inclinación más pronunciada (85%) y a la mayor presencia de humedad en esa sección.

La prueba estadística t de una muestra hizo posible rechazar la hipótesis específica H1, determinando que la vulnerabilidad intrínseca no llega a valores críticos en la zona analizada.

Conclusión 2

Respecto al segundo objetivo específico, se determina que esta dimensión exhibe un nivel invariable y uniforme en las tres ubicaciones de análisis, mostrando un valor de 5 en cada una de ellas. Esto refleja la similitud de las condiciones sísmicas y pluviométricas en toda la zona de estudio. La hipótesis específica H2 fue también refutada, al demostrarse que la vulnerabilidad detonante no supera el umbral crítico establecido por el método utilizado. La consistencia en los valores evidencia un

comportamiento regional uniforme respecto a los factores activadores de deslizamientos.

Conclusión 3

Respecto al tercer objetivo específico, que aborda la vulnerabilidad sísmica combinada, se concluye que los valores hallados (160 en las calicatas 1 y 3, y 240 en la calicata 2) se ubican dentro del rango de vulnerabilidad moderada a mediana, con un promedio general de 186.67. Aunque el valor correspondiente a la calicata 2 se ubica en moderada, ninguno de los puntos evaluados alcanza el nivel de amenaza 'alta'. Por consiguiente, se refuta la hipótesis específica H3. Estos hallazgos permiten identificar zonas que requieren monitoreo prioritario, pero descartan, por el momento, situaciones de riesgo extremo.

Conclusión 4

Finalmente, en lo que respecta al objetivo general de la investigación, se concluye que la vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes en la carretera Rancho-Panao no es alta. La evidencia empírica obtenida a través del análisis geotécnico, las mediciones de campo, y la aplicación del método Mora-Vahrson, respaldada por el análisis estadístico inferencial, permitió refutar la hipótesis general. Si bien se han identificado tramos con condiciones geotécnicas más susceptibles, en su conjunto la vía presenta una vulnerabilidad moderada, lo cual constituye una base para la toma de decisiones informadas en cuanto a planificación vial, prevención de desastres y diseño de medidas de mitigación específicas.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones constituyen una propuesta práctica derivada de los resultados obtenidos en la investigación, orientada a la solución de los problemas identificados y al cumplimiento de los objetivos planteados. En este caso, las sugerencias formuladas tienen como propósito responder al problema específico 4: ¿Cuáles son las recomendaciones para disminuir la vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao?, y cumplir con el objetivo específico 4: Plantear recomendaciones para disminuir la vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao.

1. Para mitigar la vulnerabilidad sísmica, se recomienda llevar a cabo estrategias que aminoren el riesgo geotécnico de los taludes más propensos a presentar fallas, es decir los que presentan características críticas, sobre todo los que exhiben una inclinación pronunciada y humedad elevada, como se constató en la calicata 2 (km 7+700). Se proponen medidas como la estabilización mecánica de taludes usando anclajes o muros de soporte, además de plantar vegetación para frenar la erosión y mejorar el drenaje del agua superficial. Estas acciones buscan aminorar la inestabilidad del suelo provocada por sus propias condiciones naturales.

2. En cuanto a la vulnerabilidad detonante, es recomendable activar redes de drenaje eficientes que disminuyan la acumulación de agua en zonas de riesgo, dado que las precipitaciones frecuentes figuran entre los factores que impulsan los deslizamientos. Igualmente, crear un mecanismo de control sísmico (monitoreo en tiempo real), que facilite la previsión de los efectos de movimientos sísmicos de magnitud como los terremotos y la puesta en marcha de planes de emergencia en las carreteras. Tales acciones posibilitarán aminorar factores que puedan desencadenar desestabilización en los taludes.

3. En relación a la vulnerabilidad sísmica combinada, es importante priorizar la intervención integral en aquellas secciones o tramos de la carretera que muestran altos niveles de riesgo, particularmente en la zona correspondiente a la calicata 2. La intención es reforzar de manera estructural el talud mediante algunas alternativas ingenieriles como

geotextiles, pilotes , o mallas de metal, así como también mejorar la plataforma vial para garantizar un drenaje adecuado tanto longitudinal y transversal. Además también se recomienda ejecutar inspecciones constantes para evaluar las condiciones del terreno después de eventos lluviosos de gran intensidad o movimientos sísmicos.

4. En atención al objetivo específico 4, se propone la creación de un Plan de Gestión de Riesgo Geotécnico para la carretera en estudio, donde se pueda integrar la capacitación técnica para el personal que trabaje como operario, se implementen tecnologías de teledetección para el control y supervisión remota de los taludes, y se pueda garantizar una colaboración efectiva entre los entes gubernamentales y entidades técnicas especializadas. De igual manera se recomienda la inclusión de todas las zonas estimadas como críticas, así como también se dé prioridad a la planificación de las acciones dirigidas al mantenimiento preventivo de las vías. La ejecución de este plan debe considerarse como una oportunidad para dar respuesta efectiva a los desafíos estructurales que provocan los deslizamientos de taludes.

Finalmente se recomienda que los organismos competentes se ajusten a un enfoque preventivo y multisectorial para la mitigación del riesgo de deslizamientos en la carretera de estudio. Los resultados de esta investigación evidencian que, aunque la vulnerabilidad general no es alta, existen sectores con condiciones geotécnicas críticas que requieren atención. La implementación de las recomendaciones formuladas contribuirá no solo a reducir la vulnerabilidad sísmica, sino también a garantizar la seguridad, continuidad y sostenibilidad del transporte en esta vía estratégica para la región de Huánuco.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aristizábal, E; Yokota, S. 2006. Geomorfología aplicada a la ocurrencia de deslizamientos en el Valle de Aburra. *Dyna Medellín Colombia: (73)* 149:5-15.
http://dyna.unalmed.edu.co/ver_articulo.php?id_articulo=EA100505&tipo=articulo&id=149
- Barillas, E. 2008. *Guía metodológica para la evaluación de zonas susceptibles a deslizamientos disparados por lluvias*. (En línea) Ciudad de Guatemala, Guatemala. <http://www.geociencias.com.gt/foto/propuesta.pdf>
- Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo, Perú, 26-32. <https://www.academia.edu/33692697>
- Carlos Quispe, F. J. (2021). *Vulnerabilidad Sísmica en los Taludes de Corte del Sistema de Riego del Canal Yanama Tramo 1+ 980-2+ 290, Centro Poblado de Huandunga* [Tesis de pregrado. Universidad Peruana de los Andes] Repositorio Institucional: https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/3572/T037_45226693_T.pdf?sequence=1
- Chamorro, A., Echaveguren, T., Allen, E., Contreras, M., Dagá, J., de Solminihaç, H., & Lara, L. E. (2020). Sustainable risk management of rural road networks exposed to natural hazards: Application to volcanic lahars in Chile. *Sustainability*, 12(17), 6774.
<https://doi.org/10.3390/su12176774>
- Chaupis Quino, E. W. (2020). *Análisis de la vulnerabilidad a los peligros naturales a fin de mejorar la transitabilidad de la carretera Poque–Puños, Huamalies-Huánuco 2019*. [Tesis de pregrado. Universidad Nacional Hermilio Valdizán] Repositorio Institucional: <https://hdl.handle.net/20.500.13080/6059>
- Chávez, N. (2007). *Introducción a la Investigación Educativa*.
- Faichin Guzmán, J. C. J. (2023). *Determinación de la vulnerabilidad y factores causantes de deslizamientos en la carretera Caclic-Luya Lamud*. [Tesis de pregrado. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas] Repositorio Institucional:

<https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/3535/Julio%20C%C3%A9sar%20Junior%20Faichin%20Guzm%C3%A1n%20-%20FICIAM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ferrera Toujague, H. D., Candebat Sánchez, D., Morejón Blanco, G., Márquez Mercerón, P. I., Arango Arias, E. D., Zapata Balanqué, J. A., & Chuy Rodríguez, T. J (2008). Evaluación de la vulnerabilidad de las carreteras de interés nacional de la provincia Santiago de Cuba ante la ocurrencia de eventos naturales. *Ciencia en su PC*, (4), 66-76.

<https://www.redalyc.org/pdf/1813/181317818006.pdf>

Guerra Cerrón, E. (2020) *Vulnerabilidad sísmica en la estabilidad de taludes de corte en la carretera Canta–Huayllay–división Cochamarca en el 2019*. [Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Centro del Perú] Repositorio Institucional:

https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/9264/T010_41804090_T_.pdf?sequence=1

Hernández, S.; Fernández, C.; Baptista, L. 2014. *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill Educación, 6ta. Edición.

Highland, L., y Bobrowsky, P. 2008, *Manual de derrumbes. Guía para entender todo sobre los derrumbes: Reston, Virginia, Circular 1325 del Sistema Geológico de los EUA*, 129 p. (En línea)

http://www.gfdrr.org/gfdrr/sites/gfdrr.org/files/publication/Manual_de_derrumbes_WEB_DS%5B1%5D.pdf

INEI (2021). *Perfil Sociodemográfico de la Región Huánuco*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Recuperado de: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1795/libro.pdf

SNET & BGR. INETER (2004). *Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos de Nicaragua: el Método Mora-Vahrson*. (En línea).

http://webserver2.ineter.gob.ni/geofisica/desliza/estudios/Mora_Vahrson.pdf

Molina Quesada, G. (2011) *Vulnerabilidad sísmica funcional de la red vial del Área Metropolitana de San José* [Tesis de pregrado. Universidad de Costa Rica] Repositorio institucional:

<https://repo.sibdi.ucr.ac.cr/bitstream/123456789/3250/1/32578.pdf>

- Mora, R. (2004) *Fundamentos sobre deslizamientos*. (En línea).
<http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/conf15.pdf>
- Mora, S., & Mora (1994). *Metodología De Macrozonificación para Deslizamientos de Tierra-Determinación de Peligros*. 49–58.
- Mora, S., y Vahrson, W., (1994) *Determinación a priori de la Amenaza de Deslizamientos sobre grandes áreas, utilizando Indicadores Morfodinámicos*. In Alzate, J.B. (ed) *Memoria sobre el primer simposio internacional sobre sensores remotos, sistemas de información Geográfica (SIG), para estudios de Riesgos naturales*. Bogotá, Colombia. 259 – 273.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. MTC (2013) *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*.
<http://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2013/Julio/14/RD-18-2013-MTC-13.pdf>.
- Organismo Supervisor De La Inversión En Infraestructura De Transporte De Uso Público [OSITRAN]. 2021. *Resiliencia de las carreteras concesionadas frente a riesgos de desastres naturales en el Perú*. [Documento de Trabajo 1] <https://www.ositran.gob.pe/anterior/wp-content/uploads/2021/11/resiliencia-carreteras-concesionadas-frente-riesgo-desastres-naturales.pdf>
- Palella S, & Martins P, F. (2012) *Metodología de la investigación cuantitativa*. 3ra Edición.
- Peraldo, G. 2000. *Amenaza de deslizamientos*. In Denyer, P. y Kussmaul S. (comp). *Geología de Costa Rica*. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago: 273- 286.
- Salazar, B. (20 julio, 2021). *Estamos preparados para afrontar un sismo en el Perú*. Publicado en Suplemento Semana, El Tiempo, el 18 de julio del 2021. <https://www.udep.edu.pe/hoy/2021/07/estamos-preparados-para-afrontar-un-sismo-en-el-peru/>
- Segura, G. Badilla, E. Badilla, E. y Obando, L. 2011. Susceptibilidad al deslizamiento en el corredor Siquirres-Turrialba. *Revista Geológica de América Central*. 2(45): 101-121.
https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0256-70242011000200006&script=sci_arttext

- Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET). 2004. *Memoria técnica para el mapa de susceptibilidad de deslizamientos de tierra en El Salvador*. (En línea) San Salvador, El Salvador.
<http://www.snet.gob.sv/Documentos/SusceptMovMasa-ES-SNET-2004.pdf>
- Solís Álvarez, J. A. (2018) *Análisis de vulnerabilidad de la carretera nacional 218 tramo Jaboncillo de Goicoechea a Carmen de Cartago* [Tesis de pregrado. Universidad de Costa Rica] Repositorio institucional:
<https://repo.sibdi.ucr.ac.cr/bitstream/123456789/8945/1/42584.pdf>
- Tsakalidis, A., Gkoumas, K., Grosso, M., & Pekár, F. (2020). TRIMIS: Modular Development of an Integrated Policy-Support Tool for Forward-Oriented Transport Research and Innovation Analysis. *Sustainability*, 12(23), 10194. <https://doi.org/10.3390/su122310194>
- Universidad de Puerto Rico. Red Sísmica (2021, octubre 21). *Glosario de Términos de la sismología*. Red Sísmica
<http://www.prsn.uprm.edu/Spanish/educacion/terremotos/glosario.php>
- Vahrson, W. (1994) *Mapa preliminar de lluvias máximas anuales en Costa Rica con una duración de 24 horas y un período de retorno de 100 años. Escala 1:1000000*. Mapoteca Universidad Nacional. (En línea)
<http://www.mapoteca.geo.una.ac.cr/index.php/remository.html?func=fileinfo&id=588>.
- Vargas, R. (2004) *Evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos Municipio de La Celia, Departamento de Risaralda*. (Informe final). Pereira, Colombia. (En línea)
<http://www.carder.gov.co/intradocuments/webDownload/susceptibilid-a-deslizamientos-la-celia>
- Varnes, D. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. *Natural Hazards* (3). UNESCO. París, Francia. (En línea)
<http://unesdoc.unesco.org/images/0006/000630/063038EB.pdf>
- Winter, M. G., & Bromhead, E. N. (2012). Landslide risk: some issues that determine societal acceptance. *Natural Hazards*, 62, 169-187.
<https://doi.org/10.1007/s11069-011-9987-1>

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACION

Caqui Castro, J. S. (2025). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes en la carretera Rancho, Pano-Huánuco-2024*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 2125-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 26 de setiembre de 2024

Visto, el Oficio N° 1450-2024-C-PAIC-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Civil, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: "ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAÓ-HUÁNUCO-2024", presentado por el (la) Bach. **Janina Stefanny CAQUI CASTRO**.

CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 1386-2024-D-FI-UDH, de fecha 21 de junio de 2024, perteneciente a la Bach. **Janina Stefanny CAQUI CASTRO**, se le designó como ASESOR(A) al Mg. Leonel Mario Aguilar Alcantara, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 1450-2024-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: "ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAÓ-HUÁNUCO-2024", presentado por el (la) Bach. **Janina Stefanny CAQUI CASTRO**, integrado por los siguientes docentes: Mg. Martín Cesar Valdivieso Echevarría (Presidente), Mg. José Wicley Tuanama Lavi (Secretario) y Mg. Gerardo Henry Espinoza Sumaran (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - APROBAR, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: "ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAÓ-HUÁNUCO-2024", presentado por el (la) Bach. **Janina Stefanny CAQUI CASTRO** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil, del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco.

Artículo Segundo. - El Trabajo de Investigación (Tesis) deberá ejecutarse hasta un plazo máximo de 1 año de su Aprobación. En caso de incumplimiento podrá solicitar por única vez la ampliación del mismo (6 meses).

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Facultad de Ingeniería
[Firma]
Mg. Ethel Leonel Muñoz Lozano
SECRETARIO DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Facultad de Ingeniería
[Firma]
Mg. Bertha Campos Ríos
DECANA DE INGENIERÍA

Atestando:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Exp. Graduando - Intervenido - Archivo.
ROR/RML/ato.

ANEXO 2

RESOLUCIÓN DE NOMBRAMIENTO DE ASESOR

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 1386-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 21 de junio de 2024

Visto, el Oficio N° 972-2024-C-PAIC-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil y el Expediente N° 494067-0000006104, de la Bach. **Janina Stefanny CAQUI CASTRO**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar el trabajo de investigación (Tesis).

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45º inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 494067-0000006104, presentado por el (la) Bach. **Janina Stefanny CAQUI CASTRO**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación (Tesis), el mismo que propone al Mg. Leonel Marlo Aguilar Alcantara, como Asesor de Tesis, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 27 y 28 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a Las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - DESIGNAR, como Asesor de Tesis de la Bach. **Janina Stefanny CAQUI CASTRO** al Mg. Leonel Marlo Aguilar Alcantara, Docente del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería.

Artículo Segundo. - El interesado tendrá un plazo máximo de 6 meses para solicitar revisión del Trabajo de Investigación (Tesis). En todo caso deberá de solicitar nuevamente el trámite con el costo económico vigente.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. Ethel Ingrid Morzano Lazaro
SECRETARÍA DECENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Mg. Bertha Campos Ríos
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Mat. y Reg.Acad. - Interesado - Archivo.
HLCR/EJML/ata.

ANEXO 3

MATRIZ DE CONSISTENCIA

**“Análisis de la vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes en la carretera
Rancho, Panao-Huánuco-2024”**

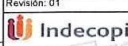
Problema	Objetivo	Hipótesis	Metodología
Problema general ¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao?	Objetivo general Determinar la vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao.	Hipótesis general La vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao, es alta	Enfoque: Cuantitativo Tipo: Aplicada Nivel: Descriptiva-Relacional Diseño: No experimental , transversal Muestra: No probabilística por intención
Problema específico 1 ¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica intrínseca del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao?	Objetivo Específico 1 Hallar la vulnerabilidad sísmica intrínseca del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao.	Hipótesis específica 1 La vulnerabilidad sísmica intrínseca del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao, es alta.	Prueba estadística: Estadística descriptiva y Estadística inferencial
Problema específico 2 ¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica detonante del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao?	Objetivo Específico 2 Hallar la vulnerabilidad sísmica detonante del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao.	Hipótesis específica 2 la vulnerabilidad sísmica detonante del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao, es alta.	
Problema específico 3 ¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica combinada del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao?	Objetivo Específico 3 Hallar la vulnerabilidad sísmica combinada del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao.		
Problema específico 4 ¿Cuáles son las recomendaciones para disminuir la vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao?	Objetivo Específico 4 Plantear recomendaciones para disminuir la vulnerabilidad sísmica del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao.	Hipótesis específica 3 La vulnerabilidad sísmica combinada del deslizamiento de taludes de la carretera Rancho-Panao, es alta.	

ANEXO 4

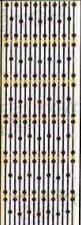
INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANEXO 4.1

PRUEBAS DE LABORATORIO CALICATA 1

	TERZAGHI CONSULTORES & CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L. LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO		Código: PR-ET-1 Versión: 01
	TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PAÑAO-HUÁNUCO 2024"		Revisión: 01 
	CLIENTE: JANINA STEFANNY CAQUI CASTRO		Resolución N° 00014-2014-03-04-0000-00

INFORME DE ENSAYO			
SONDEO :	Calicata 01	MATERIAL :	Propio
PROFUNDIDAD :	1.00	FECHA DE MUESTREO :	02/03/2025
N° MUESTRA :	M-01	HORA DE MUESTREO ("") :	15:30
CÓDIGO ÚNICO :	TAV-01	MUESTREO POR ("") :	Dennis Reyes
REFERENCIA :	Carretera Rancho		
		FECHA DE ENSAYO :	05/03/2025 al 07/03/2025
		TIPO DE MUESTRA :	MaB
		FECHA DE EMISIÓN :	08/03/2025
		COORDENADAS UTM :	N 8912942.57 E 380430.61

				NIVEL FREÁTICO	CALICATA
				N.D	C-01
PROF. (m)	MUESTRA	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN AASHTO	CLASIFICACIÓN SUCS
1.00	M-1 (MAS)		Material: Se encuentra un estrato de Arena limosa con grava, presencia de esquistos de 2"-6". Color: Marrón.	A-2-4(0)	SM


 Excm. Ing. Dennis N. Reyes Medina
 TÉCNICO JEFE DE LABORATORIO


 Ing. Carlos Adrian Ortiz Chujutalli
 CIP 195826
 INGENIERO JEFE DE LABORATORIO

Observaciones: TIPO DE MUESTRA MAS: Muestra alterada en bloque MAS: muestra alterada en saco
 MIB: muestra inalterada en bloque MIB: muestra inalterada en tubo

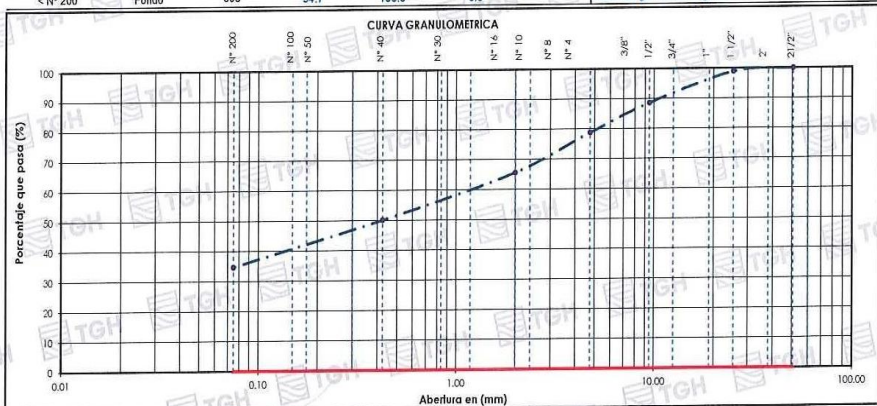
📍 Jr. Príncipe Illatupa N° 112, Urb. Hermilio Valdizán, Huánuco 10003 - Perú
 ☎ (+51) 990 220 180 ✉ terzaghi.cci@gmail.com 🌐 www.terzaghi.pe

	TERZAGHI CONSULTORES & CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L. LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	Código: PR-GC-1 Versión: 01 Revisión: 01
	TESIS: *ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAJO-HUÁNUCO 2024*	
	CLIENTE: JANINA STEFANNY CAQUI CASTRO	

INFORME DE ENSAYO		
SONDEO : Calicata 01 PROFUNDIDAD : 1.00 N° MUESTRA : M-01 CÓDIGO ÚNICO : TAV-01 REFERENCIA : Carretera Rancho	MATERIAL : Propio FECHA DE MUESTREO : 02/03/2025 HORA DE MUESTREO(") : 15:30 MUESTREO POR(") : Dennis Reyes	FECHA DE ENSAYO : 05/03/2025 al 07/03/2025 TIPO DE MUESTRA : Mab FECHA DE EMISIÓN : 08/03/2025 COORDENADAS UTM : N 8912942.57 E 380430.61

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	
NORMAS TÉCNICAS: NTP 339.128:1999 (Revisada el 2019)	

TAMIZ ASTM	ABERTURA EN (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	GRADACIÓN "E"	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2 1/2"	60.350	0.00	0.0	0.0	100.0		
2"	50.800	0.00	0.0	0.0	100.0	0	Masa Inicial Total : 2003.0 gr.
1 1/2"	38.100	0.00	0.0	0.0	100.0		Masa Fracción fina : 1578.0 gr.
1"	25.400	22.00	1.1	1.1	98.9	0	
3/4"	19.000	41.00	2.0	3.1	96.9		Tamaño máximo : 1 1/2 "
1/2"	12.500	82.00	4.1	7.2	92.8		TMN : 1 "
3/8"	9.500	84.00	4.2	11.4	88.6	0	Bloques (>300mm) : 1.00 %
N° 4	4.750	196.00	9.8	21.2	78.8	0	Bolones (75mm - 300mm) : 2.00 %
N° 8	2.380	185.00	9.2	30.5	69.5		Grava : 21.22 %
N° 10	2.000	78.00	3.9	34.3	65.7	0	Grava gruesa : 7.24 %
N° 16	1.180	125.00	6.2	40.6	59.4		Grava media : 4.19 %
N° 30	0.840	126.00	6.3	46.9	53.1		Grava fina : 9.79 %
N° 40	0.425	60.00	3.0	49.9	50.1	0	Arena : 44.08 %
N° 60	0.300	35.00	1.7	51.6	48.4		Arena gruesa : 25.66 %
N° 100	0.150	157.00	7.8	59.5	40.5		Arena fina : 18.42 %
N° 200	0.075	117.00	5.8	65.3	34.7	0	Finos : 34.70 %
< N° 200	Fondo	695	34.7	100.0	0.0		Partículas granulares angulares

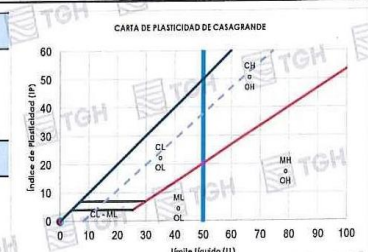


SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS, SUCS
NTP 339.134:1999 (Revisada el 2019)

Proporciones definidas : Grava : 21.22 %, Arena : 44.08 %, Finos : 34.7 %
 Diámetros calculados : D₆₀ = 1.257 mm, D₃₀ = -- mm, D₁₀ = -- mm
 Coeficientes calculados : Cu : --, Cc : --
 Símbolo de grupo : SM
 Nombre de grupo : Arena limosa con grava

CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA USO EN VÍAS DE TRANSPORTE, AASHTO
NTP 339.135:1999 (Revisada el 2019)

Proporciones definidas : Grava : 21.22 %, Arena : 44.08 %, Finos : 34.7 %
 Material : Grava y arena limosa o arcillosa
 Clasificación de grupo : A-2-4(0)
 Clasificación como subrasante : Buena



 Bach. Ing. Dennis N. Reyes TÉCNICO JEFE DE LABORATORIO	 Ing. Carlos Adrian Ortiz Churruarín INGENIERO JEFE DE LABORATORIO
Notas Condiciones ambientales: 25.2°C y 77 % de Humedad ambiental Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de la empresa TGH registrado en INDECOP con CERTIFICADO N° 00153617 (Resolución de la Dirección General de ASESORIA TECNICA N° 00153617-2022)	

📍 Jr. Príncipe Illatupa N° 112, Urb. Hermilio Valdizán, Huánuco 10003 - Perú
 ☎ (+51) 990 220 180 ✉ terzaghi.cci@gmail.com 🌐 www.terzaghi.pe

	TERZAGHI CONSULTORES & CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.	Código: PR-LA-1
	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	Versión: 01
	TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAO-HUÁNUCO 2024"	Revisión: 01
	CLIENTE: JANINA STEFANNY CAQUI CASTRO	

INFORME DE ENSAYO			
SONDEO :	Calicata 01	MATERIAL :	Propio
PROFUNDIDAD :	1.00	FECHA DE MUESTREO :	02/03/2025
N° MUESTRA :	M-01	HORA DE MUESTREO(*) :	15:30:00
CÓDIGO ÚNICO :	TAV-01	MUESTREO POR(*) :	Dennis Reyes
REFERENCIA :	Carretera Rancho	COORDENADAS UTM :	N 8912942.57
			E 380430.61

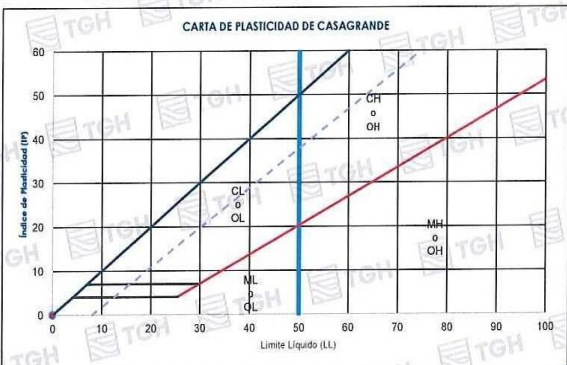
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89) - MÉTODO MULTIPUNTO				
N° TARA		T-01	T-02	T-03
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	0.00	0.00	0.00
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	0.00	0.00	0.00
PESO DE AGUA	(gr.)	0.00	0.00	0.00
PESO DE LA TARA	(gr.)	0.00	0.00	0.00
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	0.00	0.00	0.00
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	0.00	0.00	0.00
NUMERO DE GOLPES		0	0	0

Observaciones	
- Masa retenida N°40 :	49.88 %
- Humedad de recepción :	10.33 %
- TMN :	1 "
- Clasificación SUCS	SM
Condiciones ambientales del ensayo	
- Temperatura :	25.20 °C
- Humedad :	77.0 %

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)				
N° TARA		T-04	T-05	T-06
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	0.00	0.00	0.00
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	0.00	0.00	0.00
PESO DE LA TARA	(gr.)	0.00	0.00	0.00
PESO DEL AGUA	(gr.)	0.00	0.00	0.00
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	0.00	0.00	0.00
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	NP	NP	NP



LÍMITES DE CONSISTENCIA	
LÍMITE LÍQUIDO (%)	NP
LÍMITE PLÁSTICO (%)	NP
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	NP




 Ing. Dennis N. Reyes Medina
 TÉCNICO JEFE DE LABORATORIO


 Ing. Carlos Adrián Ortiz Chujutalli
 CIP: 195826
 INGENIERO JEFE DE LABORATORIO

Notas:
 Condiciones ambientales: 25.2°C y 77 % de Humedad ambiental
 Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de la empresa TGH registrada en INDECOPÍ con CERTIFICADO N° 00153617 (Resolución N° 0031994-2024-DSO-INDECOPÍ) y los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

☺ Jr. Príncipe Illatupa N° 112, Urb. Hermilio Valdizán, Huánuco 10003 - Perú
 ☎ (+51) 990 220 180 ✉ terzaghi.cci@gmail.com 🌐 www.terzaghi.pe

	TERZAGHI CONSULTORES & CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.	Código: PR-CH-1
	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	Versión: 01
	TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAO-HUÁNUCO 2024"	Revisión: 01
	CLIENTE: JANINA STEFANNY CAQUI CASTRO	

INFORME DE ENSAYO			
SONDEO	: Calicata 01	MATERIAL	: Propio
PROFUNDIDAD	: 1.00	FECHA DE MUESTREO	: 02/03/2025
N° MUESTRA	: M-01	HORA DE MUESTREO	: 15:30:00
CÓDIGO ÚNICO	: TAV-01	MUESTREO POR	: Dennis Reyes
REFERENCIA	: Carretera Rancho	COORDENADAS UTM	: N 8912942.57 E 380430.61
		TIPO DE MUESTRA	: 05/03/2025 al 07/03/2025
		TIPO DE MUESTRA	: Mab
		FECHA DE EMISIÓN	: 08/03/2025

Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.
NTP 339.127:1998 (Revisada el 2019)
NORMA TÉCNICA: MTC E 108

Especimen de Ensayo		Contenido de humedad reportado ± 1 %			
Descripción	und	E-01	E-01	E-01	
Número del contenedor	-	Tc-1	Tc-2	Tc-3	
Masa del contenedor (Mc)	gr.	93.00	82.00	78.00	
Masa del contenedor + masa de muestra húmeda (Mcws)	gr.	358.00	311.00	405.00	
Fecha de inicio de ensayo	-	06/03/2025	06/03/2025	06/03/2025	
Fecha de contenedor y masa fuera del horno	-	07/03/2025	07/03/2025	07/03/2025	
Masa del contenedor + masa de muestra seca al horno (Mcs)	gr.	333.00	290.00	374.00	
Masa del agua (Mw = Mcws - Mcs)	gr.	25.00	21.00	31.00	
Masa de las partículas sólidas (Ms = Mcs - Mc)	gr.	240.00	208.00	296.00	
Contenido de Humedad (W = Mw x 100/Ms)	%	10.42	10.10	10.47	
Símbolo de grupo de clasificación	-	SM	SM	SM	
Promedio de Contenido de Humedad		10.33 %			


 Bach. Ing. Dennis N. Reyes Medina
 TÉCNICO JEFE DE LABORATORIO


 Ing. Carlos Adrian Ortiz Chuyutalli
 CIP 195826
 INGENIERO JEFE DE LABORATORIO

Observaciones del ensayo	
- Tipo de muestra :	Muestra alterada
- Horno controlado a :	110°C $\pm$ 5°C
- Exclusión de algún material :	No
- Más de un tipo de material :	No
- Cumple con la masa mínima requerida :	Sí

Notas
 Condiciones ambientales: 25.2°C y 77 % de Humedad ambiental
 Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de la empresa TGH registrado en INDECOPÍ con CERTIFICADO N° 00153617 (Resolución N° 003994-2024/DS-INDECOPÍ) y los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

📍 Jr. Príncipe Illatupa N° 112, Urb. Hermilio Valdizán, Huánuco 10003 - Perú
 ☎ (+51) 990 220 180 ✉ terzaghi.cci@gmail.com 🌐 www.terzaghi.pe

	TERZAGHI CONSULTORES & CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L. LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	Código: PR-DC-01 Versión: 01 Revisión: 01
	TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAÓ-HUÁNUCO 2024"	 Resolución N° 003994-2024/DSD-INDECOP
	CLIENTE: JANINA STEFANNY CAQUI CASTRO	
	REFERENCIA: Carretera Rancho	

SONDEO: Calicata 01 MATERIAL: SM / A-2-4(0) UBICACIÓN: - REFERENCIA: Carretera Rancho	INFORME DE ENSAYO M.D.S. (*): - O.C.H. (*): - Especificación mínima (*): -	CÓDIGO ÚNICO: TVA-01 FECHA DE EMISIÓN: 08/03/2025 ENSAYO EJECUTADO POR: Dennis Reyes
--	---	--

DENSIDAD IN SITU - METODO CONO DE ARENA NORMAS TÉCNICAS: MTC E 117, ASTM D 1556,

PROGRESIVA CAPA LADO ESPESOR FECHA DE ENSAYO	0+900 10,00 cm 08/03/2025
--	---

DATOS DE ENSAYO		
Peso del Suelo (Fino + Grava) + Recipiente	(gr.)	2352
Peso del Recipiente	(gr.)	116
Peso del Material (Fino + Grava)	(gr.)	2236
Peso Arena + Frasco + Cono	(gr.)	7455
Peso Arena Restante + Frasco + Cono	(gr.)	3584
Peso Arena en el Cono	(gr.)	1646
Peso Neto de la Arena en el Agujero	(gr.)	2225
Densidad de la Arena Calibrada	(gr/cm³)	1.430
Volumen del Agujero	(cm³)	1556
Peso de la Grava Secada al Aire	(gr.)	0
Peso Específico de Grava	(gr/cm³)	2.728
Volumen de la Grava en el Agujero	(cm³)	0
Peso del Suelo sin Grava	(gr.)	2236
Volumen del Suelo sin Grava	(cm³)	1556

RESULTADOS		
Densidad del Suelo Húmedo	(gr/cm³)	1.437
Humedad del Suelo	(%)	10.8
Densidad del Suelo Seco	(gr/cm³)	1.297
Densidad del Suelo Seco Máxima (Próctor)	(gr/cm³)	-
Porcentaje de Compactación	(%)	-

GRÁFICO DE COMPACTACIÓN




 Bach. Ing. Dennis N. Reyes
 TÉCNICO JEFE DE LABORATORIO


 Ing. Carlos Adrian Ortiz Chujutalli
 CIP: 195826
 INGENIERO JEFE DE LABORATORIO

Notas
 Condiciones ambientales: 25.2°C y 77 % de Humedad ambiental
 Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de la empresa TGH registrado en INDECOP con CERTIFICADO N° 00153617 (Resolución N° 003994-2024/DSD-INDECOP) y los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

📍 Jr. Príncipe Illatupa N° 112, Urb. Hermilio Valdizán, Huánuco 10003 - Perú
 ☎ (+51) 990 220 180 ✉ terzaghi.cci@gmail.com 🌐 www.terzaghi.pe

	TERZAGHI CONSULTORES & CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L. LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	Código: PR-CD-01 Versión: 01 Revisión: 01
	TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAJO-HUÁNUCO 2024"	
	CLIENTE: JANINA STEFANNY CAQUI CASTRO	
	REVISIÓN: 01	

INFORME DE ENSAYO

SONDEO	: Calicata 01	MATERIAL	: SM / A-2-4(0)	FECHA DE ENSAYO	: 05/03/2025 al 07/03/2025
PROFUNDIDAD	: 1.00	FECHA DE MUESTREO	: 02/03/2025	TIPO DE MUESTRA	: Mab
N° MUESTRA	: M-01	HORA DE MUESTREO(*)	: 15:30	FECHA DE EMISIÓN	: 08/03/2025
CÓDIGO ÚNICO	: TAV-01	MUESTREO POR(*)	: Dennis Reyes	COORDENADAS UTM	: N 8912942.57
REFERENCIA	: Carretera Rancho			E	380430.61

ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN CONDICIÓN CONSOLIDADA DRENADA (CD) NORMAS TÉCNICAS: NTP 339.171/ ASTM D-3080

Descripción	Und	Especimen N.° 01		Especimen N.° 02		Especimen N.° 03	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
DIMENSIONES DEL ESPECIMEN							
Diámetro (D)	cm	6.18	-	6.18	-	6.18	-
Espesor (e)	cm	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Área	cm2	30.00	26.29	30.00	26.29	30.00	26.29
Volumen	cm3	59.99	52.59	59.99	52.59	59.99	52.59
PESO DEL ESPECIMEN							
Peso húmedo suelo + M.	g	150.90	145.63	150.90	145.62	150.90	145.25
Peso del molde (M)	g	43.00	28.92	43.00	29.32	43.00	28.18
Peso húmedo del espécimen	g	107.90	116.71	107.90	116.30	107.90	117.07
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Peso Suelo Húmedo + recip.	g	82.21	145.63	82.21	145.62	82.21	145.25
Peso Suelo Seco + recip.	g	76.82	127.59	76.82	128.66	76.82	126.59
Peso del recipiente	g	21.69	28.92	21.69	29.32	21.69	28.18
Humedad (w)	%	9.80	18.30	9.80	17.10	9.80	19.00
PESO UNITARIO							
Peso Unitario Húmedo	g/cm3	150.90	145.63	150.90	145.62	150.90	145.25
Peso Unitario Seco	g/cm3	43.00	28.92	43.00	29.32	43.00	28.18


Ing. Dennis N. Reyes Jeddino
 TÉCNICO JEFE DE LABORATORIO


Ing. Carlos Adrian Ortiz Chuyutalli
 CIP 195626
 INGENIERO JEFE DE LABORATORIO

Notas

Condiciones ambientales: 25.2°C y 77 % de Humedad ambiental

Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de la empresa TGH registrada en INDECOPI con CERTIFICADO N° 00153617 (Resolución N° 003994-2024/DSD-INDECOPI) y los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensajada.

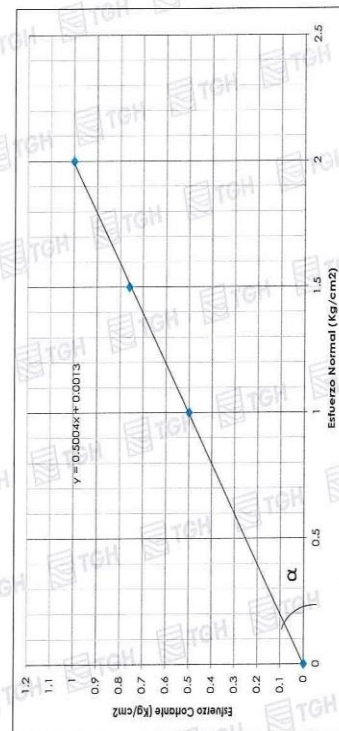
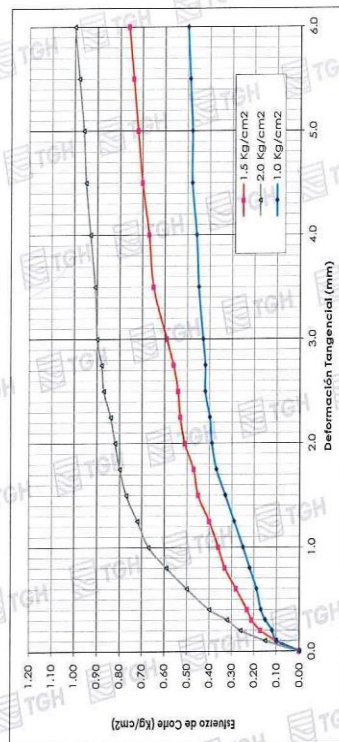
© Jr. Príncipe Illatupa N° 112, Urb. Hermilio Valdizán, Huánuco 10003 - Perú
 ☎ (+51) 990 220 180 ✉ terzaghi.cci@gmail.com 🌐 www.terzaghi.pe

INFORME DE ENSAYO			
SONDEO	: Calicata 01	MATERIAL: SM / A-2-4(II)	FECHA DE MUESTRO: 06/03/2025 al 07/03/2025
PROFUNDIDAD	: 1.00	FECHA DE MUESTRO: 02/03/2025	TIPO DE MUESTRA: Mab
N° MUESTRA	: M-01	HORA DE MUESTRO(/**): 15:30	FECHA DE EMISIÓN: 08/03/2025
CÓDIGO ÚNICO	: TAV-01	MUESTREADO POR(**): Dennis Reyes	COORDENADAS UTM: N 8912942.57
REFERENCIA	: Carretera Rancho		E 380430.61

Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de la empresa TGH registrado en INDECOPI con CERTIFICADO N° 00153617 (Resolución N° 003994-2024/DSD-INDECOPI) y los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

97

		TERZAGHI CONSULTORES & CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L. LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	
Versión: 01		Código: PR-CD-01	
Revisión: 01			
Indecopi		Modificación N° 000000-000000-000000	
TESTES:		"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARPINTERA RANCHO, PANACH-HUANUCO 2024"	
CLIENTE:		JANINA STEFANNY CAQUI CASTRO	
INFORME DE ENSAYO			
SONDEO		: Calicata 01	
PROFUNDIDAD		: 1.00	
N° MUESTRA		: M-01	
CÓDIGO ÚNICO		: TAV-01	
REFERENCIA		: Carretera Rancho	
FECHA DE ENSAYO		: 04/03/2025 a 07/03/2025	
TIPO DE MUESTRA		: Veb	
FECHA DE EMISIÓN		: 05/03/2025	
COORDENADAS UTM		: N 8912942.57 E 380430.61	
ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN CONDICIÓN CONSOLIDADA DRENADA (CD) NORMAS TÉCNICAS: NTP 335.171/ ASTM D-3080			



Estuerzo Normal (kg/cm ²)	Resistencia al Corte (kg/cm ²)
1,00	0,50
1,50	0,75
2,00	1,00

Ángulo de Fricción Interna (a)	26.40°
Ángulo de Fricción Interna Corregido(a)	18.31°

Notas

Notas

Condiciones ambientales: 25-26°C y 60-65% de humedad relativa

Bach, Ing. Dennis N Reyes, Reading

Hubert and Hubert and ABOATOMIC

	TERZAGHI CONSULTORES & CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L. LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO		Código: PR-ET-2 Versión: 01 Revisión: 01
	TESES: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAJÓ-HUÁNUCO 2024"		 Resolución N° 00369-2024-01-DEECOM
	CLIENTE: JANINA STEFFANY CAQUI CASTRO		

INFORME DE ENSAYO			
SONDEO	:	Calicata 02	FECHA DE ENSAYO : 05/03/2025 a 07/03/2025
PROFUNDIDAD	:	1.40	TIPO DE MUESTRA : Mab
N° MUESTRA	:	M-01	FECHA DE EMISIÓN : 08/03/2025
CÓDIGO ÚNICO	:	TAV-02	COORDENADAS UTM : N 8913182.42
REFERENCIA	:	Carretera Rancho	E 3846398.31

				NIVEL FREÁTICO	CAICATA
				N.D	C-02
PROF. (m)	MUESTRA	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN AASHTO	CLASIFICACIÓN SUCS
0.10	-		TURBA: Material orgánico	-	PT
1.40	M-01 (MAS)		Material : Se encuentra un estrato de grava mal graduada con limo y arena, con presencia de fragmentos toscos de gran dimensión. Color: Marrón.	A-1-a[0]	GP-GM

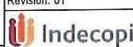
Bach, Ing. Dennis N. Reyes Meding
TÉCNICO JEFE DE LABORATORIO

Ing. Carlos Adrian Ortiz Chujutalli
CIP. 195826
INGENIERO JEFE DE LABORATORIO

Observaciones:

TIPO DE MUESTRA	MAB: Muestra alterada en bloque	MAS: muestra alterada en saco
	MIB: muestra inalterada en bloque	MIT: muestra inalterada en tubo

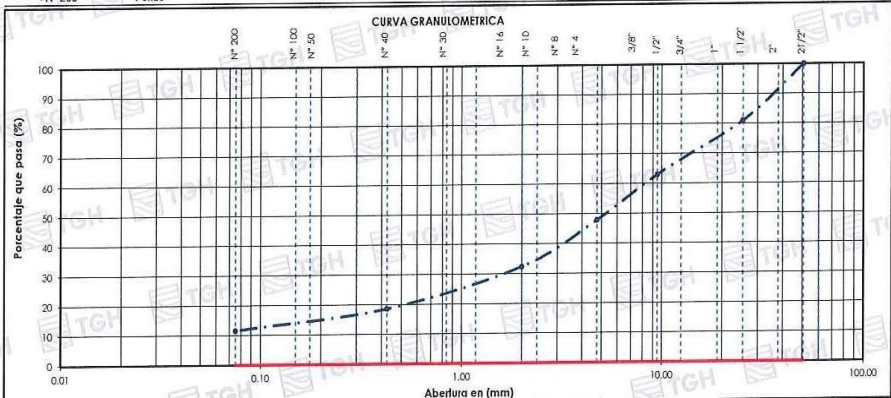
99

	TERZAGHI CONSULTORES & CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L. LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	Código: PR-GC-2 Versión: 01
	TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAO-HUÁNUCO 2024"	Revisión: 01
	CLIENTE: JANINA STEFANNY CAQUI CASTRO	

INFORME DE ENSAYO		
SONDEO : Calicata 02 PROFUNDIDAD : 1.40 N° MUESTRA : M-01 CÓDIGO ÚNICO : TAV-02 REFERENCIA : Carretera Rancho	MATERIAL : Propio FECHA DE MUESTREO : 02/03/2025 HORA DE MUESTREO(") : 14:30 MUESTREO POR(") : Dennis Reyes	FECHA DE ENSAYO : 05/03/2025 al 07/03/2025 TIPO DE MUESTRA : Mab FECHA DE EMISIÓN : 08/03/2025 COORDENADAS UTM : N 8913182.42 E 384638.31

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
NORMAS TÉCNICAS: NTP 339.128:1999 (Revisada el 2019)

TAMIZ ASTM	ABERTURA EN (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	GRADACIÓN "E"	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
21/2"	60.350	0.00	0.0	0.0	100.0		Masa Inicial Total : 2035.0 gr.
2"	50.800	0.00	0.0	0.0	100.0	0	Masa Fracción fina : 974.0 gr.
1 1/2"	38.100	308.00	15.1	15.1	84.9		
1"	25.400	79.00	3.9	19.0	81.0	0	Tamaño máximo : 1 1/2 "
3/4"	19.000	62.00	3.0	22.1	77.9		TMN : 1 "
1/2"	12.500	133.00	6.5	28.6	71.4		Bloques (>300mm) : 1.00 %
3/8"	9.500	171.00	8.4	37.0	63.0	0	Bolones (75mm - 300mm) : 2.00 %
N° 4	4.750	308.00	15.1	52.1	47.9	0	Grava : 52.14 %
N° 8	2.380	237.00	11.6	63.8	36.2		Grava gruesa : 28.60 %
N° 10	2.000	79.00	3.9	67.7	32.3	0	Grava media : 8.40 %
N° 16	1.180	123.00	6.0	73.7	26.3		Grava fina : 15.14 %
N° 30	0.840	113.00	5.6	79.3	20.7		Arena : 36.36 %
N° 40	0.425	44.00	2.2	81.4	18.6	0	Arena gruesa : 27.13 %
N° 50	0.300	22.00	1.1	82.5	17.5		Arena fina : 9.24 %
N° 100	0.150	83.00	4.1	86.6	13.4		Finos : 11.50 %
N° 200	0.075	39.00	1.9	88.5	11.5	0	
< N° 200	Fondo	234	11.5	100.0	0.0		Partículas granulares angulares



SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS, SUCS
NTP 339.134:1999 (Revisada el 2019)

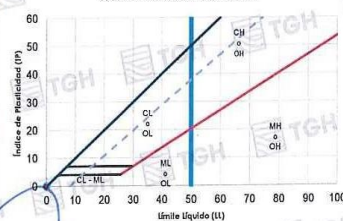
Proporciones definidas : Grava : 52.14 %, Arena : 36.36 %, Finos : 11.5 %
 Diámetros calculados : $D_{60} = 8.559$ mm, $D_{30} = 1.683$ mm, $D_{10} = \dots$ mm
 Coeficientes calculados : $C_u = \dots$, $C_c = \dots$
 Símbolo de grupo : GP-GM

Nombre de grupo : Grava mal graduada con limo y arena

CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA USO EN VÍAS DE TRANSPORTE, AASHTO
NTP 339.135:1999 (Revisada el 2019)

Proporciones definidas : Grava : 52.14 %, Arena : 36.36 %, Finos : 11.5 %
 Material : Fragmentos de roca, grava y arena
 Clasificación de grupo : A-1-a(0)
 Clasificación como subrasante : Excelente

CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE




 Bach. Ing. Dennis N. Reyes Medina
 TÉCNICO JEFE DE LABORATORIO

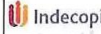

 Ing. Carlos Adrián Ortiz Chujutalli
 CIP 195826
 INGENIERO JEFE DE LABORATORIO

Notas

Condiciones ambientales: 25.2°C y 77 % de Humedad ambiental

Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de la empresa TGH registrado en INDECOPI con CERTIFICADO N° 00153617 (Resolución N° 003694-2024-035D-INDECOPI) y los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

📍 Jr. Príncipe Illatupa N° 112, Urb. Hermilio Valdizán, Huánuco 10003 - Perú
 ☎ (+51) 990 220 180 ✉ terzaghi.cci@gmail.com 🌐 www.terzaghi.pe

	TERZAGHI CONSULTORES & CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.	Código: PR-LA-2
	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	Versión: 01
	TESIS: *ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAO-HUÁNUCO 2024*	Revisión: 01
	CLIENTE: JANINA STEFANNY CAQUI CASTRO	

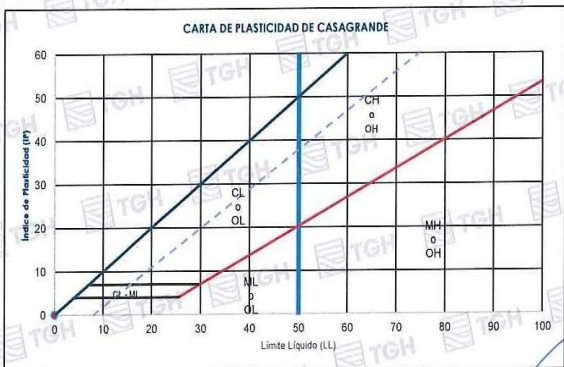
INFORME DE ENSAYO			
SONDEO :	Calicata 02	MATERIAL :	Propio
PROFUNDIDAD :	1.40	FECHA DE MUESTREO :	02/03/2025
N° MUESTRA :	M-01	HORA DE MUESTREO(**) :	14:30:00
CÓDIGO ÚNICO :	TAV-02	MUESTREO POR(**) :	Dennis Reyes
REFERENCIA :	Carretera Rancho	COORDENADAS UTM :	N 8913182.42
			E 384638.31

LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89) - MÉTODO MULTIPUNTO				
N° TARA		T-01	T-02	T-03
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00
PESO DE AGUA (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00
PESO DE LA TARA (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00
PESO DEL SUELO SECO (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.00	0.00	0.00	0.00
NUMERO DE GOLPES	0	0	0	0

Observaciones	
- Masa retenida N°40 :	81.43 %
- Humedad de recepción :	13.34 %
- TMN :	1 "
- Clasificación SUCS	GP-GM
Condiciones ambientales del ensayo	
- Temperatura :	25.20 °C
- Humedad :	77.0 %

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)				
N° TARA		T-04	T-05	T-06
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00
PESO DE LA TARA (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00
PESO DEL AGUA (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00
PESO DEL SUELO SECO (gr.)	0.00	0.00	0.00	0.00
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	NP	NP	NP	NP

LÍMITES DE CONSISTENCIA	
LÍMITE LÍQUIDO (%)	NP
LÍMITE PLÁSTICO (%)	NP
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	NP



Notas
 Condiciones ambientales: 25.2°C y 77 % de Humedad ambiental
 Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de la empresa TGH registrado en INDECOP con CERTIFICADO N° 00153617 (Resolución N° 003594-2024/DSD-INDECOP) y los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Bach. Mg. Dennis N. Reyes Medina
 TÉCNICO JEFE DE LABORATORIO

Ing. Carlos Adnan Ortiz Chujutalli
 CIP 195826
 INGENIERO JEFE DE LABORATORIO

📍 Jr. Príncipe Illatupa N° 112, Urb. Hermilio Valdizán, Huánuco 10003 - Perú
 ☎ (+51) 990 220 180 ✉ terzaghi.cci@gmail.com 🌐 www.terzaghi.pe

	TERZAGHI CONSULTORES & CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.	Código: PR-CH-2
	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	Versión: 01
	TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAO-HUÁNUCO 2024"	Revisión: 01
	CLIENTE: JANINA STEFANNY CAQUI CASTRO	

INFORME DE ENSAYO			
SONDEO : Calicata 02	MATERIAL : Propio	TIPO DE MUESTRA : 05/03/2025 al 07/03/2025	
PROFUNDIDAD : 1.40	FECHA DE MUESTREO : 02/03/2025	TIPO DE MUESTRA : Mab	
N° MUESTRA : M-01	HORA DE MUESTREO ("") : 14:30:00	FECHA DE EMISIÓN : 08/03/2025	
CÓDIGO ÚNICO : TAV-02	MUESTREO POR ("") : Dennis Reyes	COORDENADAS UTM : N 8913182.42	
REFERENCIA : Carretera Rancho		E 384638.31	

Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo,
NTP 339.127:1998 (Revisada el 2019)
NORMA TÉCNICA: MTC E 108

Espécimen de Ensayo	Contenido de humedad reportado ± 1 %			
Descripción	und	E-01	E-01	E-03
Número del contenedor	-	Tc-5	Tc-6	Tc-8
Masa del contenedor (Mc)	gr.	92.00	78.00	78.00
Masa del contenedor + masa de muestra húmeda (M _{cws})	gr.	314.00	384.00	358.00
Fecha de inicio de ensayo	-	06/03/2025	06/03/2025	06/03/2025
Fecha de contenedor y masa fuera del horno (M _{cs})	-	07/03/2025	07/03/2025	07/03/2025
Masa del contenedor + masa de muestra seca al horno (M _{cs})	gr.	288.00	347.00	324.00
Masa del agua (M _w = M _{cws} - M _{cs})	gr.	26.00	37.00	32.00
Masa de las partículas sólidas (M _s = M _{cs} - Mc)	gr.	196.00	269.00	246.00
Contenido de Humedad (W = M _w x 100/M _s)	%	13.27	13.75	13.01
Símbolo de grupo de clasificación	-	GP-GM	GP-GM	GP-GM
Promedio de Contenido de Humedad		13.34 %		


 Bach. Ing. Dennis N. Reyes Medina
 TÉCNICO JEFE DE LABORATORIO


 Ing. Carlos Adrian Ortiz Chujutalli
 CIP 195826
 INGENIERO JEFE DE LABORATORIO

Observaciones del ensayo		
- Tipo de muestra :	:	Muestra alterada
- Horno controlado a :	:	110°C $\pm$ 5°C
- Exclusión de algún material :	:	No
- Más de un tipo de material :	:	No
- Cumple con la masa mínima requerida :	:	Sí

Notas

Condiciones ambientales: 25.2°C y 77 % de Humedad ambiental

Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de la empresa TGH registrado en INDECOP con CERTIFICADO N° 00153617 (Resolución N° 003094-2024-DSO-INDECOP) y los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

📍 Jr. Príncipe Illatupa N° 112, Urb. Hermilio Valdizán, Huánuco 10003 - Perú
 ☎ (+51) 990 220 180 ✉ terzaghi.cci@gmail.com 🌐 www.terzaghi.pe

	TERZAGHI CONSULTORES & CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.	Código: PR-CD-2
	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	Versión: 01
	TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAJO-HUÁNUCO 2024"	Revisión: 01
	CLIENTE: JANINA STEFANNY CAQUI CASTRO	

INFORME DE ENSAYO		
SONDEO : Calicata 02	MATERIAL : GP-GM / A-1-a(0)	FECHA DE ENSAYO : 05/03/2025 al 07/03/2025
PROFUNDIDAD : 1.40	FECHA DE MUESTREO : 02/03/2025	TIPO DE MUESTRA : Mab
N° MUESTRA : M-01	HORA DE MUESTREO(*) : 15:30	FECHA DE EMISIÓN : 08/03/2025
CÓDIGO ÚNICO : TAV-02	MUESTREO POR(*) : Dennis Reyes	COORDENADAS UTM : N 8913182.42
REFERENCIA : Carretera Rancho		E 384638.31

ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN CONDICIÓN CONSOLIDADA DRENADA (CD)	
NORMAS TÉCNICAS: NTP 339.171/ ASTM D-3080	

Descripción	Und	Especimen N.° 01		Especimen N.° 02		Especimen N.° 03	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
DIMENSIONES DEL ESPECIMEN							
Diámetro (D)	cm	6.18	-	6.18	-	6.18	-
Espesor (e)	cm	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Área	cm2	30.00	26.29	30.00	26.29	30.00	26.29
Volumen	cm3	59.99	52.59	59.99	52.59	59.99	52.59
PESO DEL ESPECIMEN							
Peso húmedo suelo + M.	g	166.23	157.30	166.23	154.67	166.23	155.25
Peso del molde (M)	g	43.00	29.64	43.00	27.72	43.00	28.40
Peso húmedo del espécimen	g	123.23	127.66	123.23	126.95	123.23	126.85
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Peso Suelo Húmedo + recip.	g	74.09	157.30	74.09	157.67	74.09	155.25
Peso Suelo Seco + recip.	g	68.68	140.33	68.68	137.97	68.68	139.15
Peso del recipiente	g	21.80	29.64	21.80	27.72	21.80	28.40
Humedad (w)	%	11.50	15.30	11.50	15.10	11.50	14.50
PESO UNITARIO							
Peso Unitario Húmedo	g/cm3	2.05	2.43	2.05	2.41	2.05	2.41
Peso Unitario Seco	g/cm3	1.84	2.10	1.84	2.10	1.84	2.11



Bach. Ing. Dennis N. Reyes Medina
TÉCNICO JEFE DE LABORATORIO



Ing. Carlos Adrián Ortiz Chujutalli
CIP 195826
INGENIERO JEFE DE LABORATORIO

Notas

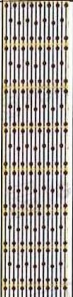
Condiciones ambientales: 25.2°C y 77 % de Humedad ambiental

Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de la empresa TGH registrado en INDECOPI con CERTIFICADO N° 00153617 (Resolución N° 003994-2024/DSO-INDECOPI) y los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

PRUEBAS DE LABORATORIO CALICATA 3

 TGH	TERZAGHI CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L. LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	Código: PR-ET-3 Versión: 01
	TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESIZAJAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAMÁ-HUÁNUCO 2024"	Revisión: 01
CLIENTE:	JANINA STEFANNY CADUI CASTRO	 Resolución N° 000047-2024/S01-Indecopi

INFORME DE ENSAYO	
SONDEO :	Calicata 03
PROFUNDIDAD :	1.40
N° MUESTRA :	M-01
CODIGO UNICO :	TAV-03
COORDENADAS :	Cementerio Panchito
MATERIAL :	Propilo
FECHA DE MUESTREO :	02/03/2025
HORA DE MUESTREO(*) :	15:20
MUESTREADO POR(*) :	Dennis Reyes
FECHA DE ENSAYO :	06/03/2025 al 07/03/2025
TIPO DE MUESTRA :	Mab
FECHA DE EMISIÓN :	08/03/2025
COORDENADAS UTM :	N 8910878.67
	E 385390.19

				NIVEL FREÁTICO	CALICATA
				N.D	C-03
PROF. (m)	MUESTRA	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN AASHTO	CLASIFICACIÓN SUC
0.10	-		TURBA: Material orgánico	-	P1
1.40	M-01 (MAS)		Material: Se encuentra un estrato de Arena limosa con grava. Color: Marrón.	A-2-4(0)	SM

Bach. Ing. Dennis N Reyes Medina
TECNICO JEFE DE LABORATORIO

TGH

Ing. Carlos Adrian Ortiz Chujutalli
CIP. 195826
INGENIERO JEFE DE LABORATORIO

Observaciones:

TIPO DE MUESTRA

MAR: Muestra alterada en bloque

MAS: muestra alterada en saco

MIB: muestra inalterada en bloque

MIT: muestra inalterada en tubo

📍 Jr. Príncipe Illatupa N° 112, Urb. Hermilio Valdizán, Huánuco 10003 - Perú

☎ (+51) 990 220 180

✉ terzaghi.cci.@gmail.com

 www.terzaghi.pe

	TERZAGHI CONSULTORES & CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.	Código: PR-GC-3
	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	Versión: 01
	TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAJO-HUÁNUCO 2024" CLIENTE: JANINA STEFANNY CAQUI CASTRO	Revisión: 01

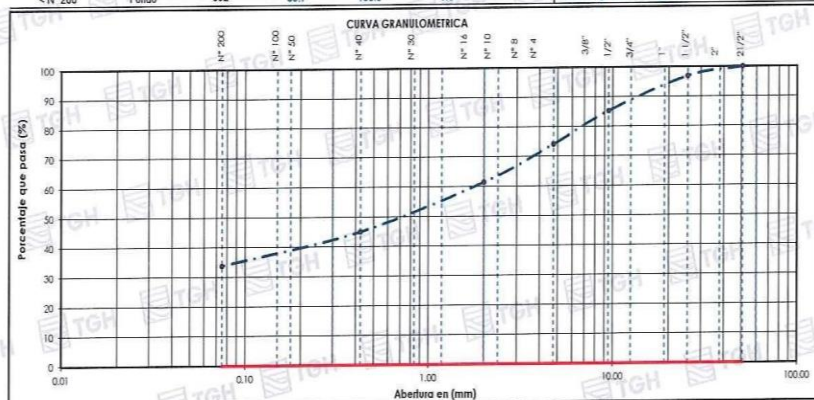


INFORME DE ENSAYO	
SONDEO : Calicata 03 PROFUNDIDAD : 1.40 N° MUESTRA : M-01 CÓDIGO ÚNICO : TAV-03 REFERENCIA : Carretera Rancho	MATERIAL : Propio FECHA DE MUESTREO : 02/03/2025 HORA DE MUESTREO("): 15:20 MUESTREO POR("): Dennis Reyes

FECHA DE ENSAYO : 05/03/2025 a 07/03/2025
TIPO DE MUESTRA : Mtb
FECHA DE EMISIÓN : 08/03/2025
COORDENADAS UTM : N 8910878.67 E 385390.19

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
NORMAS TÉCNICAS: NTP 339.128:1999 (Revisada el 2019)

TAMIZ ASTM	ABERTURA EN (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	GRADACIÓN "E"	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2 1/2"	60.350	0.00	0.0	0.0	100.0		
2"	50.800	0.00	0.0	0.0	100.0	0	Masa Inicial Total : 1636.0 gr.
1 1/2"	38.100	0.00	0.0	0.0	100.0		Masa Fracción fina : 1213.0 gr.
1"	25.400	51.00	3.1	3.1	96.9	0	
3/4"	19.000	53.00	3.2	6.4	93.6		Tamaño máximo : 1 1/2 "
1/2"	12.500	58.00	3.5	9.9	90.1		TMN : 1 "
3/8"	9.500	79.00	4.8	14.7	85.3	0	Bloques (>300mm) : 1.00 %
N° 4	4.750	182.00	11.1	25.9	74.1	0	Bolones (75mm - 300mm) : 2.00 %
N° 8	2.380	149.00	9.1	35.0	65.0		Grava : 25.86 %
N° 10	2.000	59.00	3.6	38.6	61.4	0	Grava gruesa : 9.90 %
N° 16	1.180	103.00	6.3	44.9	55.1		Grava media : 4.83 %
N° 30	0.840	115.00	7.0	51.9	48.1		Grava fina : 11.12 %
N° 40	0.425	51.00	3.1	55.0	45.0	0	Arena : 40.40 %
N° 50	0.300	31.00	1.9	56.9	43.1		Arena gruesa : 26.04 %
N° 100	0.150	92.00	5.6	62.5	37.5		Arena fina : 14.36 %
N° 200	0.075	61.00	3.7	66.3	33.7	0	Finos : 33.74 %
< N° 200	Fondo	552	33.7	100.0	0.0		Partículas granulares angulares



SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS, SUCS NTP 339.134:1999 (Revisada el 2019) Proporciones definidas : Grava : 25.86 %, Arena : 40.4 %, Finos : 33.74 % Diámetros calculados : D60 = 1.814 mm, D30 = -- mm, D10 = -- mm Coeficientes calculados : Cu : --, Cc : -- Símbolo de grupo : SM Nombre de grupo : Arena limosa con grava
CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA USO EN VÍAS DE TRANSPORTE, AASHTO NTP 339.135:1999 (Revisada el 2019) Proporciones definidas : Grava : 25.86 %, Arena : 40.4 %, Finos : 33.74 % Material : Grava y arena limosa o arcillosa Clasificación de grupo : A-2-4(0) Clasificación como subrasante : Buena




 Bach. Ing. Dennis N. Reyes Medina
 TÉCNICO JEFE DE LABORATORIO


 Ing. Carlos Adrian Ortiz Chuyutalli
 CIP. 195826
 INGENIERO JEFE DE LABORATORIO

Notas
 Condiciones ambientales: 25.2°C y 77 % de Humedad ambiental
 Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de la empresa TGH registrada en INDECOP con CERTIFICADO N° 00153617 (Revisado el 02/03/2024) y los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

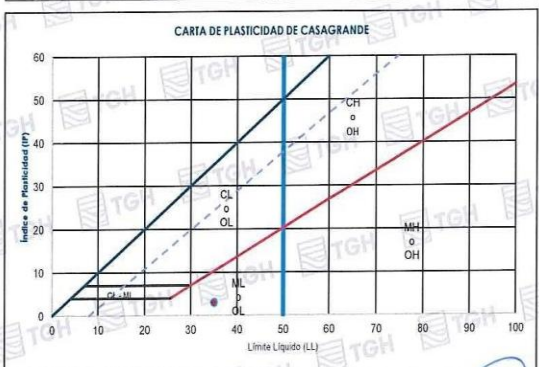
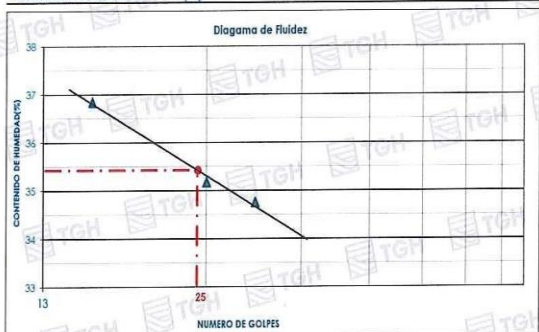
	TERZAGHI CONSULTORES & CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.		Código: PR-LA-3
	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO		Versión: 01
	TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAO-HUÁNUCO 2024"		Revisión: 01
	CLIENTE: JANINA STEFANNY CAQUI CASTRO		

INFORME DE ENSAYO			
SONDEO :	Calicata 03	MATERIAL :	Propio
PROFUNDIDAD :	1.40	FECHA DE MUESTREO :	02/03/2025
N° MUESTRA :	M-01	HORA DE MUESTREO("):	15:20:00
CÓDIGO ÚNICO :	TAV-03	MUESTREO POR("):	Dennis Reyes
REFERENCIA :	Carretera Rancho	COORDENADAS UTM :	N 8910878.67 E 385390.19

LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89) - MÉTODO MULTIPUNTO				
N° TARA		T-01	T-05	T-02
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	59.35	57.42	58.47
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	49.69	48.63	49.60
PESO DE AGUA	(gr.)	9.66	8.79	8.87
PESO DE LA TARA	(gr.)	23.47	23.64	24.08
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	26.22	24.99	25.52
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	36.84	35.17	34.76
NÚMERO DE GOLPES		16	26	32

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)				
N° TARA		T-10	T-11	T-07
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	25.41	24.36	24.36
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	24.96	23.95	23.91
PESO DE LA TARA	(gr.)	23.56	22.67	22.53
PESO DEL AGUA	(gr.)	0.45	0.41	0.45
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	1.40	1.28	1.38
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	32.14	32.03	32.61

Observaciones	
- Masa retenida N°40 :	55.01 %
- Humedad de recepción :	11.29 %
- TMN :	1"
- Clasificación SUCS	SM
Condiciones ambientales del ensayo	
- Temperatura :	25.20 °C
- Humedad :	77.0 %



LÍMITES DE CONSISTENCIA	
LÍMITE LÍQUIDO (%)	35
LÍMITE PLÁSTICO (%)	32
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	3

 Bach. Ing. Dennis N. Reyes Medina TÉCNICO JEFE DE LABORATORIO	 Ing. Carlos Adrian Ortiz Chujutalli CIP 195826 INGENIERO JEFE DE LABORATORIO
---	---

Notas
 Condiciones ambientales: 25.2°C y 77 % de Humedad ambiental
 Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de la empresa TGH registrada en INDECOP con CERTIFICADO N° 00153617 (Resolución N° 003094-2024-DS-INDECOP) y los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

📍 Jr. Príncipe Illatupa N° 112, Urb. Hermilio Valdizán, Huánuco 10003 - Perú
 ☎ (+51) 990 220 180 ✉ terzaghi.cci@gmail.com 🌐 www.terzaghi.pe

 TGH	TERZAGHI CONSULTORES & CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L.	Código: PR-CH-3
	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	Versión: 01
	TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAO-HUANUCO 2024"	Revisión: 01
	CLIENTE: JANINA STEFANNY CAULI CASTRO	

INFORME DE ENSAYO

SONDEO : Calicata 03	MATERIAL : Propio	TIPO DE MUESTRA : 05/03/2025 al 07/03/2025
PROFUNDIDAD : 1.40	FECHA DE MUESTREO : 02/03/2025	TIPO DE MUESTRA : Mab
N° MUESTRA : M-01	HORA DE MUESTREO("): 15:20:00	FECHA DE EMISIÓN : 08/03/2025
CÓDIGO ÚNICO : TAV-03	MUESTREO POR("): Dennis Reyes	COORDENADAS UTM : N 8910878.67
REFERENCIA : Carretera Rancho		E 385390.19

Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

NTP 339.127:1998 (Revisada el 2019)

NORMA TÉCNICA: MTC E 108

Especimen de Ensayo		Contenido de humedad reportado $\pm 1\%$		
Descripción	und	E-01	E-01	E-03
Número del contenedor	-	Tc-10	Tc-11	Tc-12
Masa del contenedor (Mc)	gr.	78.00	78.00	79.00
Masa del contenedor + masa de muestra húmeda (Mows)	gr.	409.00	329.00	376.00
Fecha de inicio de ensayo	-	06/03/2025	06/03/2025	06/03/2025
Fecha de contenedor y masa fuera del horno	-	07/03/2025	07/03/2025	07/03/2025
Masa del contenedor + masa de muestra seca al horno (Mcs)	gr.	376.00	303.00	346.00
Masa de agua ($Mw = Mows - Mcs$)	gr.	33.00	26.00	30.00
Masa de las partículas sólidas ($Ms = Mcs - Mc$)	gr.	298.00	225.00	267.00
Contenido de Humedad ($W = Mw \times 100/Ms$)	%	11.07	11.56	11.24
Símbolo de grupo de clasificación	-	SM	SM	SM
Promedio de Contenido de Humedad		11.29 %		


 Bach. Ing. Dennis N. Reyes Medina
 TÉCNICO JEFE DE LABORATORIO


 Ing. Carlos Adrian Ortiz Chujutalli
 CIP 195826
 INGENIERO JEFE DE LABORATORIO

Observaciones del ensayo	
- Tipo de muestra :	Muestra alterada
- Horno controlado a :	110°C $\pm$ 5°C
- Exclusión de algún material :	No
- Más de un tipo de material :	No
- Cumple con la masa mínima requerida :	Sí

Notas

Condiciones ambientales: 25.2°C y 77 % de Humedad ambiental

Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de la empresa TGH registrado en INDECOPI con CERTIFICADO N° 00153617 (Resolución N° 003994-2024-OSD-INDECOPI) y los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

📍 Jr. Príncipe Illatupa N° 112, Urb. Hermilio Valdizán, Huánuco 10003 - Perú

☎ (+51) 990 220 180

✉ terzaghi.cci@gmail.com

🌐 www.terzaghi.pe

	TERZAGHI CONSULTORES & CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L. LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	Código: PR-DC-2 Versión: 01 Revisión: 01
	TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAJO-HUÁNUCO 2024"	
	CLIENTE: JANINA STEFANNY CAQUI CASTRO	

SONDEO: Calicata 03 MATERIAL: SM / A-2-4(0) UBICACIÓN: - REFERENCIA: Carretera Rancho	M.D.S.("): - O.C.H.("): - Especificación mínima ("): -	CÓDIGO ÚNICO: TVA-03 FECHA DE EMISIÓN: 08/03/2025 ENSAYO EJECUTADO POR: Dennis Reyes
--	--	--

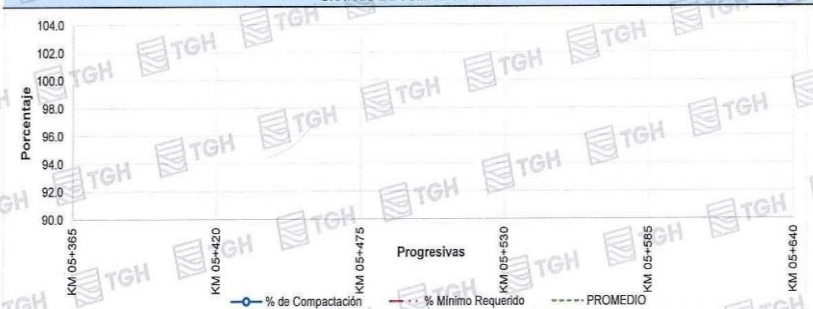
DENSIDAD IN SITU - METODO CONO DE ARENA
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 117, ASTM D 1556,

PROGRESIVA	12+700
CAPA	
LADO	
ESPESOR	10.00 cm
FECHA DE ENSAYO	08/03/2025

DATOS DE ENSAYO		
Peso del Suelo (Fino + Grava) + Recipiente	(gr.)	2272
Peso del Recipiente	(gr.)	116
Peso del Material (Fino + Grava)	(gr.)	2156
Peso Arena + Frasco + Cono	(gr.)	7134
Peso Arena Restante + Frasco + Cono	(gr.)	3809
Peso Arena en el Cono	(gr.)	1646
Peso Neto de la Arena en el Agujero	(gr.)	1679
Densidad de la Arena Calibrada	(gr/cm³)	1.430
Volumen del Agujero	(cm³)	1174
Peso de la Grava Secada al Aire	(gr.)	662
Peso Específico de Grava	(gr/cm³)	2.728
Volumen de la Grava en el Agujero	(cm³)	243
Peso del Suelo sin Grava	(gr.)	1494
Volumen del Suelo sin Grava	(cm³)	931

RESULTADOS		
Densidad del Suelo Húmedo	(gr/cm³)	1.604
Humedad del Suelo	(%)	10.8
Densidad del Suelo Seco	(gr/cm³)	1.448
Densidad del Suelo Seco Máxima (Próctor)	(gr/cm³)	-
Porcentaje de Compactación	(%)	-

GRÁFICO DE COMPACTACIÓN





Pach. Ing. Dennis N. Reyes Hedina
 TÉCNICO JEFE DE LABORATORIO



Ing. Carlos Adrian Ortiz Chujutalli
 CIP 195826
 INGENIERO JEFE DE LABORATORIO

Notas
 Condiciones ambientales: 25.2°C y 77% de Humedad ambiental
 Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de la empresa TGH registrada en INDECOP con CERTIFICADO N° 00153617 (Resolución N° 003994-2024-DSD-INDECOP) y los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

© Jr. Príncipe Illatupa N° 112, Urb. Hermilio Valdizán, Huánuco 10003 - Perú
 ☎ (+51) 990 220 180 ✉ terzaghi.cci@gmail.com 🌐 www.terzaghi.pe

	TERZAGHI CONSULTORES & CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L. LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	Código: PR-CD-3 Versión: 01 Revisión: 01
	TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAJO-HUÁNUCO 2024"	
	CLIENTE: JANINA STEFANNY CAQUI CASTRO	

INFORME DE ENSAYO			
SONDEO	: Calicata 03	MATERIAL	: SM / A-2-4(0)
PROFUNDIDAD	: 1.40	FECHA DE MUESTREO	: 02/03/2025
N° MUESTRA	: M-01	FECHA DE EMISIÓN	: 08/03/2025
CÓDIGO ÚNICO	: TAV-03	COORDENADAS UTM	: N 8910878.67
REFERENCIA	: Carretera Rancho		: E385390.19

ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN CONDICIÓN CONSOLIDADA DRENADA (CD) NORMAS TÉCNICAS: NTP 339.171/ ASTM D-3080
--

Descripción	Und	Especimen N.º 01		Especimen N.º 02		Especimen N.º 03	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
DIMENSIONES DEL ESPECIMEN							
Diámetro (D)	cm	6.18	-	6.18	-	6.18	-
Espesor (e)	cm	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Área	cm2	30.00	26.29	30.00	26.29	30.00	26.29
Volumen	cm3	59.99	52.59	59.99	52.59	59.99	52.59
PESO DEL ESPECIMEN							
Peso húmedo suelo + M.	g	156.10	148.98	156.10	147.39	156.10	148.86
Peso del molde (M)	g	43.00	27.99	43.00	28.04	43.00	28.51
Peso húmedo del espécimen	g	113.10	120.99	113.10	119.35	113.10	120.35
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Peso Suelo Húmedo + recip.	g	70.16	148.98	70.16	147.39	70.16	148.86
Peso Suelo Seco + recip.	g	63.60	127.06	63.60	126.91	63.60	128.18
Peso del recipiente	g	21.69	27.99	21.69	28.04	21.69	28.51
Humedad (w)	%	15.70	22.10	15.70	20.70	15.70	20.70
PESO UNITARIO							
Peso Unitario Húmedo	g/cm3	1.89	2.30	1.89	2.27	1.89	2.29
Peso Unitario Seco	g/cm3	1.63	1.88	1.63	1.88	1.63	1.90


Ing. Dennis N. Reyes Medina
 TÉCNICO JEFE DE LABORATORIO


Ing. Carlos Adrián Ortiz Chujutalli
 CIP 195826
 INGENIERO JEFE DE LABORATORIO

Notas

Condiciones ambientales: 25.2°C y 77 % de Humedad ambiental

Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de la empresa TGH registrada en INDECOP con CERTIFICADO N° 00153617 (Resolución N° 003964-2024/OSD-INDECOP) y los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

📍 Jr. Príncipe Illatupa N° 112, Urb. Hermilio Valdizán, Huánuco 10003 - Perú
 ☎ (+51) 990 220 180 ✉ terzaghi.cci@gmail.com 🌐 www.terzaghi.pe

	TERZAGHI CONSULTORES & CONTRATISTAS GENERALES S.C.R.L. LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	Código: PR-CD-3 Versión: 01 Revisión: 01
	TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAÓ-HUÁNUCO 2024"	
	CLIENTE: JANINA STEFANNY CAQUI CASTRO	

INFORME DE ENSAYO					
SONDEO	: Calicata 03	MATERIAL	: SM / A-2-4(0)	FECHA DE ENSAYO	: 05/03/2025 al 07/03/2025
PROFUNDIDAD	: 1.40	FECHA DE MUESTREO	: 02/03/2025	TIPO DE MUESTRA	: Mab
N° MUESTRA	: M-01	HORA DE MUESTREO(*)	: 15:30	FECHA DE EMISIÓN	: 08/03/2025
CÓDIGO ÚNICO	: TAV-03	MUESTREO POR(*)	: Dennis Reyes	COORDENADAS UTM	: N 8910878.67
REFERENCIA	: Carretera Rancho				: E385390.19

ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN CONDICIÓN CONSOLIDADA DRENADA (CD) NORMAS TÉCNICAS: NTP 339.171/ ASTM D-3080
--

CARACTERÍSTICAS DEL ESPECIMEN						
Esfuerzo Normal (Kg/cm2)	2.00		1.50		1.00	
Área Anillo:	30.00 cm3		Especimen N.º 01		Especimen N.º 02	
		Deformac. Tangencial (mm)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm2)	Deformac. Tangencial (mm)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm2)	Deformac. Tangencial (mm)
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.10	0.12	0.10	0.14	0.10
		0.20	0.29	0.20	0.21	0.20
		0.30	0.37	0.30	0.26	0.30
		0.40	0.42	0.40	0.30	0.40
		0.60	0.50	0.60	0.37	0.60
		0.80	0.57	0.80	0.40	0.80
		1.00	0.64	1.00	0.44	1.00
		1.25	0.69	1.25	0.46	1.25
		1.50	0.73	1.50	0.52	1.50
		1.75	0.76	1.75	0.57	1.75
		2.00	0.79	2.00	0.62	2.00
		2.25	0.83	2.25	0.65	2.25
		2.50	0.86	2.50	0.69	2.50
		2.75	0.89	2.75	0.71	2.75
		3.00	0.92	3.00	0.74	3.00
		3.50	0.96	3.50	0.78	3.50
		4.00	0.98	4.00	0.79	4.00
		4.50	1.00	4.50	0.80	4.50
		5.00	1.02	5.00	0.82	5.00
		5.50	1.04	5.50	0.84	5.50
		6.00	1.05	6.00	0.85	6.00

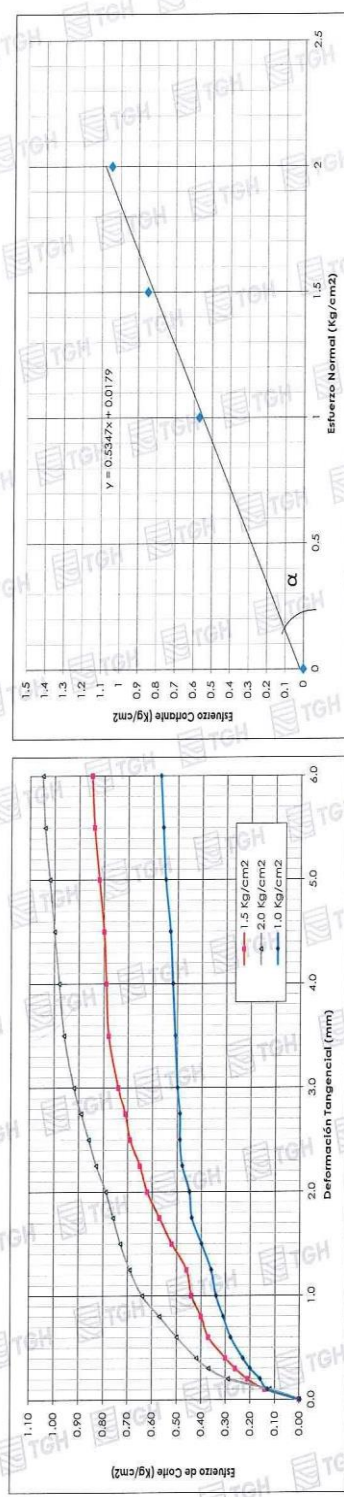
Notas: Condiciones ambientales: 25.2°C y 77 % de Humedad ambiental. Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de la empresa TGH registrada en INDECOPI con CERTIFICADO N° 00153817 (Resolución N° 003994-2024-INDCOPI-INDECOPI) y los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.	 Pach. Ing. Dennis N. Reyes Medina TÉCNICO JEFE DE LABORATORIO	 Ing. Carlos Adrián Ortiz Chujutalli CIP 195826 INGENIERO JEFE DE LABORATORIO
---	---	--

📍 Jr. Príncipe Illatupa N° 112, Urb. Hermilio Valdizán, Huánuco 10003 - Perú
 ☎ (+51) 990 220 180 ✉ terzaghi.cci@gmail.com 🌐 www.terzaghi.pe

		TERZAGHI CONSULTORES & CONTRATISTAS GENERALES S.R.L. LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	
TESIS: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL DESLIZAMIENTO DE TALUDES EN LA CARRETERA RANCHO, PANAC-HUÁNUCO 2024"		CLIENTE: JANINA STEFANNY CAQUI CASTRO	
Código: PRCD-3 Versión: 01 Revisión: 01		Indecopi Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y Competencia	

INFORME DE ENSAYO	
SONDEO : Calicata 03 PROFUNDIDAD : 1.40 N° MUESTRA : M-01 CÓDIGO ÚNICO : TAV-03 REFERENCIA : Carretera Rancho	FECHA DE ENSAYO : 06/03/2025 a 07/03/2025 TIPO DE MUESTRA : M-01 FECHA DE EMISIÓN : 08/03/2025 COORDENADAS UTM : N 8910878.67 E 3465390.19

MATERIAL : SM / A-2-4(0) FECHA DE MUESTREO (*) : 02/03/2025 HORA DE MUESTREO (*) : 15:30 MUESTREO POR (*) : Dennis Reyes



Esfuerzo Normal (kg/cm2)	Resistencia al Corte (kg/cm2)
1.00	0.57
1.50	0.85
2.00	1.05

Ángulo de Fricción Interna (α)	25.98°
Ángulo de Fricción Interna Corregido(α)	17.78°
Cohesión (kg/cm2)	0.105

Notas

Condiciones ambientales: 25.2°C y 77 % de humedad ambiental. Los ensayos fueron realizados en las instalaciones del Laboratorio de la empresa TGH regulados en INDECOP con CERTIFICADO N° 003984-2024-03-0001 (COP) y los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.



 Ing. Carlos Ardo
 INGENIERO JEFE DE LABORATORIO
 CIP 195826

ANEXO 5

ILUSTRACIONES



Vista general del inicio del tramo carretero Rancho – Panao en la progresiva 0+000, correspondiente al Puente Rancho y su conexión hacia la ruta con dirección a Tingo María. Se observa el punto de partida del análisis geotécnico de taludes.



Vista general del Google Maps del inicio de tramo.

IMÁGENES CALICATA N°01



Imagen que muestra el desarrollo de la excavación de la calicata en el talud derecho, en la progresiva 0+900. Esta apertura permitió la obtención de muestras representativas para el análisis geotécnico de campo y laboratorio.



Registro fotográfico del ensayo de densidad in situ con el método del cono de arena en la base de la calicata, utilizado para determinar la densidad seca del suelo natural.



Registro fotográfico del ensayo de densidad in situ con el método del cono de arena en la base de la calicata, utilizado para determinar la densidad seca del suelo natural.



Imagen capturada mediante dron que proporciona una perspectiva vertical de la ubicación y dimensiones de la calicata, contextualizada dentro del perfil del talud evaluado.



Se registra el procedimiento técnico de medición de la profundidad total de la excavación, utilizando cinta métrica y personal capacitado, a fin de establecer el perfil estratigráfico del suelo.



Medida de Humedad de la Calicata N°01 con el SPEEDY
Ensayo de humedad natural realizado con el equipo Speedy Tester, que permite obtener rápidamente el porcentaje de humedad del suelo en campo.

IMÁGENES CALICATA N°02



Vista general del emplazamiento de la calicata en el talud derecho de la progresiva 7+700, zona identificada con la mayor vulnerabilidad sísmica combinada según los resultados obtenidos.



Evidencia del trabajo de excavación manual y controlado para la apertura de la calicata, con fines de muestreo y caracterización física del suelo.



Captura del procedimiento de evaluación de densidad con el método del cono de arena. Se observa el equipo técnico en ejecución y la delimitación del área de prueba.



Captura del procedimiento de evaluación de densidad con el método del cono de arena con los instrumentos de laboratorio.



Detalle visual del corte estratigráfico del suelo, donde se identifican capas de material granular de diferente granulometría. Esta observación apoyó la clasificación del tipo de suelo en el laboratorio.



Por las características particulares del suelo (material poco cohesivo), no fue posible aplicar el método SPEEDY en campo. Se procedió al muestreo directo para análisis en laboratorio.

IMÁGENES CALICATA N°03



Fotografía que muestra la localización de la calicata 03 en el talud derecho, en la progresiva 12+700. La imagen permite apreciar la pendiente y cobertura vegetal superficial.



Documentación visual del procedimiento de determinación de densidad seca natural mediante el método del cono de arena. Se aprecia la precisión del equipo técnico en campo.



Vista aérea de los trabajos de campo realizados en la calicata 3.



Proceso de verificación de las dimensiones geométricas de la calicata (profundidad, largo y ancho), necesarias para el control volumétrico del ensayo.



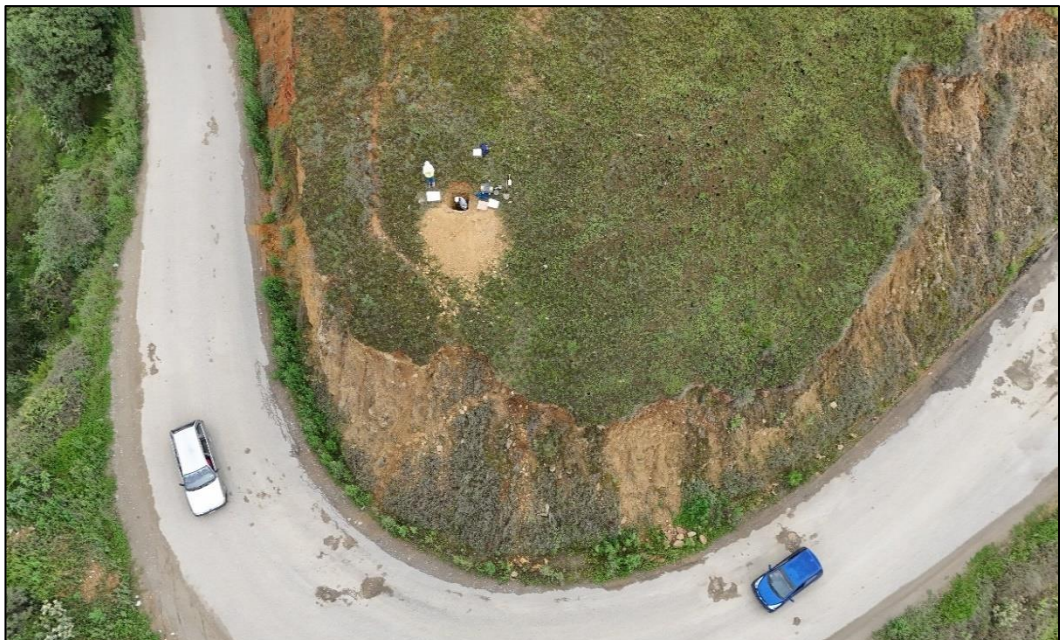
Fotografía del desarrollo de las pruebas de campo con presencia de la tesista y del técnico especializado en suelos, en cumplimiento del protocolo de seguridad y validación de datos.



Captura del procedimiento de medición de humedad natural del suelo mediante el equipo SPEEDY, aplicado en condiciones controladas para obtener datos confiables.



Medida de Humedad de la Calicata N°03 con el SPEEDY
Ensayo de humedad natural realizado con el equipo Speedy Tester, que permite obtener rápidamente el porcentaje de humedad del suelo en campo



Vista área con la asistencia de un Dron de la calicata 03, progresiva 12+700