

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL**



**Tesis**

**Evaluación del diseño de infraestructura vial y su incidencia en el nivel de riesgo, vulnerabilidad y peligro en la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco -Abancay-2024**

Asesor:

Ph. D, Vázquez Ramírez, Abbon Alex

Autor:

Aguilar Caillahua, Deyra Consuelo

Para optar el título profesional: Ingeniero Civil

Abancay- Apurímac – Perú

2025

## Acta de Sustentación



Universidad  
Tecnológica de los Andes

Transformando vidas  
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 097

En la ciudad de Abancay, a los Dieciséis días del mes de diciembre del 2025, siendo las 8:30 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 1045-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 10 de diciembre del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

|                |                               |
|----------------|-------------------------------|
| Presidente :   | Mag. Huanca Astoquillca, Luis |
| Dictaminante : | Ing. Cayo Baca, Holguer       |
| Replicante :   | Dra. Vera Teves, Rosa Marina  |

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis  Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

**Evaluación del diseño de infraestructura vial y su incidencia en el nivel de riesgo, vulnerabilidad y peligro en la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo Ayaorcco – Abancay – 2024**

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

**Br: Aguilar Caillahua, Deyra Consuelo**

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Mayoría  
(Unanimidad o Mayoría) (\*)

Emitiéndose el calificativo final de:

| Bachiller (Apellidos y Nombres)          | Calificación (**) |
|--|-------------------|
| <b>Aguilar Caillahua, Deyra Consuelo</b> | <b>Aprobado</b>   |

Siendo las 10:09am horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mag. Huanca Astoquillca, Luis

Dictaminante: Ing. Cayo Baca, Holguer

Replicante: Dra. Vera Teves, Rosa Marina

Abancay 07 de enero del 2026

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 379

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES  
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559  
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565  
Filial Andahuaylas, Av. Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752  
[www.utea.edu.pe](http://www.utea.edu.pe)

(\*) Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.  
(\*\*) 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con distinción, Art. 18 RGGAT.

# Reporte de Similitud

## DEYRA CONSUELO AGUILAR CAILLAHUA AGUILAR CAILLAHUA\_DEYRA CONSUELO\_ INGENIERIA CIVIL\_ UTEA\_2025. FINAL ENEROderttt

Revisión-tesis-C/D

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:546253183

Fecha de entrega

14 ene 2026, 15:36 GMT-5

Fecha de descarga

14 ene 2026, 15:42 GMT-5

Nombre del archivo

AGUILAR CAILLAHUA\_DEYRA CONSUELO\_ INGENIERIA CIVIL\_ UTEA\_2025. FINAL ENEROderttt.docx

Tamaño del archivo

15.1 MB

166 páginas

29.689 palabras

171.759 caracteres



Página 1 de 187 - Portada

Identificador de la entrega trn:oid::3117:546253183



Página 2 de 187 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::3117:546253183

## 21% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

### Fuentes principales

- 16% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 17% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## Metadatos

| <b>Datos del Autor</b>                           |   |   |
|--|---|---|
| Apellidos y nombres                              | : | Aguilar Caillahua, Deyra Consuelo   |
| Tipo de Documento de Identidad                   | : | Documento Nacional de Identidad   |
| Número de Documento de Identidad                 | : | 71573614  |
| URL ORCID (opcional)                             | : | <a href="https://orcid.org/0009-0003-0134-3208">https://orcid.org/0009-0003-0134-3208</a>           |
| <b>Datos del Asesor</b>                          |   |   |
| Apellidos y nombres                              | : | Vázquez Ramírez, Abbon Alex   |
| Tipo de Documento de Identidad                   | : | Documento Nacional de Identidad   |
| Número de Documento de Identidad                 | : | 06532658  |
| URL ORCID (opcional)                             | : | <a href="https://orcid.org/0000-001-7299-5367">https://orcid.org/0000-001-7299-5367</a>             |
| <b>Datos de la investigación</b>                 |   |   |
| Facultad   | : | Ingeniería  |
| Escuela Profesional                              | : | Ingeniería Civil  |
| Línea de Investigación                           | : | Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible   |
| Rango de años en que se realizó la investigación | : | 1 año   |
| Fuente de financiamiento                         | : | Autofinanciada  |
| Porcentaje de originalidad                       | : | 21%   |
| URL de OCDE                                      | : | <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a> |

## **Dedicatoria**

A mi querido papá Leo y a mi amada mamá Carlota, quienes siempre han estado a mi lado con su amor incondicional y su apoyo inquebrantable. Gracias por guiarme, motivarme y creer en mí en cada paso de mi camino. Este logro es tan suyo como mío, y no hay palabras suficientes para expresar mi gratitud. Su confianza y sacrificio han sido fundamentales para alcanzar mis sueños. Los amo profundamente y este triunfo es un reflejo del amor y esfuerzo que siempre me han brindado.

## **Agradecimientos**

Expreso mi más sincero agradecimiento a mis padres, por su amor, esfuerzo y apoyo incondicional, pilares fundamentales en cada paso de mi vida. Gracias por brindarme no solo lo material, sino también la fuerza emocional para seguir adelante.

A mi asesor, gracias por su tiempo, paciencia y valiosa orientación durante el desarrollo de esta investigación. Su dedicación fue clave para culminar este trabajo.

A la universidad, mi gratitud por la formación recibida, por el compromiso de sus docentes y por brindarme un entorno de aprendizaje enriquecedor.

A todos ustedes, gracias de corazón. Con aprecio,  
Deyra Consuelo Aguilar Caillahua.

## Resumen

La presente tesis tuvo como propósito evaluar el diseño de la infraestructura vial y su incidencia en el nivel de riesgo, vulnerabilidad y peligro en la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco – Abancay. Para ello, se analizaron los elementos geométricos, estructurales y de drenaje de la vía, así como los factores geotécnicos que afectan su estabilidad. Se empleó una metodología de enfoque cuantitativo y descriptivo, utilizando técnicas de observación de campo, estudios topográficos, análisis geotécnicos y aplicación del protocolo de CENEPRED para la evaluación de susceptibilidad a deslizamientos y eventos sísmicos. Los resultados evidenciaron que la trocha carrozable presenta deficiencias significativas en su diseño geométrico, con pendientes excesivas ( $>10\%$ ) y radios de curvatura reducidos ( $<20$  m), lo que afecta la seguridad y transitabilidad. Asimismo, se identificó una alta vulnerabilidad estructural, con presencia de suelos de baja capacidad portante ( $\text{CBR} < 20\%$ ) y ausencia de sistemas de drenaje eficientes, lo que incrementa el riesgo de erosión y deslizamientos. La aplicación del protocolo de CENEPRED permitió zonificar áreas de alto peligro, confirmando que el 48% del tramo evaluado presenta un nivel de riesgo crítico. Se concluye que la infraestructura vial en estudio requiere intervenciones urgentes en su diseño y mantenimiento, incluyendo la estabilización de taludes, mejoramiento del pavimento y optimización del drenaje. La implementación de estrategias correctivas basadas en normativas técnicas contribuirá a garantizar la seguridad y sostenibilidad de la vía.

**Palabras clave:** diseño vial, vulnerabilidad, riesgo geotécnico, infraestructura vial, CENEPRED.

## Abstract

This thesis aimed to evaluate the design of road infrastructure and its impact on the levels of risk, vulnerability, and hazard in the Marcahuasi, Asillo, and Ayaorcco rural roads – Abancay. To achieve this, the geometric, structural, and drainage elements of the road were analyzed, as well as the geotechnical factors affecting its stability. A quantitative and descriptive methodological approach was used, applying field observation techniques, topographic surveys, geotechnical analyses, and the CENEPRED protocol for assessing susceptibility to landslides and seismic events. The results showed that the rural road presents significant deficiencies in its geometric design, with excessive slopes ( $>10\%$ ) and reduced curvature radii ( $<20$  m), which negatively affect safety and passability. Additionally, a high level of structural vulnerability was identified, with the presence of low bearing capacity soils ( $\text{CBR} < 20\%$ ) and the absence of efficient drainage systems, increasing the risk of erosion and landslides. The application of the CENEPRED protocol allowed for the zoning of high-hazard areas, confirming that 48% of the evaluated section presents a critical risk level. It is concluded that the studied road infrastructure requires urgent interventions in its design and maintenance, including slope stabilization, pavement improvement, and drainage optimization. The implementation of corrective strategies based on technical standards will contribute to ensuring the safety and sustainability of the road.

**Keywords:** road design, vulnerability, geotechnical risk, road infrastructure, CENEPRED.



## Índice

|   |           |
|---|-----------|
| Portada.....                                      | ii        |
| Acta de sustentación .....                        | ii        |
| Reporte de similitud .....                        | iii       |
| Metadatos .....                                   | iv        |
| Dedicatoria .....                                 | v         |
| Agradecimientos.....                              | vi        |
| Resumen .....                                     | vii       |
| Abstract .....                                    | viii      |
| Índice.....                                       | ix        |
| Índice de tablas.....                             | xi        |
| Índice de figuras .....                           | xii       |
| Índice de anexos .....                            | xiii      |
| <b>I. Introducción.....</b>                       | <b>14</b> |
| <b>II. Planteamiento del problema .....</b>       | <b>16</b> |
| 2.1. Descripción y formulación del problema ..... | 16        |
| 2.2. Objetivos.....                               | 19        |
| 2.2.1. Objetivo General.....                      | 19        |
| 2.2.2. Objetivos Específicos .....                | 19        |
| 2.3. Justificación e importancia .....            | 20        |
| 2.4. Hipótesis .....                              | 21        |
| 2.5. Operacionalización de variables .....        | 22        |

|   |     |
|---|-----|
| <b>III. Marco Teórico</b> .....         | 24  |
| 3.1. Antecedentes .....                 | 24  |
| 3.2. Bases teóricas .....               | 30  |
| 3.3. Definición de términos.....        | 63  |
| <b>IV. Metodología</b> .....            | 66  |
| 4.1. Tipo y nivel de investigación..... | 66  |
| 4.2. Ámbito temporal y espacial .....   | 66  |
| 4.3. Población y muestra.....           | 67  |
| 4.4. Instrumentos.....                  | 68  |
| 4.5. Procedimientos.....                | 69  |
| 4.6. Análisis de datos.....             | 69  |
| <b>V. Resultados</b> .....              | 70  |
| <b>VI. Conclusiones</b> .....           | 140 |
| <b>VII. Recomendaciones</b> .....       | 144 |
| <b>VIII. Referencias</b> .....          | 149 |
| <b>VII. Anexos</b> .....                | 152 |

## Índice de tablas

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 1.</b> Cuadro de operacionalización de variables .....                        | 23  |
| <b>Tabla 2.</b> Datos de los tramos de la trocha carrozable .....                      | 70  |
| <b>Tabla 3.</b> Parámetros del diseño geométrico.....                                  | 78  |
| <b>Tabla 4.</b> Radios de curvas.....  | 78  |
| <b>Tabla 5.</b> Pendientes.....  | 79  |
| <b>Tabla 6.</b> Estructura del pavimento .....   | 82  |
| <b>Tabla 7.</b> Volumen de tránsito .....  | 84  |
| <b>Tabla 8.</b> Propiedades geotécnicas de Marcahuasi.....                             | 87  |
| <b>Tabla 9.</b> Datos Geotécnicos de Asillo .....                                      | 92  |
| <b>Tabla 10.</b> Datos Geotécnicos de Ayaorcco.....                                    | 96  |
| <b>Tabla 11.</b> Composición del suelo .....   | 99  |
| <b>Tabla 12.</b> Ensayo CBR .....  | 100 |
| <b>Tabla 13.</b> Prueba de placa de carga .....  | 101 |
| <b>Tabla 14.</b> Precipitaciones anuales promedio .....                                | 106 |
| <b>Tabla 15.</b> Precipitaciones mensuales promedio.....                               | 107 |
| <b>Tabla 16.</b> Precipitaciones máximas .....   | 109 |
| <b>Tabla 17.</b> Niveles de riesgo .....   | 122 |
| <b>Tabla 18.</b> Indicadores técnicos para evaluación de la infraestructura vial ..... | 127 |
| <b>Tabla 19.</b> Evaluación técnica de la propuesta.....                               | 130 |
| <b>Tabla 20.</b> Matriz de riesgo.....   | 132 |

## Índice de figuras

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 1.</b> Visualización satelital de la trocha carrozable.....            | 71  |
| <b>Figura 2.</b> Diagrama del clima de Abancay.....                              | 72  |
| <b>Figura 3.</b> Diagrama de temperaturas de Abancay.....                        | 74  |
| <b>Figura 4.</b> Curva granulométrica de Marcahuasi.....                         | 88  |
| <b>Figura 5.</b> Curva granulométrica de Asillo.....                             | 94  |
| <b>Figura 6.</b> Curva granulométrica de Ayaorcco.....                           | 97  |
| <b>Figura 7.</b> Sección del mapa geológico del cuadrángulo de Abancay 28q... .. | 104 |

## Índice de Anexos

|   |     |
|---|-----|
| <b>Anexo 1.</b> Matriz de Consistencia .....                    | 154 |
| <b>Anexo 2.</b> Matriz de Operacionalización de variables ..... | 155 |
| <b>Anexo 3.</b> Informe de Ensayo.....                          | 156 |
| <b>Anexo 4.</b> Informe de Ensayo.....                          | 158 |
| <b>Anexo 5.</b> Informe de Ensayo.....                          | 160 |
| <b>Anexo 6.</b> Panel Fotográfico.....                          | 162 |
| <b>Anexo 7.</b> Encuesta de Vulnerabilidad y Peligro... ..      | 167 |

## **I. Introducción**

El desarrollo de infraestructura vial es un pilar fundamental para la integración territorial, la dinamización económica y la mejora en la calidad de vida de las poblaciones rurales. Sin embargo, en regiones con características geográficas complejas, como la zona de Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco – Abancay, la planificación y construcción de vías de comunicación enfrentan desafíos significativos asociados a la geodinámica del terreno, las condiciones climatológicas adversas y la disponibilidad de materiales locales. En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el diseño de la infraestructura vial en la trocha carrozable de la zona de estudio, analizando su incidencia en los niveles de riesgo, vulnerabilidad y peligro, con el propósito de proponer estrategias de mitigación y optimización estructural.

La trocha carrozable Marcahuasi – Asillo – Ayaorcco – Abancay constituye una vía de vital importancia para la conectividad intercomunal, facilitando el transporte de productos agrícolas, el acceso a servicios básicos y la movilidad de la población local. No obstante, su ubicación en una región de topografía accidentada, caracterizada por pendientes pronunciadas, suelos de mediana a baja capacidad portante y una alta exposición a precipitaciones intensas, ha generado problemas recurrentes de erosión, deslizamientos y pérdida de la transitabilidad, afectando la seguridad y eficiencia del camino.

Desde una perspectiva geotécnica y estructural, el comportamiento del afirmado y las capas de la trocha carrozable dependen en gran medida de las propiedades del suelo subyacente, el sistema de drenaje implementado y las cargas vehiculares que soporta la vía. Estudios previos han demostrado que, en sectores con altos niveles de humedad y suelos arcillosos, el tráfico vehicular genera deformaciones plásticas, pérdida de material y la formación de cárcavas, lo que incrementa la necesidad de mantenimiento constante y encarece la sostenibilidad de la infraestructura vial.

En términos de gestión del riesgo, la identificación de zonas críticas en la trocha carrozable resulta fundamental para la implementación de medidas preventivas y correctivas que minimicen los impactos de los desastres naturales y los efectos del tránsito sobre la infraestructura vial. (Mendoza, 2018)

La evaluación del nivel de peligro se realiza a partir del análisis de las amenazas geodinámicas presentes en la zona, tales como deslizamientos, hundimientos y procesos de erosión acelerada, mientras que la vulnerabilidad se determina con base en la resistencia estructural del pavimento, la estabilidad de los taludes y la eficiencia del sistema de drenaje. (Hernández, 2018)

En este sentido, la presente tesis adopta una metodología integral que combina análisis de campo, ensayos de laboratorio y modelado de riesgo, con el fin de proporcionar una caracterización detallada del estado actual de la infraestructura vial y su interacción con las condiciones geotécnicas y ambientales de la zona de estudio. A través de esta evaluación, se busca generar un marco técnico-científico que sirva de base para la toma de decisiones en la mejora del diseño y mantenimiento de la trocha carrozable, con miras a garantizar su funcionalidad y reducir los niveles de vulnerabilidad frente a fenómenos adversos. (CENEPRED, 2014)

Finalmente, la tesis busca aportar al desarrollo de una infraestructura resiliente, mediante soluciones de ingeniería adaptadas a la región y alineadas con los lineamientos del (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2013) y las normativas de gestión del riesgo de (CENEPRED, 2014) los resultados permitirán formular recomendaciones técnicas que mejoren la seguridad, durabilidad y eficiencia de la trocha carrozable Marcahuasi – Asillo – Ayaorcco – Abancay, fortaleciendo así la infraestructura vial como eje del desarrollo sostenible regional.

## **II. Planteamiento del problema**

### **2.1. Descripción y formulación del problema**

#### **Descripción**

A nivel internacional existen múltiples riesgos ocasionados por peligros de origen naturales, socio-naturales y antrópicos que afectan negativamente la sostenibilidad de las infraestructuras viales como el desarrollo económico. Las carreteras y vías son los pilares para el desarrollo de la población un país, estas muchas veces se encuentran expuestas a múltiples riesgos lo que originan el deterioro estructural y funcional acelerado de la infraestructura en su totalidad. Por ello es imprescindible estimar los riesgos y peligros para dar solución a dicha problemática, el cual será utilizado como instrumento de medición de las buenas prácticas sostenibles de construcción y mantenimiento de las carreteras. (Suárez, Paucar y, 2018).

En la dos últimas décadas, las trochas carrozables han sido la principal vía de acceso en zonas rurales del Perú, pero enfrentan serios problemas de mantenimiento deficiente y frecuencia de deslizamientos. La mayoría no cuenta con drenaje adecuado, señalización ni protección contra fenómenos naturales, las lluvias intensas, suelos inestables y la falta de intervenciones técnicas han generado interrupciones frecuentes, asilamiento de comunidades, pérdida de cultivo y riesgo para la vida. A pesar de programas como Provias Rural la falta de sostenibilidad en el mantenimiento y la inadecuada gestión de riesgos siguen siendo desafíos críticos para estas infraestructuras. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2013)

En 2014, el CENEPRED publicó un manual para la evaluación de riesgos por fenómenos naturales, que establece un procedimiento basado en criterios múltiples según la ubicación de la infraestructura. Las ponderaciones de los indicadores se determinan mediante el análisis jerárquico, donde se tiene una metodología que permite valorar y priorizar de manera objetiva los



factores de riesgo. Esta técnica resulta clave para el desarrollo de la presente tesis, ya que facilita una evaluación estructura y precisa, contribuyendo al logro de los objetivos frente a una problemática recurrente en las infraestructuras viales rurales.

Las comunidades en la presente tesis cuentan con una trocha carrozable en mal estado, con deterioro progresivo, por lo que esta situación limita el transporte de personas y bienes, afectando sus actividades económicas y la falta de mantenimiento. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2013). La sostenibilidad y funcionalidad de las infraestructuras viales son fundamentales para el desarrollo económico y social de las comunidades, especialmente en áreas rurales donde las vías de comunicación son esenciales para la integración y la productividad. Sin embargo, a nivel nacional, estas infraestructuras enfrentan riesgos significativos derivados de peligros naturales, socio-naturales y antrópicos, lo que genera un deterioro acelerado y afecta negativamente su capacidad de cumplir con los objetivos para los que fueron diseñadas. En este contexto, se hace imprescindible evaluar y gestionar dichos riesgos para garantizar la seguridad, la funcionalidad y la sostenibilidad de las infraestructuras viales. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2013)

El caso particular de las trochas carrozables en las comunidades de Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco, de la provincia de Abancay, evidencia esta problemática. Estas vías presentan condiciones de deterioro que dificultan el tránsito vehicular y peatonal, limitando el transporte de bienes y servicios, así como el desarrollo de actividades agropecuarias y económicas, fundamentales para la subsistencia de la población local. La falta de un diseño adecuado que considere los estándares establecidos en el Manual de Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito (Manual de Carreteras, Diseño Geométrico, 2018) ya que expone las vías a mayores riesgos asociados a la topografía, las condiciones climáticas adversas y la deficiente conservación de la infraestructura.

En los últimos años, la intensificación de la construcción de infraestructuras viales no ha sido acompañada por mejoras sustanciales en su calidad o sostenibilidad. Las deficiencias en el trazo geométrico, la inadecuada evacuación de aguas pluviales y la falta de medidas de mitigación de riesgos han dado lugar a pérdidas económicas y sociales significativas. Según (Paucar y Suárez, 2018), estas deficiencias reflejan la necesidad urgente de adoptar un enfoque integral que combine la identificación y evaluación de riesgos con la implementación de prácticas sostenibles de diseño y mantenimiento.

En este marco, el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgos de Desastres (CENEPRED, 2014) ofrece herramientas valiosas, como el manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, que permite identificar y ponderar factores de riesgo mediante análisis jerárquicos. Estas metodologías son esenciales para orientar la planificación y ejecución de intervenciones que mitiguen los riesgos y mejoren la resiliencia de las infraestructuras viales.

La trocha carrozable del sector de Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco es una prioridad de unión para la comunicación entre comunidades. Su mantenimiento requiere corregir el trazo geométrico según el Manual de Diseño de Caminos no Pavimentados (Manual de Carreteras, Diseño Geométrico, 2018), mejorar la superficie de rodadura y optimizar la evacuación de aguas, considerando los puntos obligados de paso identificados en el estudio.

Por lo tanto, en la presente tesis se plantea la identificación, evaluación de riesgos, peligros y vulnerabilidad a la problemática recurrente de las trochas carrozables en Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco. Este enfoque no solo busca mejorar las condiciones de vida de las comunidades beneficiarias, sino también establecer un marco de referencia para la gestión de riesgos en infraestructuras similares, garantizando su durabilidad y adaptabilidad frente a desafíos futuros.

## **Formulación del problema de investigación**

### **Problema general**

➤ ¿Cuál es el nivel de riesgo asociado al diseño de la infraestructura vial en la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco-Abancay- 2024?

### **Problemas específicos**

➤ ¿Qué nivel de peligro presenta la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco-Abancay, según CENEPRED?

➤ ¿Qué nivel de Vulnerabilidad presenta la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco-Abancay, según CENEPRED?

➤ ¿Cómo aplicar el manual de CENEPRED para la estimación de los riesgos del diseño de infraestructura vial de la trocha carrozable ante la ocurrencia de deslizamientos y eventos sísmicos?

## **2.2. Objetivos**

### ***2.2.1. Objetivo general***

Evaluar el diseño de infraestructura vial y su incidencia en el nivel de riesgo en la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco-Abancay- 2024.

### ***2.2.2. Objetivos específicos***

➤ Determinar el nivel de peligro que presenta la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco-Abancay.

➤ Determinar el nivel de vulnerabilidad que presenta la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco-Abancay.

➤ Analizar el manual de CENEPRED para la estimación de los riesgos del diseño de infraestructura vial de la trocha carrozable ante la ocurrencia de deslizamientos y eventos sísmicos.

### **2.3. Justificación e importancia**

La presente tesis se justifica por su relevancia teórica, y metodológica en el contexto de la evaluación de riesgos en infraestructuras viales rurales. Desde el enfoque teórico, se sustenta en marcos interdisciplinarios que integran conceptos de la ingeniería civil, la gestión de riesgos y desastres, la sostenibilidad ambiental y el desarrollo territorial. La gestión de riesgos, según el (CENEPRED, 2014) abarca la identificación, análisis y mitigación de factores que afectan la funcionalidad y seguridad de las vías, mientras que la vulnerabilidad se entiende como la susceptibilidad de estas infraestructuras a sufrir daños en función de su diseño, materiales, ubicación y mantenimiento.

Este estudio considera también teorías como el análisis de vulnerabilidad (Cardona, 2001), el diseño resiliente (Ahern, 2011) y el desarrollo territorial sostenible, que aportan fundamentos para evaluar variables técnicas como el trazo geométrico, la capacidad de drenaje y la interacción con el entorno. Asimismo, se adoptan estándares técnicos como el Manual de Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito y la Norma DG-2018, que promueven soluciones adaptadas a contextos locales y sostenibles.

Desde la dimensión práctica, en la presente tesis responde a una problemática real que afecta a las comunidades rurales de Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco, en la región de la provincia de Abancay. El mal estado de sus trochas carrozables limita el acceso a servicios básicos, encarece el transporte y obstaculiza el desarrollo de actividades agropecuarias, generando exclusión social y económica. Al evaluar la relación entre el diseño de la infraestructura y los niveles de riesgo,

peligro y vulnerabilidad permitirá proponer medidas de mitigación concretas, mejorar la funcionalidad de las vías y fortalecer la resiliencia comunitaria.

Metodológicamente, la presente tesis se basa en un enfoque cualitativo (entrevistas y encuestas), lo cual garantiza un análisis integral y contextualizado. El diseño no experimental y transversal de la presente tesis resulta apropiado para describir y evaluar la situación sin intervenir directamente en el entorno, respetando así la ética investigativa y analizando la metodología de aplicación de formularios estandarizados con fines diagnósticos.

En síntesis, esta investigación es pertinente y necesaria, ya que ofrece una base conceptual sólida, donde se atiende una necesidad concreta de las comunidades estudiadas y aplica un enfoque metodológico cualitativo. Donde sus resultados contribuirán al diseño de infraestructuras más seguras, sostenibles y resilientes, promoviendo el desarrollo territorial y mejorando la calidad de vida en zonas rurales con condiciones similares.

## **2.4. Hipótesis**

### ***Hipótesis General***

- El nivel de riesgo, vulnerabilidad y peligro del diseño de infraestructura vial en la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco-Abancay-2024 es alto.

### ***Hipótesis Específicas***

- El nivel de peligro que presenta la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco - Abancay es alto.
- El nivel de vulnerabilidad que presenta la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco-Abancay es alto.

- La aplicación de la metodología del protocolo de CENEPRED permitirá evaluar las zonas susceptibles de la trocha carrozable ante la ocurrencia de deslizamientos y eventos sísmicos.

## **2.5. Operacionalización de variables**

### **Variable independiente (VI):**

Diseño de infraestructura Vial

### **Variable dependiente (VD):**

Nivel de Peligro y Vulnerabilidad

**Tabla 1***Cuadro de operacionalización de variables*

| <b>Variable</b>  | <b>Dimensión Conceptual</b>   | <b>Dimensión Operacional</b>  | <b>Dimensiones</b>                                | <b>Indicadores</b>   | <b>Instrumento de Medición</b>  | <b>Escala de Medición</b>                    |
|--|---|---|---|--|---|--|
| <b>V. Independiente</b><br><b>Diseño de Infraestructura Vial</b> | Conjunto de estudios y parámetros técnicos para la planificación, construcción y mantenimiento de vías. | Evaluación y aplicación de principios de ingeniería para garantizar eficiencia y seguridad en la infraestructura vial.  | <b>D1 Infraestructura vial</b>                    | Radio curvatura,<br>Pendiente Long,<br>Pendiente Trans,<br>Drenajes,   | Informes técnicos, encuestas a expertos   | Nominal / Ordinal                            |
| <b>V. Dependiente</b><br><b>Nivel de Riesgo</b>                  | Conjunto de amenazas y condiciones que pueden comprometer la estabilidad y seguridad de una vía.        | Evaluación de factores geotécnicos, ambientales y estructurales que inciden en la seguridad de la infraestructura vial. | <b>D2 Peligro</b><br><br><b>D3 Vulnerabilidad</b> | Estudio de mecánica de suelos, Pendientes del terreno, Fallas activas en los taludes<br><br>Fragilidad del terreno, Daño al ambiente | Estudios geotécnicos, inspecciones de campo<br><br>Modelos de vulnerabilidad, informes de impacto ambiental | Nominal / Ordinal<br><br>Ordinal / Intervalo |

*Nota.* En la tabla se muestra la relación entre el diseño de infraestructura vial y los factores de riesgo, vulnerabilidad y peligro, a través de dimensiones técnicas y ambientales. Cada aspecto se evalúa con instrumentos especializados y escalas de medición apropiadas, permitiendo analizar su impacto en zonas rurales.

### **III. Marco teórico**

#### **3.1. Antecedentes**

Silva S, (2021) para optar el grado de Maestro en la presente tesis “Índice de Sostenibilidad con Incorporación del Nivel de Riesgo de la Carretera Chongoyape – Cochabamba – Cajamarca, tramo Cochabamba – Chota”, tiene como propósito central determinar cómo el riesgo influye en la sostenibilidad de las infraestructuras viales. Silva aborda la problemática de que los proyectos viales, especialmente en regiones con alta exposición a peligros naturales, no incorporan adecuadamente el análisis del riesgo en sus evaluaciones de sostenibilidad, lo que genera vulnerabilidad en la infraestructura a largo plazo. El principal objetivo de la metodología de la presente tesis fue establecer un índice de sostenibilidad que incluyera el nivel de riesgo asociado a la carretera mencionada. Con sus resultados, se llevó a cabo fichas técnicas de campo entre 2018 y 2019, aplicando un diseño descriptivo cuantitativo. Entre las técnicas de recolección de datos se incluyeron la revisión documental, observación estructurada y el método Delphi, mediante el cual se aplicaron cuestionarios estructurados a especialistas en infraestructura vial. Estos cuestionarios utilizaron la escala de Satty, la cual proporcionó resultados validados y confiables. Las conclusiones obtenidas muestran que existe una correlación inversa entre el riesgo y la sostenibilidad de la carretera. Es decir, a mayor nivel de riesgo, menor es el índice de sostenibilidad. Silva determinó que el índice de sostenibilidad de la carretera Cochabamba – Chota fue de 2.453 en su primer año de operación (2015), con un alto nivel de deterioro, y que este índice se proyecta a descender a 1.783 para 2034, lo que indicaría un colapso de la infraestructura vial. Este análisis refleja la necesidad de incorporar de manera sistemática el nivel de riesgo en la evaluación de la sostenibilidad de infraestructuras viales, pues los factores desencadenantes, como la lluvia y la pendiente del terreno, juegan un papel determinante en la vulnerabilidad de la



infraestructura. La recomendación de la presente tesis se aplicó bajo el enfoque metodológico propuesto, que combina la evaluación de sostenibilidad vial con herramientas de análisis multicriterio para usarlo como análisis jerárquico para el estudio de infraestructuras viales en regiones vulnerables. Asimismo, se sugiere adaptar el modelo planteado por (Silva, 2021) como una guía referencial para fortalecer la toma de decisiones en la planificación, diseño y mantenimiento de la red vial rural, priorizando su residencia y sostenibilidad frente a amenazas naturales.

Reyna, (2023) para optar el título profesional en la presente tesis "Fallas y riesgos en la construcción de carretera a nivel trocha carrozable Huampo, Pucasiniega, Cochapata, Yuragmarca, Nueva Esperanza, provincia de Ambo - Huánuco segunda etapa, 2022", donde desarrolló una investigación (Reyna, 2023), enfocada en la mejora de la infraestructura vial con el objetivo principal de determinar los fallos y riesgos asociados a la construcción de una trocha carrozable en diversas localidades de la provincia de Ambo, en la región de Huánuco. La presente tesis busca, en última instancia, mejorar la calidad de vida de los habitantes mediante una adecuada planificación y ejecución de proyectos viales que permitan un tránsito más eficiente y seguro. El objetivo general de la presente tesis fue identificar las fallas y riesgos que afectaron la construcción de la carretera, los cuales se abordaron mediante un análisis técnico que incluía factores como las precipitaciones pluviales, la topografía diversa y las características del suelo en la zona de estudio. Se evaluaron riesgos naturales y provocados, tales como deslizamientos de tierra y sismos, y se propusieron medidas para mitigar sus efectos en la infraestructura vial. En cuanto a la metodología se utilizó técnicas de recolección de datos, se utilizó la verificación de documentos, estudios y reglamentos relacionados con la construcción vial, junto con pruebas de laboratorio sobre el tipo de suelo. Para los estudios topográficos, se emplearon herramientas como estaciones totales,

brújulas y GPS, complementadas con fichas de observación. Los procedimientos incluyeron un exhaustivo análisis de sensibilidad sobre las condiciones del terreno y los materiales presentes, como áreas semi-rocosas y rocosas, así como la clasificación del suelo en función de su composición y características. Las conclusiones de la investigación destacan que, a pesar de las adversidades climáticas y topográficas, la construcción de la trocha carrozable fue posible mediante la adecuada planificación y adaptación a las condiciones locales. Se logró preservar las inversiones en la obra y se garantizaron las condiciones necesarias para mantener la transitabilidad a lo largo del año, minimizando las interrupciones en el flujo vehicular. Asimismo, el estudio concluyó que la culminación de la obra mejorará la economía de la región, facilitando el transporte de productos agrícolas y ganaderos, además de promover el desarrollo de la comunidad. La recomendación en la presente tesis de (Reyna, 2023) es un antecedente relevante para el estudio en curso, ya que ambos abordan la evaluación de riesgos y fallos en la construcción vial rural. Resalta la importancia de una adecuada planificación, estudios topográficos y análisis de suelo para garantizar la durabilidad de las vías. Además, destaca cómo las medidas de mitigación de riesgos mejoran la calidad de vida en las zonas de influencia.

Carrillo, (2015) para optar el título profesional en la presente tesis "Evaluación de Zonas Susceptibles a Movimientos en Masa del Tipo Deslizamiento en el Centro Poblado de Carampa, Distrito de Pazos, Provincia de Tayacaja, Región Huancavelica, aplicando El Protocolo de CENEPRED", realiza una exhaustiva evaluación de las zonas susceptibles a movimientos en masa del tipo deslizamiento en el centro poblado de Carampa, distrito de Pazos, provincia de Tayacaja, en la región Huancavelica, utilizando el protocolo de CENEPRED. Este estudio se centra en la caracterización geológica y geotécnica del área, con el objetivo de identificar los factores que aumentan la vulnerabilidad de la zona a deslizamientos y establecer estrategias de mitigación. El

objetivo principal de la presente tesis de Carrillo es caracterizar la dinámica del deslizamiento y estimar la peligrosidad del área mediante la aplicación del protocolo de CENEPRED, que sirve para la delimitación de zonas susceptibles a deslizamientos. Además, se plantean objetivos específicos como el análisis de la estabilidad de taludes y la utilización de técnicas de investigación geológica como la geotecnia y geofísica. El estudio, a través del programa de computación SLIDE, permite un análisis de la estabilidad de la ladera, lo que resulta clave para determinar el nivel de riesgo que enfrenta la población. La metodología de recolección de datos consistió en una combinación de estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos, así como en la revisión de información cartográfica y el uso de programas de software para análisis de estabilidad. Se realizaron campañas de campo con la apertura de calicatas y ensayos de corte directo para determinar las características físicas de los suelos. Además, se llevaron a cabo seis sondeos eléctricos verticales (SEVs) para conocer la profundidad del nivel freático y la estratigrafía del subsuelo. El resultado de C.P. Carampa según (Carrillo, 2015) se encuentra asentada sobre una ladera inestable, afectada por un deslizamiento activo de tierra. Esta inestabilidad se debe a los factores morfológicos, geológicos, geotécnicos e hidrológicos, sumado a las lluvias intensas que saturan los suelos de baja cohesión. El área presenta un relieve escarpado y suelos granulares con planos de falla geológica que alcanzan un basamento rocoso donde se evidencia alto riesgo activo desde el 2013 en la zona de C.P. Carampa. Las conclusiones de (Carrillo, 2015) según el análisis de estabilidad de taludes indican condiciones desfavorables, agravadas por las lluvias y actividades humanas como el riego inadecuado. Además, los suelos granulares limosos, al saturarse con agua, forman planos de falla que favorecen el deslizamiento. Según (Carrillo, 2015) recomienda implementar un sistema de drenaje adecuado (cunetas) para controlar las escorrentías en la zona urbana, revestir con concreto el cauce de las cárcavas para evitar la erosión, y reemplazar el riego

tradicional por uno tecnificado en las áreas agrícolas para reducir la saturación del suelo. Además, se recomienda construir un muro de contención en el pie del deslizamiento, para evitar la deforestación y la siembra de eucaliptos en la ladera media, y realizar perforaciones geotécnicas en la zona más susceptible con el fin de evaluar la permeabilidad y las propiedades geomecánicas del terreno.

Este estudio es relevante para la presente tesis en desarrollo sobre la evaluación del diseño de infraestructura vial y su incidencia en el nivel de riesgo, vulnerabilidad y peligro en la trocha carrozable de Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco, en Abancay. Para (Carrillo, 2015) ofrece un marco teórico valioso al proporcionar una metodología rigurosa para la evaluación de áreas vulnerables, que puede adaptarse al análisis de infraestructura vial en zonas con características geológicas y climáticas similares. Además, su enfoque en la identificación de factores condicionantes y desencadenantes de deslizamientos puede ser de gran utilidad para desarrollar estrategias de mitigación y gestión del riesgo en el contexto de la presente investigación.

Fierro, (2023) para optar el título profesional en la presente tesis "Evaluación de riesgos ante deslizamiento de taludes en el diseño geométrico del camino vecinal Pampahuasi - Huariños - Santa Virginia, distrito de Panao, provincia de Pachitea - Huánuco", tuvo como objetivo evaluar el nivel de riesgo presente en este camino vecinal debido al fenómeno de deslizamiento de taludes. La tesis fue de carácter no experimental con un enfoque cuantitativo y nivel descriptivo. A través del análisis de riesgo, fundamentado en factores desencadenantes y condicionantes, y la valoración de la vulnerabilidad mediante el análisis jerárquico multicriterio del CENEPRED, se estudió un tramo de 37.89 kilómetros de la carretera. El objetivo general del estudio fue determinar el nivel de riesgo presente en el camino vecinal debido a los deslizamientos de taludes, mientras que los objetivos específicos incluyeron la identificación de áreas expuestas a fenómenos naturales, el

análisis de las pendientes del terreno y la evaluación de la vulnerabilidad del área. Para ello, se utilizó la metodología a través de un enfoque cualitativo por medio de técnicas como recolección de datos, análisis documental basado en información proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), estaciones meteorológicas y el Censo Nacional de 2017. Se complementó con indagación directa a través de visitas de campo a lo largo del camino. En cuanto a los procedimientos, se evaluaron las características físicas de la zona de estudio, tomando como principal factor de análisis las pendientes del terreno, cuyo impacto resultó "Alto" en los cálculos de peligrosidad. La metodología se basó en el análisis multicriterio del CENEPRED, permitiendo identificar las áreas más susceptibles a deslizamientos. También se incluyó la evaluación de vulnerabilidades, considerando que los elementos expuestos, como la propia vialidad, representaban una amenaza para la población por la interrupción del servicio de tránsito. La presente tesis según (Fierro, 2023) tuvo como resultado el análisis aplicado donde nos proporciona resultados para obtener el nivel de riesgo con un factor de seguridad menor a 1.25 valor por debajo del mínimo normativo. Donde se resalta la vulnerabilidad del área debido a la afectación directa de la vía y se destaca como principal medida el implementar obras de drenaje (cunetas) como medidas clave de mitigación para preservar la estabilidad de taludes y garantizar la funcionalidad de la infraestructura vial. Se concluyó que el riesgo en el área era "Alto", comprobado mediante un análisis estructural que reveló un factor de seguridad menor a 1.25, incumpliendo los criterios normativos de seguridad. (Fierro, 2023) recomienda medidas de mitigación basadas en el control de las pendientes de los taludes y la incorporación de sistemas de drenaje para evacuar las aguas pluviales buscando mejorar transitabilidad y reducir el riesgo de deslizamientos que es esencial para población rural dedicada a la agricultura y ganadería.

En relación a la presente tesis en curso, este antecedente resulta de gran utilidad. Ambas investigaciones comparten un enfoque en la evaluación de riesgos en infraestructuras viales rurales, centradas en deslizamientos de taludes y su impacto en la seguridad y operatividad de las vías. El trabajo referenciado ofrece un marco metodológico que puede aplicarse al análisis de riesgos en la trocha carrozable de Marcahuasi, en particular en cuanto al uso del método del CENEPRED y la valoración de peligrosidad y vulnerabilidad. Esto amplía la perspectiva del diseño geométrico de la carretera al incorporar un enfoque de mitigación de riesgos estructurales en contextos vulnerables y propensos a desastres naturales.

## **3.2. Bases teóricas**

### ***3.2.1. La planificación de gestión de riesgos en proyectos***

La planificación de la gestión de riesgos en proyectos busca anticipar, evaluar y mitigar eventos inciertos que puedan afectar sus objetivos. Según el PMI, incluye identificar riesgos, analizarlos y definir respuestas. Utiliza herramientas como matrices de riesgo, análisis de proceso jerárquico. Donde su enfoque busca reducir incertidumbre y fortalecer la resiliencia del proyecto. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2013)

### ***3.2.2. Infraestructura vial***

La infraestructura vial se refiere al conjunto de obras, instalaciones y servicios que permiten el transporte eficiente y seguro de personas y mercancías a través de caminos, carreteras y vías de transporte terrestre. Es un elemento esencial para el desarrollo socioeconómico de cualquier región, ya que facilita la conectividad entre diferentes áreas, reduce costos de transporte, mejora la accesibilidad a servicios básicos como salud y educación, y estimula el crecimiento económico de Acuerdo al (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2013)

La infraestructura vial comprende el conjunto de elementos físicos destinados al transporte terrestre, como caminos, carreteras y puentes. Su base teórica se apoya en principios de ingeniería civil, planificación territorial y sostenibilidad, considerando factores como capacidad de carga, diseño geométrico, materiales, impacto ambiental y conectividad. Además, incorpora normativas técnicas (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2013) y criterios de funcionalidad, seguridad y eficiencia para garantizar su operatividad y durabilidad en distintos contextos geográficos y sociales.

1. Conectividad y accesibilidad: Las carreteras y caminos permiten la conexión entre centros urbanos, áreas rurales y fronteras, facilitando el acceso a servicios básicos como salud, educación y comercio. En zonas rurales o aisladas, donde las distancias son mayores y los medios de transporte son limitados, una buena infraestructura vial es clave para asegurar la integración de estas áreas con el resto del país.

2. Desarrollo económico: Las vías de transporte eficientes reducen los costos asociados con el movimiento de bienes y personas, lo que favorece el comercio y la inversión. La infraestructura vial facilita el acceso a mercados más amplios, optimizando la cadena de suministro y fortaleciendo la competitividad, especialmente en los sectores agrícolas.

3. Reducción de tiempos de viaje: Las mejoras en la infraestructura vial contribuyen a reducir los tiempos de viaje, lo que se traduce en una mayor productividad para los trabajadores y un ahorro de costos tanto en términos económicos como en consumo de energía. Además, una mejor infraestructura vial reduce la congestión, lo que disminuye los accidentes y los impactos ambientales asociados con el transporte, como las emisiones de gases contaminantes.

4. Calidad de vida: Un sistema vial adecuado mejora la calidad de vida de las personas al facilitar su movilidad y acceso a servicios esenciales, reducir los tiempos de viaje y aumentar la seguridad en las vías. Esto tiene un efecto positivo en el bienestar de las poblaciones rurales y urbanas, contribuyendo a una mayor cohesión social y movilidad laboral.

5. Seguridad vial: Un diseño adecuado de la infraestructura vial es crucial para garantizar la seguridad de los usuarios. Elementos como una correcta señalización, la presencia de barreras de seguridad, el diseño geométrico apropiado de las curvas y pendientes, y la iluminación adecuada pueden reducir significativamente los accidentes de tráfico.

### ***3.2.3. Componentes de la infraestructura vial***

En correspondencia a lo establecido por el (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2013) la infraestructura vial se compone de diversos elementos técnicos y operativos, los cuales son esenciales para asegurar su funcionalidad y seguridad. Estos componentes incluyen:

1. Carreteras: Constituyen el eje principal de la infraestructura vial y pueden clasificarse en diferentes tipos según su función y capacidad de carga. Existen carreteras principales, secundarias y terciarias, que se diferencian por su nivel de uso y la importancia estratégica que tienen para la movilidad y el desarrollo regional.

➤ **Carreteras primarias:** Son las principales arterias de una red vial, utilizadas para el transporte interprovincial o internacional, y conectan grandes ciudades o centros industriales.

➤ **Carreteras secundarias:** Conectan áreas urbanas de menor tamaño con las principales rutas viales o zonas más desarrolladas.

➤ **Carreteras terciarias o caminos rurales:** Estas vías son esenciales para conectar zonas rurales con los mercados regionales o nacionales y suelen ser caminos de menor capacidad.



### **3.2.4. Tipos de infraestructuras viales**

La infraestructura vial varía según su ubicación, función y características. A continuación, se mencionan algunos de los tipos más comunes según Blanco, (2020)

1. Carreteras pavimentadas: Son las vías con una superficie de rodadura rígida o flexible, construidas con asfalto o concreto. Estas carreteras son más duraderas y adecuadas para el tráfico pesado o el uso frecuente, aunque requieren un mayor costo de construcción y mantenimiento.

2. Trochas carrozables: Son caminos no pavimentados, utilizados principalmente en áreas rurales o de bajo tráfico. Su principal ventaja es el bajo costo de construcción, aunque su capacidad de carga y durabilidad suelen ser limitadas, lo que requiere un mantenimiento más frecuente, especialmente en regiones con condiciones climáticas adversas.

3. Caminos vecinales: Estos son caminos que conectan áreas rurales con otras vías más grandes o centros poblados. Son esenciales para asegurar la accesibilidad de los agricultores y pobladores de zonas alejadas, facilitando el transporte de productos y el acceso a servicios básicos.

#### **➤ El diseño geométrico vial**

Es un componente esencial en la planificación y construcción de las carreteras, ya que tiene como objetivo principal garantizar que las vías sean seguras, funcionales y eficientes. De acuerdo Manual de Diseño de Carreteras, (2018) este diseño involucra una serie de decisiones técnicas relacionadas con la disposición física de las carreteras, sus dimensiones, la ubicación de curvas, pendientes, intersecciones y otros elementos cruciales que determinan la experiencia del usuario al transitar por ellas. La forma en que se diseñan estos aspectos geométricos tiene un impacto directo en la seguridad vial, la eficiencia del tránsito y la durabilidad de la infraestructura.

➤ *Naturaleza del diseño geométrico vial*

El diseño geométrico de una carretera no es un proceso aleatorio o basado únicamente en criterios estéticos; más bien, es el resultado de un análisis técnico exhaustivo que toma en cuenta factores físicos, topográficos, climáticos, de seguridad y de comportamiento del tráfico. Uno de los principios clave del diseño geométrico es que la carretera debe adaptarse lo mejor posible al entorno natural, minimizando tanto los costos de construcción como los impactos ambientales. Sin embargo, esto debe hacerse sin comprometer la seguridad o la eficiencia operativa de la vía adaptado por Blanco, (2020) las decisiones tomadas durante la fase de diseño influyen en cómo se moverán los vehículos a lo largo de la carretera. Por ejemplo, la forma de las curvas y las pendientes debe ser tal que permita a los conductores maniobrar con facilidad y de manera segura.

De igual forma, el ancho de los carriles, los hombros y las bermas deben diseñarse de manera que puedan acomodar el flujo de tráfico previsto, los tipos de vehículos que utilizarán la carretera y las posibles emergencias que pudieran surgir, como la necesidad de detenerse en caso de averías. (Blanco, 2020)

Un diseño geométrico bien planificado también toma en cuenta el comportamiento humano. Los conductores deben ser capaces de anticipar las condiciones de la carretera y reaccionar de manera adecuada ante las situaciones que se les presenten (Manual de Carreteras, Diseño Geométrico, 2018) Esto implica diseñar las vías de tal forma que proporcionen a los conductores la máxima visibilidad y suficiente tiempo para tomar decisiones correctas, como frenar, girar o cambiar de carril. Este enfoque es particularmente relevante en el diseño de carreteras en zonas rurales o de difícil acceso, donde los cambios abruptos en la topografía o el clima pueden complicar la conducción.

➤ ***Elementos clave del diseño geométrico vial***

El diseño geométrico vial abarca varios componentes fundamentales que deben ser considerados de manera holística para asegurar que la carretera funcione de manera óptima. Algunos de estos componentes incluyen (Manual de Carreteras, Diseño Geometrico, 2018).

**1. Curvas horizontales y verticales**

*Las curvas*, tanto horizontales como verticales, son quizás los elementos más visualmente distintivos de cualquier carretera. Las curvas horizontales se refieren a los giros o cambios de dirección que realiza la carretera cuando sigue el contorno del terreno. El diseño de estas curvas debe tomar en cuenta el radio de la curva, que determinará la seguridad con la que los vehículos pueden transitar por ella. Un radio muy pequeño puede hacer que las curvas sean demasiado cerradas y peligrosas, aumentando el riesgo de accidentes, especialmente a altas velocidades.

Por esta razón, en las carreteras donde se espera que los vehículos circulen a mayor velocidad, se diseñan curvas con radios más amplios para permitir que los conductores mantengan el control del vehículo.

➤ ***Radio mínimo de curvas horizontales***

El radio de una curva horizontal es crucial para garantizar la seguridad al transitar por ella. La fórmula para calcular el radio mínimo de una curva horizontal se basa en la velocidad de diseño y en el coeficiente de fricción lateral. Manual de Diseño de Carreteras, Diseño Geometrico. (2018)

$$R_{min} = \frac{v^2}{g * (e + f)}$$

**Donde:**

R<sub>min</sub> = Radio mínimo de la curva (m)

V = Velocidad de diseño de la carretera (m/s)

g = Aceleración debido a la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

e = Peralte o inclinación transversal (en tanto por uno, normalmente entre 0.02 y 0.10)

f = Coeficiente de fricción lateral entre los neumáticos y la superficie de la carretera  
(depende de las condiciones del pavimento, varía entre 0.1 y 0.4)

El diseño de curvas verticales debe asegurarse de que la pendiente no sea demasiado abrupta. Para calcular la longitud mínima de las curvas verticales se puede usar:

$$L = \frac{A * V^2}{127 * G}$$

**Donde:**

L = Longitud de la curva vertical (m)

A = Diferencia de pendientes (en tanto por uno) V = Velocidad de diseño (km/h)

G = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

**El peralte**, o la inclinación transversal de la carretera en las curvas, es un factor adicional que se incluye en el diseño geométrico (Manual de Carreteras, Diseño Geométrico, 2018) esta inclinación ayuda a contrarrestar las fuerzas centrífugas que actúan sobre los vehículos cuando toman una curva a velocidad. Un peralte bien calculado permite a los conductores transitar por curvas de manera más segura al mejorar la tracción y reducir la posibilidad de deslizamientos o vuelcos.

La super elevación o peralte (e) se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$e = \frac{V^2}{g * R}$$

**Donde:**

e = Peralte o inclinación transversal (en tanto por uno) V = Velocidad de diseño de la carretera (m/s)

R = Radio de la curva (m)

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

**2. Pendientes y rasantes**

*Las pendientes* son otro componente fundamental del diseño geométrico vial, especialmente en áreas montañosas o irregulares. Las pendientes demasiado pronunciadas pueden resultar peligrosas, ya que los vehículos tienen dificultades para mantener el control, ya sea al ascender (lo que puede requerir un esfuerzo adicional del motor) o al descender (donde el control de la velocidad se vuelve crítico). El diseño debe buscar equilibrar la necesidad de conectar diferentes elevaciones con la seguridad y comodidad de los usuarios.

De acuerdo a (Espinoza, 2020) una pendiente adecuada depende del tipo de carretera y de los vehículos que se espera transiten por ella. Las carreteras para vehículos pesados deben tener pendientes suaves y contar con un drenaje adecuado para prevenir la erosión y deslizamientos por lluvias intensas.

**3. Ancho de la calzada y los carriles**

El ancho de los carriles y la calzada en general es un aspecto que puede parecer simple pero que tiene un impacto significativo en la seguridad y funcionalidad de la carretera. Un carril muy estrecho puede hacer que los vehículos se sientan confinados, lo que aumenta el riesgo de accidentes, especialmente si los conductores tienen que maniobrar para evitar obstáculos o

desviarse por alguna razón. Por otro lado, un carril demasiado ancho puede alentar velocidades peligrosamente altas, lo que también es un riesgo, especialmente en zonas donde las condiciones del terreno o del clima son impredecibles adaptado por Fierro, (2023).

#### **4. Intersecciones y acceso controlado**

Las intersecciones son puntos críticos en el diseño geométrico, ya que es donde se cruzan o convergen flujos de tráfico, lo que aumenta las probabilidades de accidentes. Un buen diseño geométrico asegura que las intersecciones sean claras y fáciles de navegar para los conductores, con señales adecuadas y visibilidad suficiente. En las carreteras rurales o trochas carrozables, las intersecciones suelen ser más simples que en áreas urbanas, pero deben diseñarse con especial cuidado debido a las posibles limitaciones de visibilidad o la falta de señalización avanzada. según Garzón, (2021).

##### **➤ *Relación entre el diseño geométrico y la seguridad vial***

Uno de los aspectos más importantes del diseño geométrico vial es su relación con la seguridad. Una carretera bien diseñada puede prevenir accidentes al proporcionar a los conductores el tiempo y el espacio necesarios para reaccionar a situaciones inesperadas. La visibilidad, tanto en términos de distancia como de claridad de la carretera, es un aspecto clave. En curvas cerradas o pendientes pronunciadas, la visibilidad puede reducirse, lo que aumenta el riesgo de colisiones. Por eso, el diseño geométrico se enfoca en maximizar la visibilidad siempre que sea posible, especialmente en tramos críticos como curvas e intersecciones. Lo que busca reducir los riesgos asociados a errores humanos, como el exceso de velocidad o la distracción, mediante elementos como curvas seguras, peraltes y señalización oportuna. Manual de Diseño de Carreteras, (2018).

➤ *Niveles de riesgo en la infraestructura vial*

El concepto de niveles de riesgo en la infraestructura vial está relacionado con la evaluación y gestión de los peligros inherentes a las carreteras y otros elementos de transporte terrestre. Se refiere a la probabilidad de que ocurran accidentes o daños, así como las posibles consecuencias de estos eventos adversos, lo que incluye tanto la seguridad de los usuarios como el impacto en la funcionalidad de la infraestructura adaptado por CEPAL, (2020).

Este análisis es esencial para la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de las vías, ya que permite anticipar los problemas que podrían surgir en las condiciones de tráfico y ambientales y tomar medidas proactivas para mitigarlos. Los niveles de riesgo en la infraestructura vial abarcan diferentes dimensiones, desde la estabilidad estructural de la carretera hasta las condiciones de operación y la interacción con factores externos como el clima o la topografía.

➤ *Factores que influyen en los niveles de riesgo*

Los niveles de riesgo en la infraestructura vial están determinados por una combinación de factores que pueden variar según la ubicación geográfica, el tipo de carretera, el volumen de tráfico y las características físicas de la vía. Entre los factores más relevantes se encuentran adaptado por Manual de Diseño de Carreteras, (2018).

**1. Diseño geométrico de la carretera:** El diseño geométrico de una carretera es un aspecto crucial en la determinación del nivel de riesgo. Si una carretera no está bien diseñada para las velocidades y tipos de vehículos que la transitan, el riesgo de accidentes aumenta. Curvas con radios demasiado pequeños, pendientes pronunciadas y una visibilidad insuficiente son ejemplos de elementos que incrementan el riesgo.

Las fórmulas del diseño geométrico juegan aquí un papel fundamental, ya que permiten calcular dimensiones óptimas que minimizan la probabilidad de siniestros, adaptado por Manual de Diseño de Carreteras, (2018).

**2. Condiciones del pavimento:** La calidad y mantenimiento del pavimento tienen un impacto directo sobre los niveles de riesgo. Un pavimento en mal estado —con baches, fisuras o superficies desiguales— incrementa la posibilidad de accidentes, especialmente en condiciones de lluvia. La pérdida de fricción entre los neumáticos y el pavimento puede derivar en deslizamientos o derrapes, especialmente en curvas o pendientes pronunciadas. adaptado por Manual de Diseño de Carreteras, (2018).

**3. Percepción de los conductores y tiempo de reacción:** El nivel de riesgo no solo depende de factores físicos, sino también del comportamiento humano. La capacidad de los conductores para detectar y reaccionar ante un peligro varía según su experiencia, estado físico y mental. El diseño de la carretera debe tener en cuenta estas variables, proporcionando suficiente tiempo de reacción y visibilidad adecuada para que los conductores puedan maniobrar de manera segura. adaptado por Manual de Diseño de Carreteras, (2018).

**4. Volumen de tráfico:** Un volumen elevado de tráfico, especialmente en carreteras no diseñadas para soportarlo, aumenta significativamente los niveles de riesgo. El riesgo se incrementa más aún en carreteras de dos carriles donde los vehículos deben realizar maniobras de adelantamiento en contra del tráfico. En estas situaciones, el riesgo de colisiones frontales es considerable. adaptado por Manual de Diseño de Carreteras, (2018).



**5. Clima y condiciones meteorológicas:** Las condiciones climáticas adversas, como lluvia, nieve, neblina o hielo, tienen un impacto directo en los niveles de riesgo en la infraestructura vial. Estas condiciones reducen la visibilidad, disminuyen la adherencia de los vehículos al pavimento y prolongan las distancias de frenado.

Es esencial diseñar carreteras que consideren estos factores, implementando sistemas de drenaje adecuados para minimizar el encharcamiento y otras soluciones como señalización visible bajo todas las condiciones. (SENAHMI, s.f.) Manual de diseño de Carreteras (2018).

➤ *Evaluación de riesgos en infraestructura vial*

En concordancia con (Blanco, 2020) la evaluación de riesgos implica identificar los peligros potenciales y evaluar su probabilidad de ocurrencia, así como las consecuencias que podrían tener. Este análisis se realiza generalmente utilizando modelos cuantitativos y cualitativos que permiten definir el nivel de riesgo de manera precisa y abordar medidas para su mitigación.

Un enfoque común es calcular el riesgo como el producto de la probabilidad de ocurrencia de un evento adverso y sus consecuencias:

$$R = P * C$$

**Donde:**

R = es el nivel de riesgo.

P = es la probabilidad de que ocurra un evento peligroso (por ejemplo, un accidente).

C = es la magnitud de las consecuencias si el evento ocurre (por ejemplo, la cantidad de daños o lesiones).

Este tipo de análisis es útil para clasificar los riesgos en niveles bajos, moderados o altos, lo que ayuda a priorizar las intervenciones de seguridad vial.

➤ **Mitigación y gestión de riesgos**

Una vez identificado el nivel de riesgo, es fundamental implementar estrategias para reducirlo. De acuerdo con Fierro, (2023), estas estrategias pueden variar según la naturaleza del riesgo, pero generalmente incluyen medidas como:

**1. Mejora en el diseño geométrico:** Corregir el diseño geométrico puede ser una medida efectiva para reducir el riesgo. Esto puede incluir la ampliación de radios de curvas, la mejora de la visibilidad y la reducción de pendientes pronunciadas, todo lo cual puede mejorar la seguridad de la carretera.

**2. Mejoras en el pavimento y el drenaje:** Un pavimento en buenas condiciones reduce significativamente el riesgo de accidentes, especialmente en condiciones climáticas adversas. Asimismo, un drenaje adecuado previene el encharcamiento y reduce el riesgo de deslizamiento.

**3. Sistemas de señalización y control de tráfico:** La señalización adecuada, como señales de advertencia, límites de velocidad y marcas en el pavimento, es clave para la seguridad vial. Estas señales proporcionan a los conductores la información necesaria para tomar decisiones seguras. En zonas de alto riesgo, pueden implementarse sistemas de control de tráfico, como semáforos o sistemas de control automático de velocidad.

**4. Tecnología y monitoreo:** En la actualidad, las tecnologías como los sensores y cámaras de tráfico, junto con el uso de inteligencia artificial, permiten el monitoreo constante de las condiciones de las carreteras y el comportamiento del tráfico. Esto permite detectar riesgos en tiempo real y ajustar las condiciones de la carretera o enviar advertencias a los conductores.

**5. Educación y concientización:** Otro aspecto fundamental en la reducción de los niveles de riesgo es la educación vial. Los conductores informados y capacitados son más propensos a tomar decisiones seguras en la carretera. Programas de concientización sobre los peligros específicos de ciertas carreteras o sobre cómo conducir en condiciones adversas pueden reducir considerablemente los niveles de riesgo.

➤ *Cálculo de riesgos específicos*

En algunas situaciones, se utilizan modelos matemáticos avanzados para calcular riesgos específicos. Por ejemplo, en el caso de la infraestructura vial expuesta a deslizamientos de tierra, avalanchas o inundaciones, los ingenieros pueden utilizar modelos probabilísticos que calculan el riesgo de estos fenómenos basados en datos geotécnicos y meteorológicos adaptado por Garzón, (2021).

Por ejemplo, en áreas montañosas, el riesgo de deslizamientos de tierra en una carretera puede calcularse utilizando la siguiente relación, conocida como el índice de estabilidad de taludes:

$$S = \frac{C}{W * \sin(\theta)}$$

**Donde:**

S es el índice de estabilidad.

C es la cohesión del suelo.

W es el peso del talud.

θ es el ángulo de la pendiente.

Un valor bajo de S indicaría un riesgo alto de deslizamiento, lo que requeriría medidas de estabilización.

La gestión de los niveles de riesgo en la infraestructura vial es un proceso complejo y multifactorial que debe integrar el análisis de aspectos físicos, humanos y ambientales.

La evaluación adecuada y la implementación de estrategias de mitigación son fundamentales para garantizar la seguridad de los usuarios y la durabilidad de las infraestructuras.

La aplicación de fórmulas y modelos cuantitativos para evaluar el diseño geométrico, las condiciones del pavimento y otros factores críticos es una parte esencial de este proceso, y permite tomar decisiones informadas para reducir el riesgo en las carreteras Blanco, (2020).

➤ *Vulnerabilidad en carreteras*

La vulnerabilidad en carreteras es un concepto clave en la evaluación de riesgos viales, ya que describe la susceptibilidad de una carretera y su entorno a sufrir daños o interrupciones en su funcionamiento debido a factores externos, como fenómenos naturales, fallas estructurales o incidentes humanos. La vulnerabilidad, en este contexto, se refiere tanto a la posibilidad de que una infraestructura vial se vea afectada por un evento adverso como a la magnitud de las consecuencias que dicho evento puede generar, tanto en términos de daños materiales como de interrupciones en la movilidad adaptado por Garzón, (2021).

➤ *Conceptualización de la vulnerabilidad en infraestructuras viales*

La vulnerabilidad en carreteras se entiende como la combinación de tres componentes clave según Torres, (2020).

**1. Exposición:** Se refiere a la presencia de la infraestructura vial en un área que puede verse afectada por riesgos naturales o antropogénicos, como deslizamientos de tierra, inundaciones, terremotos o accidentes de tránsito.

**2. Sensibilidad:** Es la capacidad de la carretera o de sus componentes estructurales para resistir el impacto de un evento adverso. Una carretera sensible es aquella que es más propensa a sufrir daños o interrupciones ante un evento externo.

**3. Capacidad de adaptación o resiliencia:** Hace referencia a la habilidad de la infraestructura vial y del sistema de transporte en general para recuperarse rápidamente de un daño o interrupción. La resiliencia implica tanto la capacidad de la infraestructura para continuar operando durante un evento como su capacidad para ser restaurada de manera eficiente después de un desastre.

Estos tres componentes interactúan de manera dinámica, determinando el grado de vulnerabilidad de una carretera ante eventos adversos.

Una carretera expuesta a riesgos naturales, como terremotos o inundaciones, puede ser vulnerable si su diseño y mantenimiento no han considerado estos peligros, o si su capacidad de adaptación es limitada.

➤ ***Factores que contribuyen a la vulnerabilidad en carreteras***

- Topografía y condiciones geológicas
- Condiciones climáticas
- Diseño y calidad de la construcción
- Mantenimiento y estado de la infraestructura
- Volumen de tráfico y tipos de vehículos
- Factores socioeconómicos y de gestión

➤ *Evaluación de la vulnerabilidad en carreteras*

Según Garzón, (2021) la evaluación de la vulnerabilidad en carreteras implica un proceso de análisis detallado que incluye la identificación de los riesgos a los que la infraestructura está expuesta y la evaluación de su capacidad para resistirlos y recuperarse de ellos. Este análisis puede ser cualitativo o cuantitativo, y suele incluir la utilización de modelos matemáticos y herramientas de simulación para prever los posibles escenarios de daño.

Un enfoque común para evaluar la vulnerabilidad es el uso de índices de vulnerabilidad, que permiten cuantificar el nivel de exposición y sensibilidad de una carretera a diferentes factores de riesgo. Estos índices se basan en variables como el estado del pavimento, las características geométricas de la carretera, el clima de la zona y las condiciones geológicas.

➤ *Fórmulas y modelos de evaluación*

Existen diferentes fórmulas y modelos para evaluar la vulnerabilidad en infraestructuras viales, que generalmente integran el análisis probabilístico del riesgo y la exposición. Un enfoque típico es calcular la vulnerabilidad como el cociente entre los daños esperados y el valor total de la infraestructura expuesta al riesgo (Hidalgo y Pacheco de Asis, 2011):

$$V = \frac{D}{E}$$

**Donde:**

V= es la vulnerabilidad.

D= representa los daños esperados (por ejemplo, el costo de reparación o la magnitud de los daños físicos).

$E$  = es el valor total de la infraestructura expuesta (es decir, el costo de la infraestructura o su valor funcional).

Este índice de vulnerabilidad permite evaluar qué porcentaje de la infraestructura vial podría verse afectado por un evento adverso, y en qué medida. Cuanto mayor sea el valor de  $V$ , mayor será la vulnerabilidad de la carretera.

➤ ***Medidas para reducir la vulnerabilidad***

La mitigación de la vulnerabilidad en carreteras implica una serie de estrategias que pueden implementarse tanto durante la fase de diseño como en el mantenimiento y operación de la infraestructura. Algunas de estas medidas incluyen adaptado por Segovia, (2022).

**1. Diseño adaptado a los riesgos locales:**

Un diseño vial que tome en cuenta las características geográficas, geológicas y climáticas de la zona puede reducir significativamente la vulnerabilidad. Por ejemplo, en áreas propensas a deslizamientos de tierra, es fundamental diseñar taludes y sistemas de drenaje adecuados para prevenir estos fenómenos.

**2. Uso de materiales resistentes:**

La utilización de materiales de construcción de alta calidad y resistentes a las condiciones climáticas extremas o a la carga pesada puede reducir la vulnerabilidad de la carretera. Por ejemplo, en zonas donde se producen heladas, el uso de pavimentos que resistan las bajas temperaturas y los ciclos de congelación y descongelación es fundamental.

### **3. Implementación de sistemas de drenaje eficientes:**

En áreas donde las inundaciones son una amenaza recurrente, un sistema de drenaje adecuado es clave para reducir la vulnerabilidad. Un drenaje ineficiente puede provocar la acumulación de agua en la superficie de la carretera, lo que aumenta el riesgo de deterioro y de accidentes de tránsito.

### **4. Mantenimiento preventivo:**

Un programa de mantenimiento regular es una de las medidas más efectivas para reducir la vulnerabilidad de una carretera. El monitoreo constante del estado del pavimento, las estructuras de soporte y los sistemas de drenaje, junto con la reparación oportuna de daños, puede prolongar la vida útil de la carretera y reducir la susceptibilidad a fallos.

### **5. Sistemas de alerta temprana y monitoreo:**

En áreas propensas a riesgos naturales, como terremotos o deslizamientos de tierra, la implementación de sistemas de alerta temprana y monitoreo en tiempo real puede reducir significativamente la vulnerabilidad de las carreteras. Estos sistemas permiten detectar eventos peligrosos antes de que ocurran, lo que da tiempo para tomar medidas preventivas, como cerrar tramos de carretera o desviar el tráfico.

La vulnerabilidad en carreteras es un concepto multifacético que abarca desde las características estructurales y de diseño de la infraestructura hasta factores externos como el clima, la topografía y el volumen de tráfico. Evaluar y reducir la vulnerabilidad es un paso clave para garantizar la seguridad vial y la durabilidad de las carreteras, y requiere un enfoque integral que combine el análisis técnico con la implementación de medidas preventivas y de mitigación.



La integración de la resiliencia y el mantenimiento adecuado es esencial para disminuir los riesgos asociados a las infraestructuras viales y asegurar la continuidad del transporte y la movilidad en situaciones adversas.

➤ ***Peligros naturales y su relación con la infraestructura vial.***

Los peligros naturales son eventos físicos que ocurren en el entorno natural y que, cuando interactúan con la infraestructura vial, pueden generar daños considerables y afectar su funcionalidad. Estos fenómenos incluyen, entre otros, terremotos, deslizamientos de tierra, inundaciones, tormentas, avalanchas y erupciones volcánicas, adaptado por Blanco, (2020).

La relación entre los peligros naturales y la infraestructura vial es compleja, ya que involucra no solo el diseño y la construcción de las vías, sino también su capacidad para soportar estos eventos y recuperarse rápidamente tras un desastre según Blanco, (2020).

➤ ***Impacto de los peligros naturales en la infraestructura vial***

El impacto de los peligros naturales en las carreteras puede variar en función de la magnitud del evento y de las condiciones preexistentes de la infraestructura. En algunos casos, los daños pueden ser menores, como el agrietamiento del pavimento o la obstrucción temporal de la vía. Sin embargo, en otros casos, los efectos pueden ser catastróficos, resultando en la destrucción total de puentes, túneles o tramos de carretera, según Segovia, (2022).

Los daños directos incluyen el colapso de estructuras, erosión del pavimento, destrucción de sistemas de drenaje y deformación del terreno. Además, los daños indirectos, como la interrupción del tráfico, el aislamiento de comunidades y la pérdida económica, pueden ser igualmente graves (Segovia, 2022). En términos de evaluación del impacto de los peligros naturales sobre la infraestructura vial, se emplean diversas herramientas y metodologías.

Una de ellas es el uso de modelos probabilísticos que simulan la ocurrencia de eventos naturales y su interacción con la infraestructura. Estos modelos consideran factores como la intensidad del evento, la ubicación geográfica de la carretera y las características de diseño para estimar el nivel de riesgo.

Un enfoque común para cuantificar el impacto de los peligros naturales es el análisis de vulnerabilidad, que evalúa la susceptibilidad de una carretera a sufrir daños en función de su exposición a un peligro y su capacidad para resistir o recuperarse del mismo. Este análisis combina variables como la exposición, la resistencia estructural y la resiliencia de la infraestructura adaptado por Torres, (2020).

$$R = H * V * E$$

**Donde:**

R= es el riesgo asociado al peligro natural.

H= representa la amenaza o peligro (la probabilidad de que ocurra un evento natural).

V= es la vulnerabilidad de la infraestructura (su susceptibilidad a sufrir daños).

E= es la exposición de la infraestructura al peligro (el valor de la infraestructura afectada).

Este modelo permite evaluar el nivel de riesgo global y determinar las áreas más vulnerables que requieren intervención.

➤ ***Medidas para mitigar los efectos de los peligros naturales en las carreteras***

Debido al alto riesgo de peligros naturales en infraestructuras viales, es crucial implementar medidas de mitigación en planificación, operación y mantenimiento de carreteras, adaptado por (Carrillo, 2015)

### **1. Diseño adaptado al entorno natural:**

El diseño de las carreteras debe tener en cuenta los peligros naturales a los que se enfrentan. En áreas propensas a deslizamientos de tierra, se pueden construir muros de contención o implementar sistemas de estabilización de taludes. En zonas con riesgo de inundación, es esencial un sistema de drenaje eficaz y, en algunos casos, la elevación de las vías.

### **2. Uso de tecnología avanzada:**

La tecnología moderna, como el uso de sensores para monitorear la estabilidad de los taludes o la implementación de sistemas de alerta temprana para eventos como avalanchas o terremotos, puede reducir significativamente el impacto de los peligros naturales. Estos sistemas permiten la toma de decisiones en tiempo real, como el cierre preventivo de carreteras o la reorientación del tráfico.

### **3. Materiales de construcción resistentes:**

El uso de materiales de alta calidad que sean resistentes a los impactos de los peligros naturales puede mejorar la capacidad de las carreteras para resistir daños. Por ejemplo, los pavimentos permeables pueden ser útiles en áreas propensas a inundaciones, ya que permiten que el agua se filtre en lugar de acumularse en la superficie.

### **4. Mantenimiento regular y monitoreo continuo:**

Un mantenimiento adecuado es esencial para garantizar la resiliencia de las carreteras frente a los peligros naturales. Esto incluye el monitoreo constante del estado de la infraestructura y la reparación oportuna de cualquier daño menor antes de que se convierta en un problema mayor.

## **5. Planes de contingencia y respuesta:**

Es fundamental contar con planes de contingencia para hacer frente a los desastres naturales. Esto incluye la preparación de rutas alternativas, el establecimiento de zonas seguras y la coordinación con los servicios de emergencia para garantizar una respuesta rápida en caso de que ocurra un desastre.

La relación entre los peligros naturales y la infraestructura vial es compleja y multifacética. Los peligros naturales pueden generar impactos devastadores en las carreteras, afectando tanto su estructura como su capacidad para operar de manera eficiente. Sin embargo, mediante un diseño adecuado, el uso de tecnologías avanzadas, la implementación de medidas de mitigación y el mantenimiento regular, es posible reducir significativamente el riesgo y mejorar la resiliencia de las infraestructuras viales frente a estos fenómenos.

### ➤ *Gestión de riesgos en infraestructuras viales*

En concordancia con Camargo, (2021). La gestión de riesgos en infraestructuras viales es un proceso clave que busca identificar, evaluar, mitigar y monitorear los riesgos a los que están expuestas las carreteras y demás elementos viales durante su ciclo de vida. Este enfoque holístico tiene como objetivo garantizar que las vías sean seguras, eficientes y sostenibles, a pesar de las amenazas naturales, técnicas, sociales o económicas que puedan afectar su integridad o funcionamiento. En un contexto donde los peligros naturales y humanos son cada vez más frecuentes, la gestión de riesgos se ha convertido en una herramienta esencial para reducir la vulnerabilidad y garantizar la resiliencia de las infraestructuras viales.

➤ *Definición y naturaleza de la gestión de riesgos*

La gestión de riesgos en infraestructuras viales implica identificar, evaluar y mitigar proactivamente amenazas como fenómenos naturales, fallas de diseño, errores constructivos, mantenimiento deficiente y factores externos como accidentes o sobrecarga vehicular. (Fierro. A, 2023)

El concepto de riesgo, en términos generales, puede definirse matemáticamente como:

$$R = P * C$$

**Donde:**

R= representa el riesgo.

P= es la probabilidad de que ocurra un evento adverso.

C= es la consecuencia o impacto del evento, en términos de daño a la infraestructura y a la vida humana.

Esta fórmula básica destaca el doble enfoque de la gestión de riesgos: reducir la probabilidad de que ocurra un evento adverso y minimizar sus consecuencias si llega a ocurrir. La clave está en gestionar ambos componentes del riesgo a lo largo del ciclo de vida de la infraestructura.

➤ *Fases de la gestión de riesgos en infraestructuras viales*

La gestión de riesgos en las infraestructuras viales sigue un proceso estructurado que puede desglosarse en varias fases interrelacionadas. Como lo establece (Fierro. A, 2023), estas fases incluyen la identificación de riesgos, la evaluación y análisis de riesgos, la priorización, la implementación de medidas de mitigación y la monitorización y revisión continua.

## **1. Identificación de riesgos**

La primera fase de la gestión de riesgos consiste en identificar los posibles peligros que pueden afectar a la infraestructura vial. Este proceso requiere un análisis exhaustivo del entorno donde se construye la carretera, las características del terreno, las condiciones climáticas y los factores técnicos relacionados con el diseño y la construcción. Además de los peligros naturales ya mencionados, como terremotos o deslizamientos, es crucial considerar factores como la fatiga del material, el deterioro por envejecimiento, la exposición a químicos corrosivos, el tráfico de vehículos pesados y los posibles actos de vandalismo o terrorismo.

En esta fase, es común el uso de herramientas como el análisis de riesgo basado en escenarios, donde se simulan diferentes situaciones y se evalúan sus posibles consecuencias. También se emplean análisis históricos de desastres pasados para identificar patrones o áreas particularmente vulnerables.

## **2. Evaluación y análisis de riesgos**

Una vez identificados los riesgos, es necesario evaluarlos para entender su magnitud y el nivel de amenaza que representan para la infraestructura vial. Este análisis se realiza cuantificando dos factores clave: la probabilidad de ocurrencia de un evento y la gravedad de sus consecuencias.

La evaluación de riesgos puede realizarse mediante análisis cualitativos (clasificación de riesgos en términos de bajo, medio o alto) o mediante enfoques cuantitativos más detallados, que asignan valores numéricos a la probabilidad y al impacto, y generan una estimación más precisa del riesgo y vulnerabilidad.

La fórmula ya mencionada  $R = P * C$  es la base de este análisis, pero puede ampliarse para incorporar más variables, como la exposición de la infraestructura (Hidalgo y Pacheco de Asis, 2011)

$$R = V * E$$

**Donde:**

$V$ = es la vulnerabilidad de la infraestructura al riesgo.

$E$ = es el valor o exposición de los activos viales, como el número de usuarios afectados o la importancia económica de la vía.

Este tipo de evaluación permite priorizar los riesgos y tomar decisiones informadas sobre dónde enfocar los esfuerzos de mitigación.

### **3. Priorización de riesgos**

Una vez que se han evaluado los riesgos, el siguiente paso es priorizarlos. No todos los riesgos representan el mismo nivel de amenaza, y algunos pueden requerir atención inmediata mientras que otros pueden ser considerados aceptables o de bajo impacto. Los recursos para mitigar riesgos son limitados, por lo que la priorización ayuda a asignar esos recursos de manera eficiente (Fierro. A, 2023)

Los criterios para priorizar riesgos incluyen la magnitud del impacto, el número de personas potencialmente afectadas, la frecuencia con la que ocurren ciertos eventos y la capacidad de la infraestructura para resistir o recuperarse de ellos. Una técnica común en esta etapa es la matriz de riesgos, que clasifica los riesgos en función de su probabilidad y su impacto, ayudando a identificar aquellos que requieren acciones inmediatas.

#### **4. Implementación de medidas de mitigación**

Una vez priorizados los riesgos, es necesario implementar medidas para mitigar su impacto. Estas medidas pueden clasificarse en preventivas y correctivas. Las medidas preventivas son aquellas que buscan evitar que ocurra un evento adverso, mientras que las correctivas son aquellas que minimizan los efectos del evento una vez que ha ocurrido.

Entre las medidas preventivas más comunes se encuentran (Fierro. A, 2023)

- **Diseño adecuado y adaptado al entorno natural:** Asegurarse de que las carreteras sean construidas teniendo en cuenta las características geológicas, climáticas y topográficas de la región. Esto puede implicar el uso de materiales resistentes, técnicas de construcción que minimicen el riesgo de deslizamientos o la instalación de sistemas de drenaje efectivos.
- **Monitoreo de riesgos:** Implementar sistemas de monitoreo continuo de las carreteras, que incluyan sensores para detectar movimientos de tierra, cambios en la estructura de los puentes o fluctuaciones en la estabilidad del terreno. Esto permite actuar de manera proactiva ante cualquier señal de deterioro.
- **Mantenimiento preventivo:** Un programa de mantenimiento regular puede prevenir el deterioro de las infraestructuras viales, manteniéndolas en buen estado y mejorando su capacidad para resistir eventos adversos.

Por otro lado, las medidas correctivas se enfocan en la capacidad de recuperación de la infraestructura y pueden incluir la construcción de rutas alternativas, planes de evacuación para los usuarios y sistemas de alerta temprana que avisen sobre desastres inminentes.



## 5. Monitoreo y revisión continua

La gestión de riesgos no es un proceso estático, sino dinámico. A medida que cambian las condiciones del entorno, ya sea por el envejecimiento de la infraestructura o por cambios en el clima o en las características del tráfico, es necesario revisar y actualizar las estrategias de gestión de riesgos. Este monitoreo continuo implica la recopilación de datos sobre el rendimiento de la infraestructura, la evaluación de nuevos riesgos emergentes y la implementación de ajustes en las medidas de mitigación según sea necesario.

Las inspecciones periódicas de las carreteras y puentes, junto con el análisis de datos en tiempo real provenientes de sensores, son fundamentales para identificar cualquier cambio en las condiciones de la infraestructura que pueda indicar un aumento en el nivel de riesgo. Este monitoreo también permite evaluar la efectividad de las medidas de mitigación implementadas y hacer ajustes si es necesario.

### ➤ *Herramientas y metodologías para la gestión de riesgos*

En la gestión de riesgos de infraestructuras viales se utilizan diversas herramientas y metodologías que permiten mejorar la precisión en la evaluación y toma de decisiones. Algunas de estas herramientas incluyen (Eslava, 2022):

- **Análisis probabilístico del riesgo:** Este enfoque utiliza modelos matemáticos y estadísticos para calcular la probabilidad de que ocurran ciertos eventos y su impacto en la infraestructura.
- **Análisis costo-beneficio:** Evalúa la relación entre el costo de implementar medidas de mitigación y el beneficio que se obtiene en términos de reducción del riesgo.

- Modelos de simulación: Los modelos computacionales permiten simular diferentes escenarios de riesgo y analizar cómo respondería la infraestructura ante ellos. Estas simulaciones son particularmente útiles para planificar la respuesta ante desastres naturales como terremotos o inundaciones.

La gestión de riesgos en infraestructuras viales es un proceso fundamental para garantizar la seguridad, durabilidad y eficiencia de las carreteras, puentes y túneles. Dado el alto nivel de exposición de estas infraestructuras a peligros naturales y humanos, es esencial contar con un enfoque estructurado que permita identificar, evaluar y mitigar los riesgos de manera proactiva. Al integrar un diseño resiliente, medidas preventivas y correctivas, y un monitoreo continuo, es posible minimizar los impactos negativos y mejorar la capacidad de respuesta ante eventos adversos.

➤ *Normativa técnica peruana sobre infraestructura vial*

La normativa técnica peruana sobre infraestructura vial proporciona un marco regulador fundamental para el diseño, construcción, mantenimiento y operación de carreteras y otras infraestructuras de transporte en el Perú. Estas normativas son esenciales para asegurar que las infraestructuras viales cumplan con estándares de seguridad, eficiencia y durabilidad, adaptándose a las condiciones geográficas, climáticas y socioeconómicas del país. En un territorio tan diverso como el peruano, que abarca desde costas áridas hasta regiones montañosas y selvas tropicales, la normativa técnica juega un papel crucial en la adaptación de las prácticas ingenieriles a las realidades locales.

➤ ***Contexto General***

La normativa técnica para infraestructura vial en Perú está diseñada para cubrir todos los aspectos relevantes del diseño y construcción de carreteras, incluyendo la geometría vial, la selección de materiales, los sistemas de drenaje, y las medidas de seguridad. Estas normativas se actualizan periódicamente para incorporar avances tecnológicos, nuevas metodologías y mejores prácticas internacionales, asegurando que las infraestructuras viales peruanas cumplan con estándares modernos y eficaces.

➤ ***Principales Códigos y Normativas (MTC, 2013)***

**1. Manual de Carreteras (MC)**

El Manual de Carreteras, (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, 2013) es el documento normativo más importante en el país para la infraestructura vial. Este manual establece directrices para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras, y está compuesto por varias secciones que abordan diferentes aspectos técnicos:

- **Diseño Geométrico:** Proporciona parámetros para el diseño de curvas, pendientes, intersecciones y otras características geométricas de las carreteras. La normativa especifica los criterios de diseño para garantizar la seguridad y la funcionalidad de la vía, considerando factores como el radio mínimo de las curvas y las pendientes máximas permitidas.
- **Estructuras:** Define los requisitos para la construcción de puentes, túneles y otras estructuras. Incluye especificaciones sobre materiales, métodos de construcción y pruebas de calidad.

- **Materiales y Pavimentos:** Establece las características requeridas para los materiales de construcción de pavimentos, incluyendo pruebas de calidad y criterios de aceptación.
- **Seguridad Vial:** Proporciona directrices para la señalización, la iluminación y otros elementos que contribuyen a la seguridad de los usuarios de la carretera.

## **2. Normas Técnicas Peruanas (NTP)**

Las Normas Técnicas Peruanas (NTP), emitidas por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), son documentos que especifican requisitos técnicos para diversos aspectos de la construcción y mantenimiento de infraestructuras viales. Estas normas abarcan áreas como:

- **NTP 339.010: "Diseño geométrico de carreteras".** Esta norma define las dimensiones y los parámetros geométricos mínimos para el diseño de carreteras, tales como el ancho de la calzada, el radio de las curvas y las pendientes.

## **3. Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)**

El Reglamento Nacional de Edificaciones incluye directrices relacionadas con la seguridad estructural y el diseño de elementos de infraestructura vial. Aunque se centra en edificaciones en general, sus principios también se aplican a las estructuras viales, como puentes y túneles, que deben cumplir con estándares de resistencia y seguridad.

### **➤ Aspectos Clave de la Normativa Técnica**

#### **Diseño Geométrico**

La normativa técnica peruana para el diseño geométrico de carreteras incluye parámetros específicos para garantizar la seguridad y la eficiencia del tránsito. Entre los aspectos más relevantes se encuentran:

- **Curvas Horizontales y Verticales:** La normativa define los radios mínimos para curvas horizontales y las pendientes máximas permitidas para curvas verticales, considerando la velocidad de diseño y la comodidad del conductor.
- **Pendientes:** Se establecen máximas y mínimas para pendientes, para garantizar la tracción y seguridad de los vehículos. Por ejemplo, las pendientes en zonas montañosas pueden ser más pronunciadas, pero deben estar acompañadas de señales y medidas adicionales para la seguridad.

### **Seguridad Vial**

La normativa sobre seguridad vial abarca elementos clave para proteger a los usuarios de la carretera, tales como:

- **Señalización:** Incluye requisitos para la señalización vertical y horizontal, garantizando que sea visible y comprensible para los conductores.
- **Iluminación:** Establece directrices para la instalación de sistemas de iluminación en tramos de carretera que requieren visibilidad adicional, como cruces peligrosos y zonas de alta densidad vehicular.

### **Implementación y Cumplimiento**

La implementación de la normativa técnica se realiza a través de procesos de planificación y supervisión. Durante la fase de diseño, los ingenieros deben seguir las especificaciones establecidas en los manuales y normas para garantizar que los proyectos cumplan con los estándares requeridos. En la fase de construcción, se realizan inspecciones y pruebas para verificar que los materiales y métodos empleados cumplen con las especificaciones técnicas.

El cumplimiento de la normativa se asegura mediante la supervisión por parte de entidades gubernamentales y organismos de control. Los proyectos viales deben ser revisados y aprobados por las autoridades correspondientes antes de su ejecución y, una vez construidos, deben someterse a inspecciones periódicas para verificar su estado y funcionalidad.

### **Desafíos y Perspectivas**

A pesar de la existencia de una normativa técnica robusta, la aplicación efectiva de estas normas puede enfrentar desafíos en áreas rurales o en proyectos de gran envergadura. La adaptación de las normativas a las condiciones locales y la disponibilidad de recursos para su implementación son aspectos críticos.

En el futuro, se prevé que las normativas continúen evolucionando para integrar nuevas tecnologías y prácticas sostenibles, como el uso de materiales reciclados y técnicas de construcción más ecológicas. La integración de tecnologías avanzadas, como el monitoreo en tiempo real de las condiciones viales y el uso de modelos de simulación para el diseño, también promete mejorar la eficacia de las normativas y su implementación en el terreno.

La normativa técnica peruana sobre infraestructura vial es un componente esencial para garantizar la calidad y seguridad de las carreteras en el Perú. Abarca aspectos fundamentales del diseño, construcción, mantenimiento y seguridad de las vías, adaptándose a las condiciones locales y a los avances tecnológicos. La aplicación rigurosa de estas normas es clave para construir y mantener infraestructuras viales duraderas y seguras, capaces de enfrentar los desafíos específicos del entorno peruano.

### 3.3. Definición de Términos.

**1. Accesibilidad:** Capacidad de una infraestructura vial para ser utilizada fácilmente por todos los usuarios, incluidos aquellos con movilidad reducida. Se refiere a la facilidad con la que los usuarios pueden acceder a diferentes áreas y servicios (Blanco, 2020).

**2. Curva de Diseño:** Curva establecida en el diseño geométrico de una carretera que tiene en cuenta la velocidad de diseño y el radio mínimo para garantizar una conducción segura. La curva debe ser lo suficientemente amplia para permitir un tránsito cómodo y seguro a la velocidad deseada (Espinoza, 2020).

**3. Diseño Geométrico Vial:** Proceso de planificación y diseño de las características físicas de una carretera, incluyendo el trazado horizontal y vertical, el perfil longitudinal y las dimensiones de la calzada, con el objetivo de garantizar seguridad, eficiencia y comodidad para los usuarios (Manual de Carreteras, Diseño Geometrico, 2018)

**4. Efecto de Sombra de Montaña:** Reducción en la visibilidad y en la efectividad de las señales viales debido a la presencia de montañas u otros obstáculos naturales que proyectan sombras sobre la carretera, afectando la percepción y la seguridad del conductor (Garzón, 2021).

**5. Erosión:** Proceso de desgaste y remoción del suelo y otros materiales debido a la acción del agua, el viento o el hielo, que puede afectar la estabilidad y durabilidad de las infraestructuras viales. En carreteras, la erosión puede causar deslizamientos y daños estructurales (Reyna, 2023).

**6. Evaluación de Riesgos:** Proceso de identificación, análisis y evaluación de los riesgos asociados con una infraestructura vial. Incluye la evaluación de posibles fallos estructurales, eventos naturales y condiciones adversas que podrían afectar la seguridad y funcionalidad de la carretera (Fierro. A, 2023).

**7. Factor de Seguridad:** Relación entre la capacidad de carga de un elemento estructural y la carga real a la que está sometido. En infraestructura vial, se utiliza para asegurar que los componentes estructurales tengan una capacidad suficiente para soportar las cargas y fuerzas aplicadas (Fierro. A, 2023).

**8. Geometría Vial:** Conjunto de características físicas de una carretera, incluyendo su alineación, pendientes, curvas y dimensiones, que influyen en la seguridad, la eficiencia y la comodidad del tránsito vehicular (Manual de Carreteras, Diseño Geometrico, 2018).

**9. Nivel de Riesgo:** Medida de la probabilidad y severidad de los efectos negativos que pueden ocurrir debido a la presencia de peligros en una infraestructura vial. Incluye la evaluación de la frecuencia y el impacto potencial de eventos adversos (Fierro. A, 2023).

**10. Peligro Natural:** Evento o condición ambiental que puede causar daño a las infraestructuras viales, como deslizamientos de tierra, inundaciones, terremotos y erupciones volcánicas. Estos peligros requieren una planificación y un diseño adecuados para mitigar sus efectos (Garzón, 2021).

**11. Plan de Gestión de Riesgos:** Documento que detalla las estrategias y acciones para identificar, evaluar, mitigar y monitorear los riesgos asociados con una infraestructura vial. Incluye procedimientos para la respuesta a emergencias y la recuperación en caso de incidentes (Fierro. A, 2023).

**12. Resistencia al Deslizamiento:** Capacidad de una superficie vial para ofrecer tracción y evitar que los vehículos deslicen sobre ella. Esta propiedad es crucial para la seguridad en condiciones climáticas adversas, como lluvia o nieve (Reyna, 2023).



**13. Trocha Carrozable:** Vía de comunicación que, aunque no está diseñada con los estándares de una carretera convencional, está pavimentada o acondicionada para permitir el tránsito de vehículos. Se diferencia de las carreteras por su menor ancho y capacidad de carga, pero es esencial para la conectividad en áreas rurales y de difícil acceso.

Las trochas carrozables suelen ser de menor categoría y se utilizan para conectar áreas remotas con redes viales principales, facilitando el transporte de bienes y personas (Espinoza, 2020).

**14. Vulnerabilidad:** Grado en que una infraestructura vial es susceptible a daños o fallos debido a factores externos, como condiciones meteorológicas extremas, desastres naturales o cargas excesivas. La vulnerabilidad puede ser mitigada mediante un diseño y mantenimiento adecuados (Reyna, 2023).

## **IV. Metodología**

### **4.1. Tipo y nivel de investigación**

#### **➤ Tipo de Investigación: Cualitativo**

La presente tesis es de tipo cualitativo, ya que se utilizará el criterio de la identificación de características específicas como métodos de medición en fichas técnicas y encuestas para determinar el nivel de riesgo. Además, se analizará la sostenibilidad y la reducción del riesgo a través de estrategias cuantificables, utilizando técnicas de análisis multicriterio y regresión para evaluar las relaciones entre las variables (CENEPRED, 2014), Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú (2013).

#### **➤ Nivel de Investigación: Descriptivo**

La tesis se desarrollará bajo un diseño de investigación no experimental, lo que implica que el estudio se centrará en el análisis de variables tal como ocurre de manera natural, sin que el investigador intervenga en su manipulación o control. Según lo señalado por (Hernández y Mendoza, 2018) este tipo de investigación se caracteriza por observar y analizar las relaciones entre las variables sin alterar el entorno o las condiciones en las que estas se presentan. De esta manera, se limita a recopilar información, identificar patrones y describir los fenómenos tal como se manifiestan en su contexto original, sin influir directamente en los factores que se estudian.

### **4.2. Ámbito temporal y espacial**

La tesis se desarrollará de tipo no experimental, esta se basa en el estudio de variables que se dan sin la intervención del investigador. De acuerdo a lo señalado por (Hernández y Mendoza, 2018).

Para ver los resultados no se requerirá de experimentos controlados ni pruebas pilotos, de tal manera que se observará.

Donde se procederá a calcular la valoración del riesgo en base al peligro y la vulnerabilidad, para lo cual se analizarán las características de la zona de estudio, considerando datos tales como sismos, fallas geológicas, pendiente del terreno, precipitación e inundaciones, lo cual permitirá evaluar los elementos que condicionan y desencadenan las situaciones de peligro, así como el nivel de vulnerabilidad de los elementos que se encuentran el peligro, siendo ponderado de manera cuantitativa mediante una matriz de 34 análisis multicriterio que permitirá fijar el nivel de riesgo, siguiendo la metodología planteada según (CENEPRED, 2014).

#### **4.3. Población y muestra**

En relación a la población de la presente tesis, se presenta la definición dada por (Andrade y Cabeza, 2018), quienes en su estudio sustentan que la población es “la agrupación de datos, individuos que se emplean para desarrollar un estudio específico en un conglomerado total” (p. 88). La población de estudio se tendrá como las trochas carrozables que comunican las comunidades de Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco en un recorrido de 19 km.

En relación a la muestra de investigación, (Hernández y Mendoza, 2018), define muestra cómo, un subconjunto de lo establecido en la población o el total del universo seleccionado, de donde se obtienen los datos e información pertinente para el posterior análisis e interpretación.

Como muestra de la investigación se tomará una longitud de 3.5 Km de las trochas que presentan mayor riesgo y vulnerabilidad.

#### **4.4. Instrumentos**

##### **➤ Observación directa no experimental**

Para la obtención de información en el proceso de la tesis, es necesaria la aplicación de observación directa, la cual es definida de la siguiente manera, (Hernández y Mendoza, 2018), que expresan “que la identificación y recolección de la data se realiza a través del registro sistemático una vez validado de escenarios y situaciones presentes que pueden ser registradas” (p.290). La visualización in situ se utilizará para la recopilación de datos, se realizará inspecciones visuales y trabajo de campo en el área de estudio de las trochas carrozables. Con el propósito de establecer las condiciones actuales de las vías vecinales, existentes. El reconocimiento de la zona de estudio permitirá identificar las zonas de las carreteras en estudios exponiendo lo peligros y tramos deteriorados estructuralmente y detallados.

##### **➤ Revisión Documental**

Se buscará con esta técnica de revisión documentaria la información necesaria desde un registro existente de obras y procedimientos realizados hasta la actualidad con todos los datos numéricos y funcionamiento de los trabajos y ejecuciones realizadas. De manera rápida y expedita los documentos permitirán comprender el desarrollo y peculiaridades del proceso y obtener información que pueda confirmar o dudar de la información anterior y de la observación directa a mayor detalle.

Determinación del nivel de peligrosidad: elección de factores de análisis (intensidad, tiempo retorno, factores desencadenantes y condicionantes), evaluación de la susceptibilidad.

### ➤ **Descripción del instrumento**

El instrumento a utilizar será una guía de observaciones técnicas de acuerdo al Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres en Perú (CENEPRED, 2014) mediante el cual se obtendrá una ficha de recolección de datos donde se incluyan todos los aspectos técnicos relacionados con las dimensiones e indicadores de las variables en estudio, que debe poseer el sistema para verificar su funcionamiento y elementos a mejorar de acuerdo a los objetivos específicos.

En primer lugar, los datos de campo serán tomados en una longitud de 400 metros, de acuerdo a lo establecido en la selección de la muestra y a las normas y guía utilizada.

En segundo lugar, mediante las fichas técnicas de campo se registrarán los datos relacionados a la identificación y análisis del nivel de riesgo e indicadores de vulnerabilidad.

### **4.5. Procedimientos**

En esta etapa del estudio se realizará una evaluación y certificación de las fichas y guías técnicas para la obtención de los datos a través de una revisión exhaustiva por partes de un experto validador en el área de infraestructura vial y geología.

Por lo que se obtendrá como resultados la identificación de peligro, análisis de vulnerabilidad, cuantificación del riesgo, formulación de medidas de control.

### **4.6. Análisis de datos**

El análisis de datos se realizará mediante tablas construidas con información de campo, observaciones y revisión documental, procesadas en Excel. Para determinar el nivel de riesgo se aplicará la metodología del Manual de Evaluación de Riesgos del (CENEPRED, 2014).

## V. Resultados

### 5.1. Diseño geométrico de la trocha carrozable

#### ➤ *Estudios Topográficos*

La ciudad de Abancay se ubica en la subcuenca Mariño, que presenta una topografía heterogénea variada y accidentada caracterizada por un profundo valle y cauces de ríos encañonados que rodean a la ciudad.

Su relieve desde los 3,100 m.s.n.m. hasta los 2,400 m.s.n.m. presenta valles con gran acumulación de material coluvial, con zonas de erosión y deposición. También existen relieves situados de los 2,400 m.s.n.m. hasta los 1,700 m.s.n.m. las cuales presentan superficies con bastante cobertura vegetal y pendientes moderadas donde existe acumulación de material aluvial con zonas frecuentes de erosión local con granulometría de suelos heterogénea.

Con base en la imagen georreferenciada y los datos suministrados, se identificaron tres tramos principales con coordenadas específicas.

**Tabla 2.**

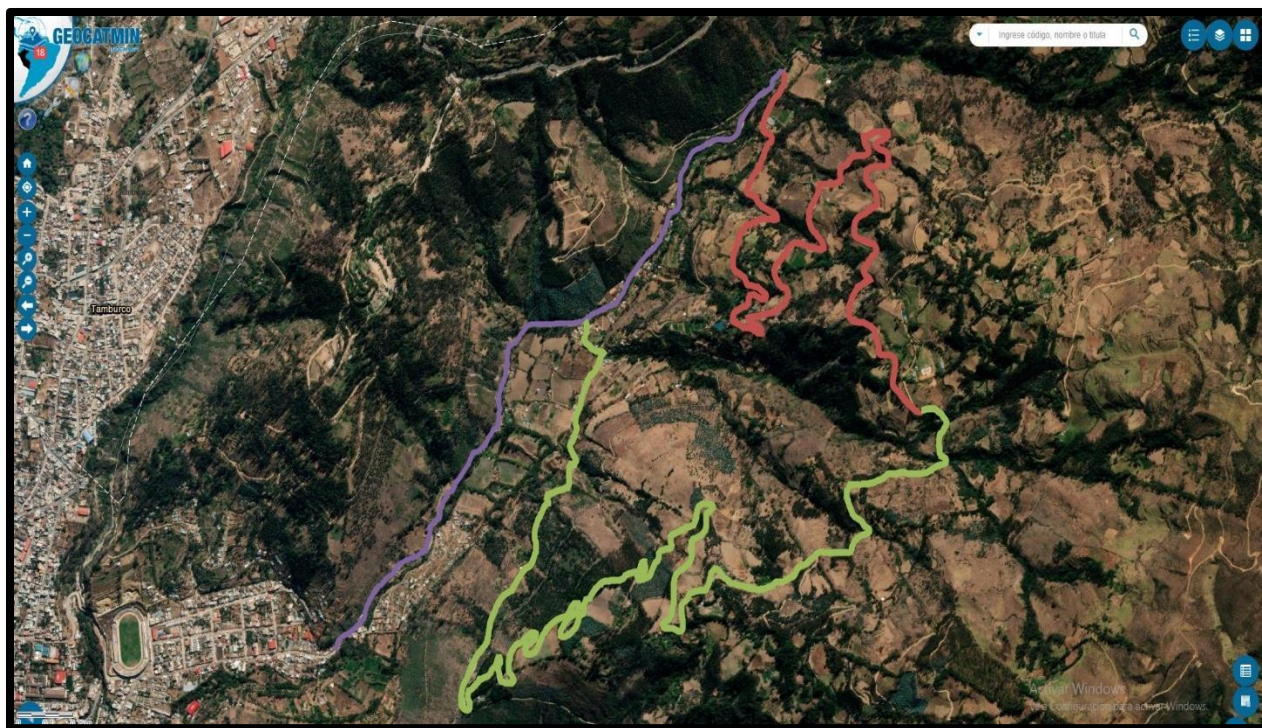
*Datos de los Tramos de la Trocha Carrozable*

| TRAMO | DESDE  | LUGAR                | HASTA | LUGAR           | INICIO |         | FIN    |         |
|-------|--------|----------------------|-------|-----------------|--------|---------|--------|---------|
|       |        |                      |       |                 | ESTE   | NORTE   | ESTE   | NORTE   |
| N°1   | 00.0KM | NUEVO<br>HORIZONTE   | 4.0KM | TINCQUHUAYCCO   | 730983 | 8491705 | 732597 | 8493419 |
| N°2   | 4.0km  | TINCUCHUAYCCO        | 6.5km | ASILLO          | 732608 | 8493418 | 733086 | 8492400 |
| N°3   | 3.5km  | PUENTE<br>MARCAHUASI | 8.5km | AYAORCCO-ASILLO | 731890 | 8492678 | 733091 | 8492403 |

*Nota.* La tabla nos muestra la segmentación de la trocha carrozable en tres tramos, especificando los puntos de inicio y fin mediante coordenadas UTM (Este y Norte), así como los lugares de referencia entre los que se extiende cada tramo

**Figura 1.**

*Visualización Satelital de la Trocha Carrozable*



*Nota.* Se muestra la figura de acuerdo a la delimitación de los tramos de estudio donde el color morado pertenece al sector de Marcahuasi, el verde al Sector de Asillo, Rojo al sector de Ayaoorcco.

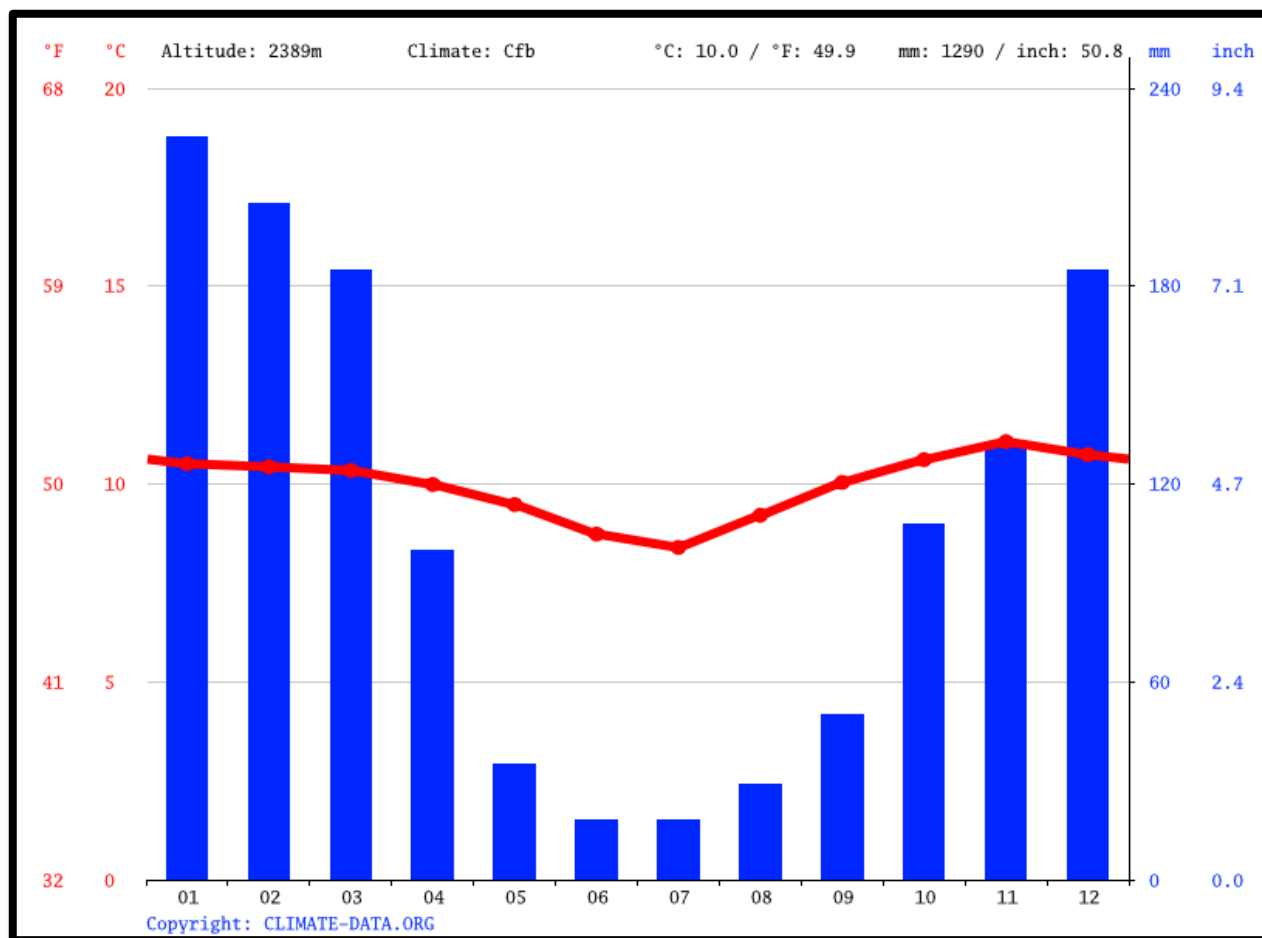
- Tramo 1 (Nuevo Horizonte - Tincuquaycco):
  - Longitud: 4.0 km.
  - Coordenadas: Desde 730983E, 8491705N hasta 732597E, 8493419N.
  - Se encuentra en un terreno con pendientes moderadas, donde predominan curvas de nivel espaciadas en los sectores iniciales y más cerradas hacia el final, indicando un aumento en la pendiente.

- Tramo 2 (Tincuquaycco - Asillo):
  - Longitud: 2.5 km.
  - Coordenadas: Desde 732608E, 8493418N hasta 733086E, 8492400N.
  - Predominan áreas de transición con pendientes moderadas y curvas pronunciadas.  
Este tramo conecta con Asillo, un punto de relevancia comunitaria.
  
- Tramo 3 (Puente Marcahuasi - Ayaorcco-Asillo):
  - Longitud: 5.0 km.
  - Coordenadas: Desde 731890E, 8492678N hasta 733091E, 8492403N.
  - Este tramo incluye sectores con curvas cerradas y ascensos considerables, lo que indica la necesidad de un diseño cuidadoso del alineamiento horizontal y vertical.

#### ***5.1.1.1. Condiciones Climáticas de la zona***

El Distrito de Abancay en general es una zona de típico clima templado y cálido. En el invierno, los registros de precipitaciones son significativamente inferiores a los que se registran en la estación de verano.



**Figura 2.***Diagrama del Clima de Abancay*

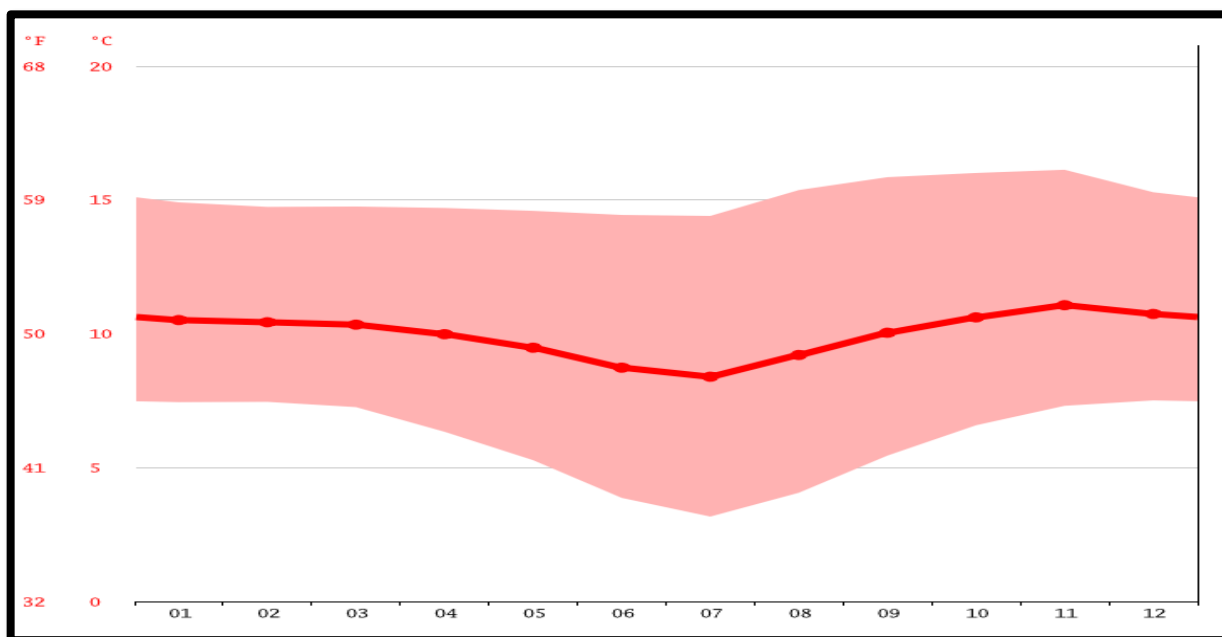
*Nota.* El diagrama de la figura situacional de la población fue extraído por la página donde nos muestra el estado actual y diagrama de clima. (WOLRDWIDE, Climate data for cities, 2023)

Este clima es considerado Cwb (Templado con inviernos secos) según la clasificación climática de Köppen-Geiger. La temperatura media anual es 10.0 °C y presenta precipitaciones promedias de 1290 mm.

La precipitación más baja se produce en junio, con un promedio de 18 mm. La mayor precipitación cae en el mes más lluvioso, enero, con una media de 225 mm.

**Figura 3.**

*Diagrama de Temperaturas de Abancay*



|                             | enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | junio | julio | agosto | septiembre | octubre | noviembre | diciembre |
|-----------------------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| Temperatura media °C        | 10.5  | 10.4    | 10.3  | 10    | 9.5  | 8.7   | 8.4   | 9.2    | 10         | 10.6    | 11.1      | 10.7      |
| Temperatura mínima °C       | 7.4   | 7.5     | 7.3   | 6.3   | 5.3  | 3.9   | 3.2   | 4.1    | 5.4        | 6.6     | 7.3       | 7.5       |
| Temperatura máxima °C       | 14.9  | 14.7    | 14.8  | 14.7  | 14.6 | 14.4  | 14.4  | 15.4   | 15.9       | 16      | 16.1      | 15.3      |
| Precipitación / Lluvia mm   | 225   | 205     | 185   | 100   | 35   | 18    | 18    | 29     | 50         | 108     | 132       | 185       |
| Humedad(%)                  | 80%   | 81%     | 81%   | 79%   | 72%  | 67%   | 64%   | 63%    | 67%        | 73%     | 74%       | 78%       |
| Días de lluvia (d)          | 21    | 19      | 21    | 17    | 8    | 3     | 4     | 6      | 12         | 18      | 18        | 20        |
| Horas medias de sol (horas) | 5.2   | 4.9     | 4.7   | 5.1   | 5.9  | 6.6   | 7.1   | 7.3    | 6.7        | 6.2     | 6.6       | 5.9       |

Data: 1991 - 2021 Temperatura mínima °C, Temperatura máxima °C, Precipitación / Lluvia mm, Humedad, Días de lluvia. Data: 1999 - 2019: Horas medias de sol

*Nota.* El diagrama de la figura nos muestra el estado situacional de la población por lo que fue extraído de la página mostrando así el estado actual y diagrama de clima. (WOLRDWIDE, Climate data for cities, 2023)

### ***Perfil Estratigráfico***

El perfil estratigráfico es una herramienta fundamental en la ingeniería civil para comprender la disposición y características de los materiales que conforman el subsuelo en una determinada área. El caso de la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco, ubicada en la región de Apurímac, Perú, se llevó a cabo una exploración directa mediante la ejecución de calicatas hasta una profundidad de 1.50 metros. El objetivo principal fue identificar los espesores y tipos de materiales que componen la estructura del pavimento, con miras a evaluar su idoneidad y proponer mejoras en su diseño y mantenimiento.

### ***Metodología de Exploración***

La exploración geotécnica consistió en la apertura de calicatas en puntos estratégicos a lo largo de la trocha carrozable. Estas exploraciones permitieron la observación directa de los estratos del suelo, la recolección de muestras inalteradas y alteradas, y la realización de ensayos in situ para determinar propiedades como la densidad, humedad y consistencia. Las calicatas se distribuyeron en función de las características geomorfológicas y geotécnicas del terreno, así como de las condiciones del pavimento existente.

### ***Descripción Estratigráfica General***

A continuación, se presenta una descripción detallada de los estratos típicamente encontrados en las calicatas realizadas en la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco:

#### 1. Estrato Superficial (0.00 - 0.30 m):

Descripción: Capa de material granular suelto, compuesto principalmente por grava y arena, con presencia de material orgánico en menor proporción.

Color: Marrón oscuro.

Consistencia: Suelta a medianamente compacta.

Observaciones: Esta capa corresponde al afirmado del camino, evidenciando desgaste y contaminación por material orgánico debido a la falta de mantenimiento.

2. Estrato Intermedio (0.30 - 1.00 m):

Descripción: Suelo arcilloso limoso con contenido variable de arena fina.

Color: Marrón claro a grisáceo.

Consistencia: Plástica y firme en estado húmedo; dura cuando está seca.

Observaciones: Este estrato muestra signos de humedad elevada, con posibles variaciones estacionales que afectan su comportamiento mecánico.

3. Estrato Inferior (1.00 - 1.50 m):

Descripción: Depósitos de origen coluvial compuestos por fragmentos de roca de diversos tamaños en una matriz arcillosa.

Color: Gris oscuro con manchas marrones.

Consistencia: Muy firme a rígida.

Observaciones: Este estrato indica procesos de meteorización y transporte gravitacional, comunes en zonas de ladera.

### ***Análisis e Interpretación Geotécnica***

La secuencia estratigráfica descrita sugiere una estructura de pavimento con una capa superficial de afirmado insuficiente para proteger las capas subyacentes de suelos finos sensibles a la humedad. La presencia de suelos arcillosos limosos en el estrato intermedio es preocupante debido a su susceptibilidad a cambios volumétricos y pérdida de capacidad portante cuando se

saturan. El estrato inferior, compuesto por depósitos coluviales, puede presentar heterogeneidad en sus propiedades mecánicas, lo que podría influir en la estabilidad general de la vía.

***Consideraciones para el diseño geométrico del camino vecinal en la trocha carrozable Marcahuasi – Asillo – Ayaorcco – Abancay***

El diseño geométrico de un camino vecinal debe garantizar la seguridad, funcionalidad y durabilidad de la infraestructura vial, adaptándose a las condiciones topográficas, geotécnicas y climáticas del entorno. La trocha carrozable Marcahuasi – Asillo – Ayaorcco – Abancay se encuentra en una zona de geomorfología accidentada, con pendientes pronunciadas, suelos de mediana plasticidad y alta susceptibilidad a la erosión.

En este contexto, el diseño geométrico del camino debe cumplir con los criterios técnicos establecidos por el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) del Perú, garantizando una infraestructura segura y eficiente para el tránsito vehicular y peatonal en la región.

***Parámetros del diseño geométrico***

Los parámetros del diseño geométrico de la trocha carrozable se establecen conforme a la normativa del MTC y la AASHTO, considerando un camino de bajo volumen de tránsito.

- Clasificación de la Vía
- Tipo de camino: Vecinal
- Categoría: Trocha carrozable de bajo volumen de tránsito
- Velocidad de diseño: 30-40 km/h (según topografía)
- Tipo de tránsito: Vehículos livianos y camionetas 4x4, con tránsito ocasional de camiones de carga ligera

- Ancho de Plataforma y Calzada

**Tabla 3.***Parámetros del Diseño Geométrico*

| Parámetro               | Valor Recomendado |
|-------------------------|-------------------|
| Ancho de plataforma     | 6.00 m            |
| Ancho de calzada        | 4.80 m            |
| Ancho de carril         | 2.40 m            |
| Bermas laterales        | 0.60 m            |
| Inclinación transversal | 2-4%              |

*Nota.* De acuerdo a la tabla se muestra los parámetros según al Manual de Diseño geométrico 2018, se muestra los parámetros recomendados.

- El ancho de 4.80 m permite la circulación en doble sentido de vehículos livianos, con bermas de 0.60 m para seguridad y drenaje.

***Curvas Horizontales y Radios Mínimos***

Dado que el camino atraviesa zonas montañosas, se deben prever radios adecuados para evitar maniobras riesgosas en las curvas.

**Tabla 4.***Radios de Curvas*

| Velocidad de diseño | Radio mínimo de curva (m) |
|---------------------|---------------------------|
| 30 km/h             | 15 m                      |

40 km/h

30 m

*Nota.* De acuerdo a la tabla se muestra los parámetros según el Manual de Diseño geométrico 2018.

- Para minimizar el impacto ambiental y los costos de obra, se recomienda la implementación de curvas en espiral en tramos de fuerte pendiente.

### ***Pendientes Longitudinales y Rampas***

El diseño debe garantizar la transitabilidad durante todo el año, evitando pendientes excesivas que dificulten la movilidad de los vehículos

#### **Tabla 5.**

##### *Pendientes*

| Tipo de terreno           | Pendiente máxima (%)                |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Moderadamente accidentado | 8%                                  |
| Altamente accidentado     | 10%                                 |
| Tramos críticos           | 12% (con medidas de estabilización) |

*Nota.* De acuerdo a la tabla se muestra los parámetros según el Manual de Diseño geométrico 2018.

- En pendientes mayores al 8%, se recomienda la construcción de zigzags o curvas de herradura para mejorar la seguridad.

### ***Peraltes y Super-elevaciones***

Para mejorar la seguridad en curvas, se implementarán super-elevaciones de hasta 6%, ajustadas al radio de la curva y velocidad de diseño.

### ***Drenaje y Obras Complementarias***

El sistema de drenaje es crítico para garantizar la estabilidad del camino, especialmente en una zona con precipitaciones intensas, se consideran:

- Cunetas revestidas en zonas de pendiente alta.
- Alcantarillas transversales en puntos de acumulación de agua.
- Diques de contención en laderas propensas a deslizamientos.
- Muros de gaviones o suelo reforzado en zonas de corte y relleno para evitar erosión.
- Intersecciones y Accesos

Se prevé la implementación de áreas de paso y bahías de estacionamiento cada 5 km para mejorar la operatividad del camino.

Los accesos a poblaciones deben contar con radios de giro amplios y señalización adecuada.

### ***Medidas de mitigación y seguridad vial***

Para garantizar la operatividad del camino y la seguridad de los usuarios, se recomienda:

- Señalización vertical y horizontal en tramos críticos (curvas cerradas, zonas de deslizamiento).
- Refuerzo en taludes mediante técnicas de bioingeniería (revegetación, geomallas).
- Mantenimiento periódico para evitar acumulación de material en cunetas y pérdidas de sección en la vía.
- Capacitación a conductores y pobladores sobre tránsito seguro en caminos de montaña.



- El diseño geométrico del camino vecinal Marcahuasi – Asillo – Ayaorcco – Abancay debe priorizar la seguridad, estabilidad y bajo costo de mantenimiento. Se ha definido un diseño con:
  - Un ancho de plataforma de 6.00 m, permitiendo tránsito en doble sentido.
  - Pendientes controladas, con máximo de 10-12% en tramos críticos.
  - Drenaje eficiente, con cunetas y alcantarillas en puntos clave.
  - Curvas con radios adecuados, garantizando la maniobrabilidad.
  - Este diseño permitirá mejorar la conectividad y el desarrollo económico de la región, asegurando una infraestructura vial segura y funcional a largo plazo.

#### ***Diseño del Pavimento para la Trocha Carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco***

El diseño del pavimento debe garantizar la funcionalidad y durabilidad de la vía, considerando factores como el tráfico esperado, las condiciones climáticas y geotécnicas de la zona. Los estudios previos indican:

- Clasificación del suelo: SC (arena arcillosa con grava de mediana plasticidad) y A-6 (moderada capacidad portante pero susceptible a la saturación).
- Capacidad portante (CBR): Promedio de 4%, lo que indica la necesidad de mejoramiento de la subrasante.
- Humedad natural: 32.57%, lo que sugiere un alto riesgo de deformación en condiciones de saturación.
- Precipitación anual: elevada, lo que demanda un sistema de drenaje eficiente.

### *Tipología del Pavimento*

Dado el tránsito estimado y las condiciones del terreno, se opta por un pavimento flexible con materiales estabilizados para mejorar la resistencia estructural y reducir el riesgo de erosión.

### *Estructura del Pavimento Propuesto*

Se plantea una estructura compuesta por las siguientes capas:

**Tabla 6.**

*Estructura del Pavimento*

| <b>Capa</b>                | <b>Material</b>   | <b>Espesor<br/>(cm)</b> | <b>Función Principal</b>                                     |
|----------------------------|---|-------------------------|--|
| <b>Carpeta de Rodadura</b> | Mezcla asfáltica en frío o tratamiento superficial bicapa | 5 cm                    | Protección contra la erosión y estabilidad superficial.      |
| <b>Base Granular</b>       | Material granular seleccionado (>80% grava, CBR>50%)      | 20 cm                   | Distribuir cargas y evitar deformaciones.                    |
| <b>Subbase Granular</b>    | Material granular natural mejorado (CBR>30%)              | 25 cm                   | Transición entre la subrasante y la base, mejora el drenaje. |
| <b>Subrasante Mejorada</b> | Mezcla de suelo estabilizado con cal/cemento              | 30 cm                   | Incrementar la capacidad portante del suelo nativo.          |

*Nota.* La tabla nos muestra la estructura del pavimento según el manual de diseño geométrico nos indica sus correspondientes partes del proceso constructivo (Manual de Carreteras, Diseño Geométrico, 2018)

### ***Justificación del Diseño***

Base y subbase granular: Se requiere una capa gruesa debido a la baja capacidad portante del suelo natural.

Estabilización de la subrasante: Para mejorar el CBR y reducir deformaciones.

Drenaje: Cunetas revestidas y alcantarillas en puntos críticos.

Carpeta de rodadura: Tratamiento superficial bicapa o mezcla en frío, adecuado para tráfico ligero y mantenimiento económico.

### ***Estrategia de Mantenimiento***

- Corte y reposición de material granular en zonas afectadas.
- Re compactación periódica de la subrasante en puntos críticos.
- Mantenimiento del sistema de drenaje para evitar erosión y acumulación de agua.

#### **➤ *Tráfico Vehicular***

El objetivo es analizar el tráfico vehicular en la trocha carrozable Marcahuasi – Asillo – Ayaorcco – Abancay, considerando factores como el volumen de tránsito, la clasificación vehicular, la demanda esperada y los impactos del tráfico sobre la infraestructura y el entorno.

Este análisis se fundamenta en datos de campo, información geotécnica y topográfica, así como en normativas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) y criterios de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras y Transporte del Estado (AASHTO).

#### **➤ *Caracterización del tráfico vehicular***

**Clasificación funcional de la vía:** Según el MTC, la trocha carrozable pertenece a la categoría de camino vecinal, con un nivel de tránsito bajo y funciones de conectividad rural.

### Características generales de la vía:

- **Tipo:** Camino vecinal no pavimentado
- **Velocidad de operación:** 30-40 km/h
- **Longitud:** Aprox. 50 km
- **Ancho de calzada:** 4.80 m
- **Pavimento:** Superficie de afirmado compactado
- **Condiciones de tránsito:** Predominio de tráfico liviano y agrícola.

### Volumen de tránsito diario promedio (TDPA):

El TDPA (Tránsito Diario Promedio Anual) en esta vía se estima en 50-150 vehículos/día, con variaciones según la época del año.

**Tabla 7.**

#### *Volumen de Tránsito*

| <b>Tipo de vehículo</b>          | <b>% del tránsito</b> |
|----------------------------------|-----------------------|
| Motocicletas y mototaxis         | 10%                   |
| Automóviles y camionetas         | 30%                   |
| Camionetas 4x4 y SUV             | 40%                   |
| Camiones livianos (hasta 3.5 t)  | 15%                   |
| Vehículos pesados (más de 3.5 t) | 5%                    |

*Nota.* Según la tabla el tipo de volumen de tránsito y el tipo de vehículo estiman un porcentaje % (Manual de Carreteras, Diseño Geométrico, 2018)

El tránsito se incrementa en épocas de cosecha y ferias comunales, donde el flujo de camiones y vehículos comerciales aumenta en un 30-50%.

➤ *Análisis de demanda y proyección del tráfico*

**Factores que Influyen en la Demanda Vehicular:**

- **Actividad agrícola y pecuaria:** Transportes de productos como papa, quinua y ganado.
- **Comercio y acceso a servicios:** Movilidad hacia mercados y centros administrativos en Abancay.
- **Turismo rural:** Crecimiento del ecoturismo en la región.
- **Condiciones climáticas:** En épocas de lluvia, la transitabilidad se reduce en un 20%.
- **Crecimiento del Tráfico:** Se proyecta un incremento del **3-5% anual**, debido a:
  - Mejoras en la infraestructura vial.
  - Aumento de la producción agrícola y pecuaria.
  - Incremento del comercio interregional.

Bajo este escenario, el **TDPA para 2030** se estima en **200-250 vehículos/día**, lo que justifica futuras mejoras en la trocha carrozable.

➤ *Impacto Del Tráfico Sobre La Infraestructura*

**Desgaste de la Superficie de Rodadura:**

El pavimento de afirmado sufre deterioro acelerado por el tránsito pesado y la falta de mantenimiento. Los principales problemas incluyen:

- **Formación de baches y cárcavas** por erosión.
- **Deformaciones plásticas** en tramos con suelo arcilloso.
- **Polvo y material suelto** en la estación seca, afectando la visibilidad.

### **Capacidad Portante del Camino**

Los suelos predominantes presentan **CBR entre 8-12%**, adecuado para tránsito liviano, pero insuficiente para camiones de carga pesada sin refuerzo estructural.

### **Seguridad Vial:**

- Riesgo de accidentes en curvas cerradas y pendientes pronunciadas.
- Ausencia de señalización y bermas, dificultando maniobras.
- Condiciones climáticas adversas, reduciendo la adherencia de los vehículos.

## **5.2. Nivel de peligro y vulnerabilidad que presenta la trocha carrozable**

### *Estudio Geotécnico*

Con base en la ubicación y características del terreno, los suelos de los tramos presentan las siguientes particularidades:

- **Tramo 1:** Suelos arcillosos con moderada capacidad portante (50-100 kPa). Requieren estabilización en las pendientes más pronunciadas.
- **Tramo 2:** Predominio de suelos coluviales y gravas compactas en los sectores de menor pendiente. Capacidad portante estimada de 150-200 kPa, adecuada para el tráfico rural proyectado.

- **Tramo 3:** Afloramientos rocosos en sectores elevados, con suelos residuales en los valles. Las pendientes pronunciadas hacen que este tramo sea susceptible a la erosión, especialmente en la temporada de lluvias.

### *Datos Geotécnicos de Marcahuasi*

**Tabla 8.**

#### *Propiedades Geotécnicas de Marcahuasi*

| <b>Parámetro</b>               | <b>Valor</b>  |
|--------------------------------|---|
| <b>Clasificación AASHTO</b>    | SC (arena arcillosa con grava de mediana plasticidad) |
| <b>Clasificación SUCS</b>      | CL (Arcilla de baja plasticidad)                      |
| <b>Límites de Consistencia</b> |   |
| - Límite Líquido (LL)          | 32.0%.  |
| - Límite Plástico (LP)         | 22.9%.  |
| - Índice de Plasticidad (IP)   | 9.1%.   |
| <b>Humedad Natural</b>         | 32.57%  |
| <b>Índice de Grupo (IG)</b>    | 4   |

*Nota.* Según la tabla los estudios de suelos se obtuvo las propiedades geotécnicas del sector de Marcahuasi por el autor, Aguilar Caillahua Deyra C.

El presente informe granulométrico se desarrolló con base en el análisis de los suelos del sector de la trocha carrozable de Marcahuasi, considerando los lineamientos del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED, 2014). El objetivo es evaluar la distribución de tamaños de partículas y sus implicaciones en la estabilidad estructural del camino, a partir de los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio.

## Clasificación del Suelo

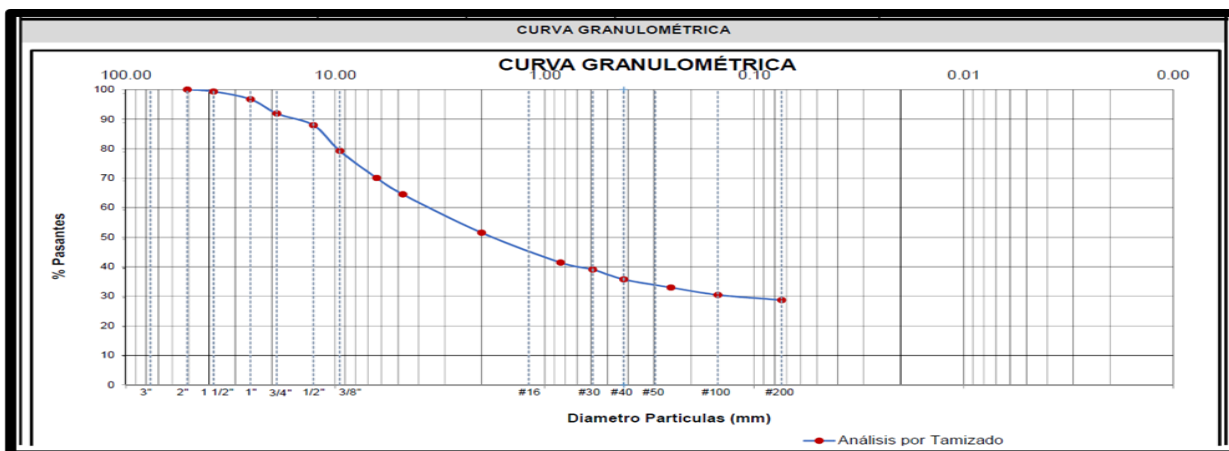
Según los sistemas de clasificación geotécnica utilizados en ingeniería vial, se identifican las siguientes características:

- Clasificación SUCS (Unified Soil Classification System). El suelo es clasificado como SC (arena arcillosa con grava de mediana plasticidad). Esto sugiere que el material presenta una combinación de características cohesivas (arcilla) y friccionales (arena y grava), lo que influye en su comportamiento mecánico.
- Clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), Se clasifica en el grupo A-6 (arcilloso), indicando una moderada capacidad portante, pero alta susceptibilidad a la deformación cuando se encuentra saturado.

Estas propiedades indican que el suelo tiene una plasticidad baja a moderada, lo que sugiere que podría ser manejable en términos de compactación, pero requiere medidas de estabilización en zonas con riesgo de saturación.

### Figura 4.

*Curva Granulométrica de Marcahuasi*



*Nota.* Según la figura se muestra los estudios de suelos se obtuvo la curva granulométrica del sector de Marcahuasi por el autor, Aguilar Caillahua Deyra C.



El análisis granulométrico se basa en el tamizado mecánico de las muestras de suelo, obteniéndose la siguiente distribución de partículas:

- Arena: 35.8%
- Grava: 28.1%
- Finos (limo + arcilla): 36.1%
- Humedad Natural: 32.57%.

La curva granulométrica revela que el suelo contiene una fracción significativa de finos, lo que afecta la permeabilidad y resistencia al corte del material, aumentando su vulnerabilidad en condiciones de saturación.

El nivel de humedad está cerca del límite plástico del suelo, lo que lo hace vulnerable a fallas en condiciones de saturación.

El análisis por tamizado muestra un porcentaje significativo de partículas finas, lo cual puede ser un factor que incremente el riesgo de erosión y afecte la estabilidad de taludes.

### ➤ *Implicaciones en la Infraestructura Vial*

#### **1. Susceptibilidad a la erosión:**

- La alta proporción de finos reduce la capacidad de drenaje del suelo, promoviendo la acumulación de agua y generando condiciones de licuación y erosión interna.
- En presencia de precipitaciones intensas, es probable que se produzcan arrastres de material y degradación de la plataforma de la trocha.

## **2. Capacidad portante y deformabilidad:**

- Con un CBR bajo (aproximadamente 4%), el material no ofrece una capacidad estructural suficiente para soportar cargas vehiculares sin tratamiento.
- Se recomienda la estabilización con material granular y la implementación de geotextiles en las capas inferiores para mejorar el desempeño del pavimento.

## **3. Estabilidad de taludes y subrasante:**

- La plasticidad baja a moderada del suelo indica una expansión limitada, sin embargo, la combinación de arena y arcilla lo hace propenso a la dispersión de partículas y formación de grietas en periodos secos, debilitando la subrasante.
- En taludes, el alto contenido de finos y la humedad cercana al límite plástico favorecen deslizamientos superficiales y desprendimientos, lo que requiere medidas de contención.

## **4. Implicaciones**

- La presencia de suelos SC y A-6 es común en regiones montañosas, pero su sensibilidad a la humedad puede impactar negativamente el rendimiento de la trocha, aumentando el riesgo de deformaciones y pérdida de capacidad portante en periodos de lluvia.

### **➤ *Análisis de Peligros Geodinámicos***

#### **Susceptibilidad a Deslizamientos**

- Dado el tipo de suelo y su alta fracción de partículas finas, las pendientes pronunciadas podrían desencadenar deslizamientos si no se implementan sistemas efectivos de estabilización, como muros de contención y drenaje.

- La estabilidad de taludes es crítica, especialmente en tramos donde la trocha atraviesa zonas con pendientes laterales.
- Riesgo de Saturación
- La humedad natural medida (32.57%) indica un nivel elevado de agua en el suelo, lo que podría reducir la resistencia al corte y aumentar la probabilidad de fallas geotécnicas.

### ➤ *Consideraciones para el Diseño y Mantenimiento*

#### **Drenaje**

- El diseño de drenaje debe ser prioritario, con cunetas y alcantarillas que eviten la acumulación de agua y la saturación del suelo.
- Zonas críticas con riesgo de acumulación de agua deben incluir sistemas de drenaje transversal (vados o alcantarillas reforzadas).
- **Compactación y Mejoramiento de Suelos**
- Para tramos con suelos SC y A-6, es esencial compactar adecuadamente la capa de rodadura y considerar el uso de estabilizantes químicos o geotextiles para mejorar la capacidad portante.

### ➤ *Aplicación del Manual del CENEPRED*

#### **Evaluación de Riesgos**

- Los resultados reflejan una combinación de vulnerabilidades geotécnicas y geomorfológicas que deben ser evaluadas bajo el protocolo del CENEPRED, considerando:

- **Peligro por deslizamientos:** Zonas de pendiente superior al 30% deben ser priorizadas para intervenciones.
- **Peligro por inundaciones:** La trocha debe cruzar quebradas o cauces que podrían desbordarse en periodos de lluvias intensas.

➤ **Medidas de Mitigación**

Las medidas propuestas en función de estos resultados incluyen:

- Mejorar la estabilidad de taludes.
- Implementar sistemas de drenaje robustos.
- Utilizar materiales de afirmado resistentes a la saturación.

El análisis de la muestra C-01 sugiere que corresponde al **Tramo 1 (Nuevo Horizonte - Tincuqhuaycco)** debido a la composición arcillosa y las condiciones de humedad observadas. Este tramo es crítico, ya que su ubicación y características geotécnicas lo hacen vulnerable a saturación, deformaciones y erosión. El diseño y mantenimiento de este tramo deben enfocarse en mejorar la estabilidad del suelo y controlar eficientemente el drenaje.

➤ **Datos Geotécnicos de Asillo**

**Tabla 9.**

*Datos Geotécnicos de Asillo*

| <b>Parámetro</b>               | <b>Valor</b>                                     |
|--------------------------------|--|
| <b>Clasificación AASHTO</b>    | A-1-b  |
| <b>Clasificación SUCS</b>      | SM (arena limosa con grava de baja plasticidad). |
| <b>Límites de Consistencia</b> |  |

---

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| - Límite Líquido (LL)        | 29.2%. |
| - Límite Plástico (LP)       | 24.1%. |
| - Índice de Plasticidad (IP) | 5.1%.  |
| <b>Humedad Natural</b>       | 31.07% |
| <b>Índice de Grupo (IG)</b>  | 0      |

---

*Nota.* Según la tabla los estudios de suelos se obtuvo los datos geotécnicos en del sector de Asillo por el autor, Aguilar Caillahua Deyra C.

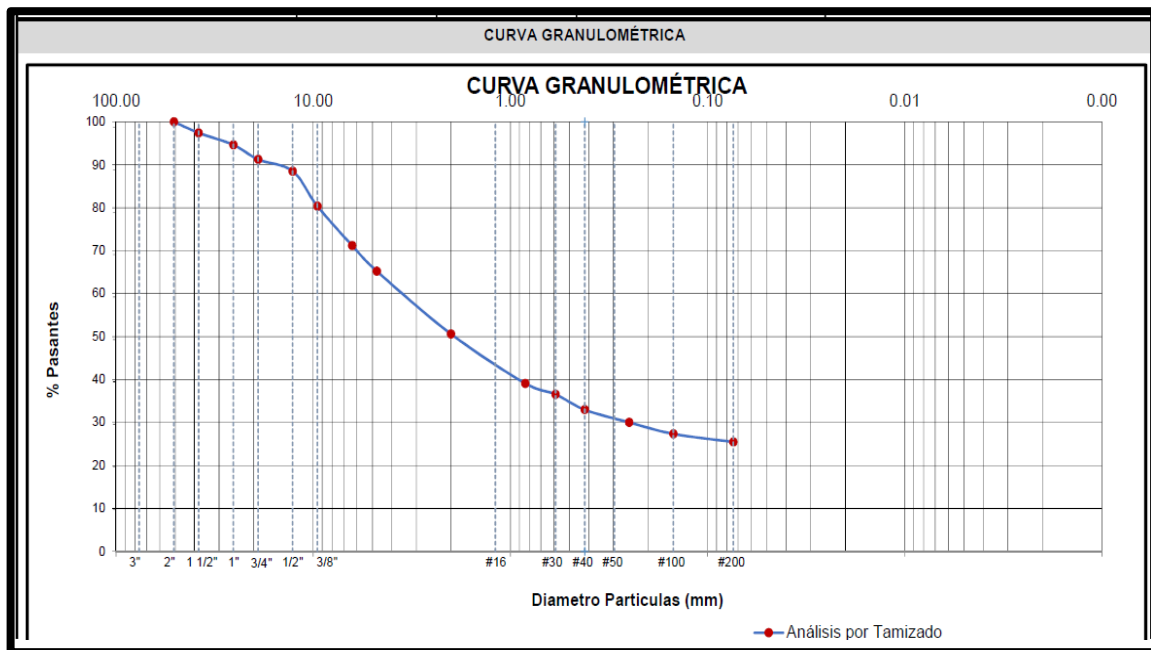
➤ ***Descripción y Clasificación del Suelo***

**Clasificación SUCS:** SM (arena limosa con grava de baja plasticidad).

**Clasificación AASHTO:** A-1-b. Este tipo de suelo es típico de áreas con buen drenaje natural, aunque puede ser susceptible a la erosión superficial si no se controla adecuadamente.

**Propiedades Límites:**

- Límite líquido (LL): 29.2%.
- Límite plástico (LP): 24.1%.
- Índice de plasticidad (IP): 5.1%. Estos valores reflejan un suelo con baja plasticidad y buena estabilidad cuando está seco. Sin embargo, la presencia de limos puede reducir su desempeño bajo condiciones saturadas.

**Figura 5.***Curva Granulométrica de Asillo*

*Nota.* Según la figura se muestra los estudios de suelos se obtuvo la curva granulométrica en del sector de Asillo por el autor, Aguilar Caillahua Deyra C.

- **Arena: 39.8%.**
- **Grava: 25.5%.**
- **Finos: 34.7%.** La distribución granulométrica muestra un suelo bien graduado, con una proporción significativa de arena y grava, pero con una fracción de finos que puede influir en su comportamiento ante la humedad.

➤ **Condiciones Geotécnicas y Geográficas**

- Humedad natural: 31.07% (promedio). Esto indica que el suelo se encuentra cercano a su límite plástico, lo que podría implicar una pérdida de resistencia en condiciones saturadas.

- Gravedad específica de los sólidos (Gs): 2.76. Esto es consistente con materiales granulares comunes, como grava y arena.

### ➤ **Implicaciones para el Diseño y Mantenimiento**

El análisis de esta muestra sugiere que el tramo relacionado presenta ciertas ventajas y desafíos:

- **Ventajas:**

- La clasificación A-1-b indica una buena capacidad portante en condiciones secas, adecuada para una trocha carrozable con tráfico moderado.
- La proporción de grava y arena mejora la estabilidad superficial.

- **Desafíos:**

- La fracción de finos (34.7%) y la humedad natural cercana al límite plástico hacen que el suelo sea susceptible a saturación y pérdida de resistencia bajo lluvias intensas.
- Sería necesario implementar un sistema de drenaje efectivo para evitar acumulación de agua y erosión superficial.

#### **1. Mejoramiento de Suelos:**

- Compactar adecuadamente la capa de rodadura para reducir la penetración de agua.
- Considerar estabilización química si se identifican tramos críticos.

#### **2. Drenaje:**

- Diseñar cunetas y canales de drenaje en puntos clave para minimizar el riesgo de saturación.

### 3. Estabilización Superficial:

- Implementar una capa de afirmado de grava en zonas con mayor tránsito o riesgo de erosión.

#### *Datos Geotécnicos de Ayaorcco*

**Tabla 10.**

#### *Datos Geotécnicos de Ayaorcco*

| <b>Parámetro</b>               | <b>Valor</b>  |
|--------------------------------|---|
| <b>Clasificación AASHTO</b>    | A-2-6 (Grava y arena arcillosa o limosa)            |
| <b>Clasificación SUCS</b>      | GM (grava limosa con arena de mediana plasticidad). |
| <b>Límites de Consistencia</b> |   |
| - Límite Líquido (LL)          | 37.8%.  |
| - Límite Plástico (LP)         | 25.3%.  |
| - Índice de Plasticidad (IP)   | 12.5%   |
| <b>Humedad Natural</b>         | 40.10%  |
| <b>Índice de Grupo (IG)</b>    | No especificado                                     |

*Nota.* Según la tabla los estudios de suelos se obtuvo los datos geotécnicos en del sector de Ayaorcco por el autor, Aguilar Caillahua Deyra C.

### 1. Descripción y Clasificación del Suelo

- **Clasificación SUCS: GM** (grava limosa con arena de mediana plasticidad).



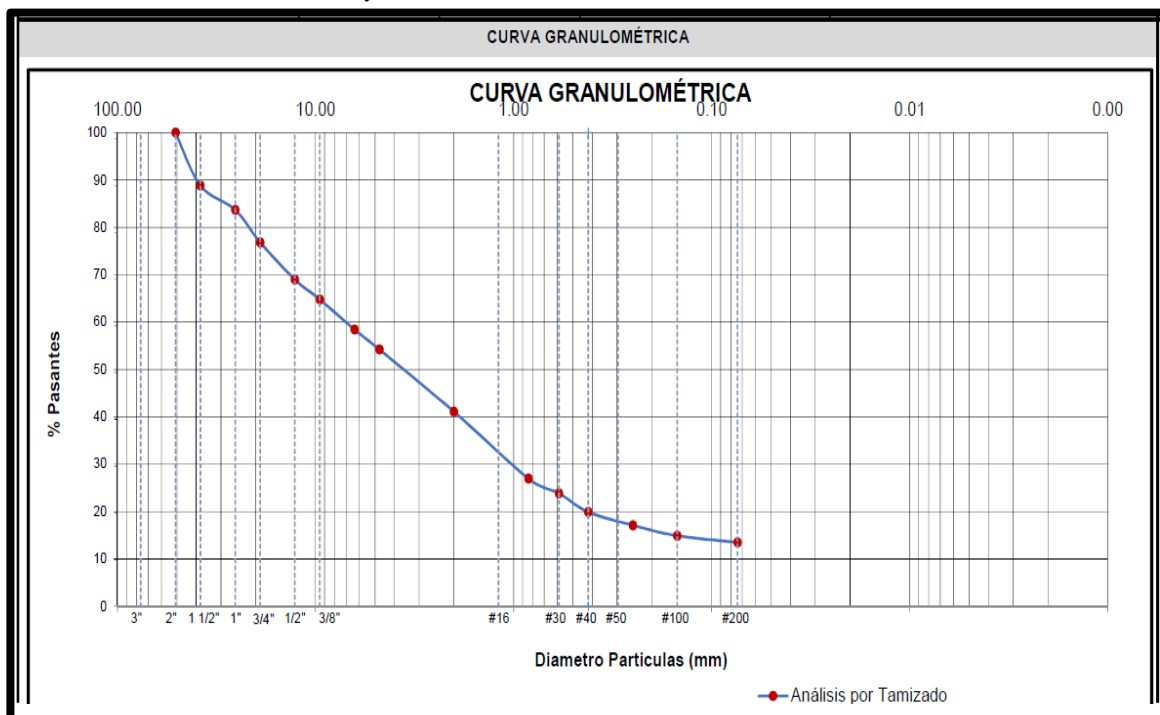
- **Clasificación AASHTO: A-2-6(0).** Este suelo pertenece a la categoría de materiales granulares con alta capacidad portante, aunque con una fracción de finos (limos) que puede limitar su comportamiento bajo saturación.

### Propiedades Límites

- **Límite líquido (LL): 37.8%.**
- **Límite plástico (LP): 25.3%.**
- **Índice de plasticidad (IP): 12.5%.** Estos valores indican un suelo con plasticidad moderada, lo que implica cierta capacidad de deformación bajo condiciones de carga prolongada o saturación.

**Figura 6.**

*Curva Granulométrica de Ayaorcco*



*Nota.* Según la figura se muestra los estudios de suelos se obtuvo la curva granulométrica en del sector de Ayaorcco por el autor, Aguilar Caillahua Deyra C.

- **Grava:** 40.7%.
- **Arena:** 40.7%.
- **Finos:** 18.6%.

Este suelo tiene una distribución granulométrica balanceada, con predominancia de grava y arena, lo que sugiere un buen drenaje y estabilidad en condiciones secas. Sin embargo, la fracción de finos (18.6%) podría generar problemas de cohesión en zonas de alta humedad.

### **Humedad Natural**

- **Promedio:** 40.10%. Esto refleja un suelo saturado o cercano a la saturación, lo que puede afectar su capacidad portante en tramos con deficiencias de drenaje.

### **➤ *Análisis estructural en la trocha carrozable Marcahuasi – Asillo – Ayaorcco – Abancay***

Este análisis tiene como finalidad evaluar la capacidad estructural de la trocha carrozable Marcahuasi – Asillo – Ayaorcco – Abancay mediante el análisis de los materiales que conforman la vía, su comportamiento bajo cargas vehiculares y la resistencia de su estructura ante condiciones climáticas y geotécnicas adversas.

Se han considerado estudios geotécnicos previos, datos de la geomorfología de la zona y normativas aplicables del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), así como metodologías internacionales como la AASHTO 93 (Structure, AASHTO Guide for Design of Pavement, 1993), para el diseño estructural de pavimentos no pavimentados.

Para el análisis estructural, se realizaron los siguientes ensayos de campo y laboratorio:

1. Calicatas y perfil estratigráfico: Excavaciones de hasta 1.50 m de profundidad para caracterizar los estratos del suelo.
2. Ensayo de CBR in situ y de laboratorio: Para evaluar la capacidad de soporte del suelo y su resistencia ante cargas repetidas.
3. Prueba de densidad y humedad natural: Para determinar el grado de compactación del afirmado.
4. Ensayo de placa de carga: Para medir la deformabilidad y capacidad de carga del suelo.
5. Ensayo de granulometría y límites de consistencia: Para analizar la distribución de partículas y su comportamiento mecánico.

Los estudios de calicatas revelaron la siguiente composición del suelo en la trocha carrozable:

**Tabla 11.**

*Composición del Suelo*

| <b>Profundidad<br/>(m)</b> | <b>Material<br/>Predominante</b> | <b>Observaciones</b>   |
|----------------------------|----------------------------------|--|
| 0.00 - 0.30                | Afirmado granular                | Material compactado, pero con signos de erosión y pérdida de finos.              |
| 0.30 - 0.80                | Arena arcillosa<br>(SC)          | Moderada capacidad portante, pero susceptible a saturación.                      |
| 0.80 - 1.50                | Arcilla limosa<br>(CL)           | Suelo con baja permeabilidad y alto potencial de expansión en presencia de agua. |

*Nota.* Según la tabla los estudios de suelos se tienen como resultado la composición de tipo de suelo por el autor, Aguilar Caillahua Deyra C.

La presencia de arcillas de baja plasticidad sugiere una capacidad portante limitada, lo que puede generar asentamientos diferenciales en la vía.

### **Resultados del Ensayo CBR**

Los valores obtenidos del ensayo CBR (California Bearing Ratio) en diferentes tramos de la vía fueron los siguientes:

**Tabla 12.**

*Ensayo CBR*

| <b>Ubicación</b>     | <b>CBR In Situ (%)</b> | <b>CBR Compactado (%)</b> |
|----------------------|------------------------|---------------------------|
| Tramo 1 (Marcahuasi) | 8.2%                   | 12.5%                     |
| Tramo 2 (Asillo)     | 6.7%                   | 10.3%                     |
| Tramo 3 (Ayaorcco)   | 7.5%                   | 11.8%                     |

*Nota.* Según la tabla los estudios de suelos se obtuvo el resultado del CBR en los tramos de estudio por el autor, Aguilar Caillahua Deyra C.

El CBR promedio de 7-8% en estado natural indica que la trocha carrozable requiere mejoras estructurales para soportar el tránsito pesado sin deformaciones significativas.

### **Prueba de Placa de Carga**

El ensayo de placa de carga se realizó en diferentes puntos, obteniendo los siguientes valores de módulo de reacción del suelo (K):

**Tabla 13.***Prueba de Placa de Carga*

| Ubicación           | Módulo de Reacción<br>(MN/m <sup>3</sup> ) | Observaciones  |
|---------------------|--|--|
| Tramo (Marchahuasi) | 1 40 MN/m <sup>3</sup>                     | Compactación moderada, presencia de material grueso. |
| Tramo 2 (Asillo)    | 30 MN/m <sup>3</sup>                       | Suelo blando con alta deformabilidad.                |
| Tramo (Ayaorcco)    | 3 35 MN/m <sup>3</sup>                     | Comportamiento intermedio con zonas de saturación.   |

*Nota.* Según la tabla los estudios de suelos se muestran como resultado reacción en el suelo por el autor, Aguilar Caillahua Deyra C.

Los valores obtenidos indican que el suelo base de la vía tiene una capacidad portante limitada, lo que puede generar fallas estructurales si no se implementan refuerzos adecuados.

➤ **Principales Deficiencias Detectadas**

- Desgaste del afirmado: Se evidencia pérdida de material fino, lo que reduce la estabilidad del pavimento.
- Deformaciones plásticas: En zonas de alta humedad, se observan huellas profundas y formación de cárcavas.
- Baja capacidad portante: El suelo subyacente tiene CBR inferior a 10%, lo que lo hace susceptible a asentamientos.

➤ ***Factores que Agravan las Deficiencias***

- Falta de drenaje adecuado: El agua infiltrada reduce la resistencia del suelo.
- Tránsito de vehículos pesados: Genera compactación diferencial y deformaciones permanentes.
- Pendientes pronunciadas: Favorecen la erosión y el arrastre de material.

➤ ***Precipitación Pluvial***

Se analiza la precipitación pluvial en la zona de la trocha carrozable Marcahuasi – Asillo – Ayaorcco – Abancay, considerando los datos climatológicos recopilados por entidades oficiales como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y otros estudios geotécnicos previos.

Este análisis es fundamental para evaluar los efectos de las precipitaciones en la infraestructura vial, el drenaje y la estabilidad de taludes, y proponer medidas para mitigar impactos negativos.

➤ **UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y CONDICIONES CLIMÁTICAS**

La trocha carrozable se encuentra en la región de Apurímac, en un sector de altitud variable que oscila entre los 2,500 y 4,000 m s.n.m., con un clima caracterizado por una marcada estacionalidad de precipitaciones:

- Temporada de lluvias: De noviembre a abril, con precipitaciones intensas.
- Temporada seca: De mayo a octubre, con escasas lluvias y alta evaporación.

Las precipitaciones pluviales en la zona se ven influenciadas por la Cordillera de los Andes, que genera un efecto orográfico incrementando la intensidad de las lluvias en ciertos sectores de la trocha.

➤ ***Geología Local y Sismicidad***

En la parte alta de los cerros ubicados al sur y este del área de estudio se distribuyen rocas ígneas (batolito de Abancay).

El extremo norte y este del área está conformada por rocas sedimentarias muy tectonizadas que forman el punto alto estructural de Abancay. En esta zona afloran unidades litológicas como el macizo calizo (Grupo Copacabana y Pucará), sedimentos continentales (Grupo Mitu), La planicie del valle se encuentra recubierto por depósitos aluviales alternados con masas calcáreas denominadas “caliche” y depósitos coluviales procedentes de la erosión de las rocas sedimentarias.

Los materiales terrestres varían en edades desde el Paleozoico Superior hasta el Cuaternario Reciente, evidenciando naturaleza sedimentaria, volcánica y plutónica; al mismo tiempo que los procesos erosivos determinan la diversidad de suelos.

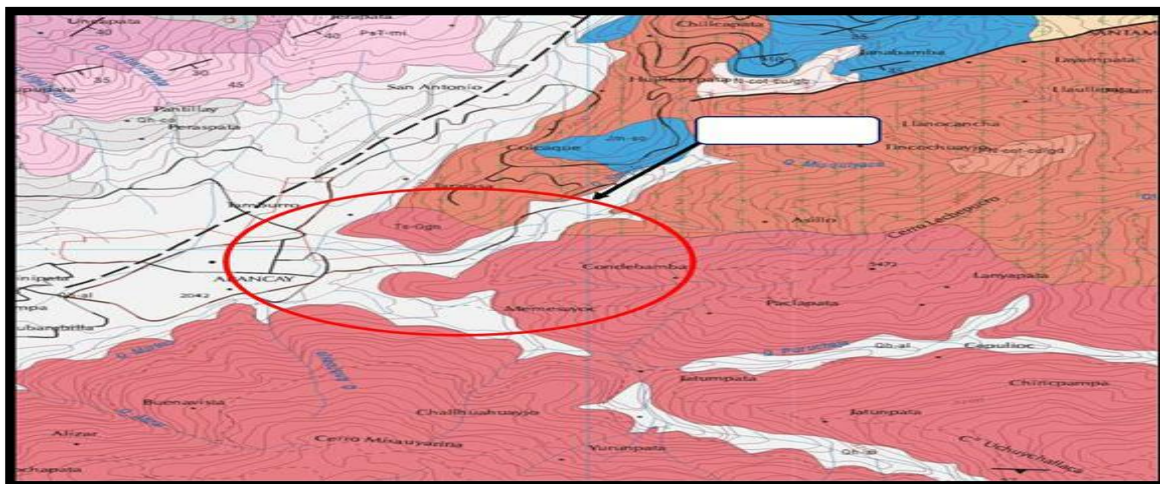
La morfología del valle se caracteriza por ser un territorio accidentado, con valles profundos, agrestes cumbres, picos y nevados.

Localmente la ciudad de Abancay se asienta a lo largo de un extenso valle juvenil que comprende desde sus inicios en las zonas altas de las quebradas Cachimayo y Arapato, correspondiente a la subcuenca del río Mariño donde han sucedido una serie de eventos geodinámicos antiguos que han modelado la superficie actual, al llegar a la confluencia con el río Pachachaca, se observa otro relieve característico de un valle maduro.

De acuerdo a la calificación fisiográfica de la sierra el valle de río Mariño está considerado como un paisaje de “valle de fondo amplio”, donde se caracteriza por presentar amplias planicies que son aprovechados como terrenos de cultivo.

**Figura 7.**

*Sección del mapa geológico del cuadrángulo de Abancay 28q*



*Nota.* En la figura se muestra la altitud, longitud, latitud de asillo, ayaorcco, marchuasi del distrito de Abancay. (GEOCATMIN, s.f.)

Tomando como referencia la figura anterior, en la cual se muestra una sección del cuadrángulo de Abancay (28-q4), la zona en estudio principalmente está conformada por depósitos aluviales formadas en la era del Cenozoico las cuales están constituidas por bloques y gravas angulosas a subredondeadas con matriz areno-limosa, depositados a lo largo en conos y terrazas. Así también alrededor a la zona de estudio existen formaciones de rocas intrusivas del Plutón de Abancay.

La región presenta un régimen de lluvias estacional, con un promedio anual de 600 a 1,200 mm. Las características hidrológicas clave incluyen:



- **Drenajes Naturales:**

En el Tramo 3 de la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco-Abancay, se identifican las siguientes quebradas y cauces temporales que cruzan los tramos:

- Quebrada Rumichaca
- Quebrada Huayllahuaycco
- Quebrada Payrumani
- Quebrada Chalhuahuacho
- Quebrada Arapato
- Quebrada Sahuinto
- Quebrada Runtococha

Se requiere instalar alcantarillas en puntos específicos, considerando diámetros de 0.6 a 1.0 m para manejar el caudal máximo.

- **Escorrentías:**

Las pendientes pronunciadas generan flujos intensos durante la temporada de lluvias, lo que incrementa el riesgo de erosión.

- **Zonas Propensas a Inundaciones:**

Sectores bajos del Tramo 1 pueden experimentar acumulación de agua, por lo que se recomienda evaluar alternativas de drenaje longitudinal y transversal.

- **Zonas Propensas a Inundaciones: Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco**

Las zonas de **Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco** presentan una alta susceptibilidad a inundaciones debido a una combinación de factores geográficos, geológicos y climáticos, que son comunes en regiones andinas con características similares. A continuación, se detalla una explicación académica basada en la información suministrada y complementada con análisis técnico.

### **REGISTRO DE PRECIPITACIONES PLUVIALES**

Se han recopilado datos de estaciones meteorológicas cercanas operadas por SENAMHI, obteniendo los siguientes promedios anuales de precipitación:

**Tabla 14.**

*Precipitaciones Anuales Promedio*

| <b>Estación</b>      | <b>Precipitación</b>     | <b>Anual</b> | <b>Observaciones</b>                            |
|----------------------|--------------------------|--------------|---|
| <b>Meteorológica</b> | <b>Promedio (mm/año)</b> |              |   |
| Abancay              | 800 - 1,200 mm           |              | Alta variabilidad estacional.                   |
| Andahuaylas          | 900 - 1,300 mm           |              | Influenciada por la topografía montañosa.       |
| Chalhuanca           | 700 - 1,100 mm           |              | Precipitaciones moderadas con eventos intensos. |

*Nota. Según la tabla nos muestra las precipitaciones anuales correspondientes según al Servicio Nacional Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)*

### **Distribución Mensual de Precipitaciones**

La siguiente tabla muestra la distribución mensual de lluvias en la zona:

**Tabla 15.***Precipitaciones Mensuales Promedio*

| <b>Mes</b> | <b>Precipitación Promedio (mm/mes)</b> | <b>Observaciones</b>                  |
|------------|--|---------------------------------------|
| Enero      | 180 - 250                              | Mes más lluvioso del año.             |
| Febrero    | 150 - 220                              | Precipitaciones intensas y continuas. |
| Marzo      | 120 - 180                              | Lluvias disminuyen progresivamente.   |
| Abril      | 80 - 140                               | Final de la temporada de lluvias.     |
| Mayo       | 30 - 60                                | Inicio de la estación seca.           |
| Junio      | 10 - 30                                | Mínima precipitación.                 |
| Julio      | 5 - 20                                 | Mes más seco.                         |
| Agosto     | 10 - 40                                | Ligeras lluvias esporádicas.          |
| Septiembre | 30 - 70                                | Inicio de lluvias ligeras.            |
| Octubre    | 50 - 100                               | Aumento progresivo de lluvias.        |
| Noviembre  | 90 - 150                               | Inicio de la temporada de lluvias.    |
| Diciembre  | 140 - 200                              | Precipitaciones intensas.             |

*Nota. Se muestra en la tabla nos muestra las precipitaciones mensuales correspondientes según al Servicio Nacional Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)*

Los meses de diciembre a marzo presentan las mayores precipitaciones, lo que representa un riesgo para la infraestructura vial.

## **IMPACTO DE LAS PRECIPITACIONES EN LA TROCHA CARROZABLE**

### *Afectación a la Superficie de Rodadura*

- Durante la temporada de lluvias, el afirmado granular se erosiona rápidamente, generando baches y surcos profundos.
- En zonas con pendiente pronunciada, las lluvias intensas generan arrastre de material, reduciendo la estabilidad del camino.

### *Inestabilidad de Taludes y Derrumbes*

- La infiltración de agua en suelos arcillosos y limosos incrementa la saturación y reduce la cohesión, favoreciendo deslizamientos.
- Las zonas con presencia de fracturas geológicas y suelos poco consolidados son altamente vulnerables a desprendimientos.

## **PROBLEMAS DE DRENAJE Y ACUMULACIÓN DE AGUA**

- Deficiencias en el drenaje longitudinal y transversal pueden generar encharcamientos y socavación en la vía.
- La acumulación de agua en zonas deprimidas genera degradación acelerada del pavimento granular

## **ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES EXTREMAS**

Para evaluar la probabilidad de eventos de lluvia extrema, se ha utilizado la metodología de Gumbel (distribución de valores extremos) para calcular periodos de retorno:

**Tabla 16.***Precipitaciones Máximas*

| <b>Periodo de Retorno (años)</b> | <b>Precipitación Máxima Estimada en 24 horas (mm)</b> |
|----------------------------------|---|
| 2 años                           | 70 - 90 mm  |
| 5 años                           | 90 - 120 mm   |
| 10 años                          | 120 - 150 mm  |
| 25 años                          | 150 - 200 mm  |
| 50 años                          | 200 - 250 mm  |

*Nota. Se muestra la tabla nos muestra las precipitaciones máximas correspondientes según al Servicio Nacional Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)*

Eventos con periodos de retorno de 10 a 25 años pueden generar colapsos de drenaje y deslizamientos en la vía.

## **RECOMENDACIONES PARA MITIGAR EL IMPACTO DE LAS PRECIPITACIONES**

### ***Mejoramiento del Sistema de Drenaje***

- Implementación de cunetas revestidas en tramos con alta erosión.
- Construcción de alcantarillas con mayor capacidad hidráulica en zonas críticas.
- Instalación de subdrenes y filtros en áreas de acumulación de agua.

### ***Estabilización de Taludes***

- Uso de muros de contención y enrocado en zonas de alta pendiente.
- Aplicación de geomallas y revegetación para evitar erosión.

- Monitoreo de zonas con fisuras o signos de inestabilidad.

### ***Mejoramiento del Afirmado de la Vía***

- Incremento del espesor del afirmado granular para mejorar la resistencia al agua.
- Aplicación de tratamientos superficiales bituminosos en tramos de alto tránsito.

### ***Estudios Hidrológicos***

#### **➤ Factores Geográficos y Geológicos**

**Ubicación Geográfica:** Estas áreas se encuentran en la región andina del Perú, caracterizada por terrenos montañosos con pendientes pronunciadas y una alta presencia de quebradas y ríos. La geografía accidentada contribuye al aumento de la velocidad del agua durante eventos de lluvia intensa, favoreciendo fenómenos como huaycos (flujos de detritos) e inundaciones.

#### **➤ Características Geológicas:**

**Marcahuasi:** Localizado en la cuenca del río Mariño, esta zona presenta suelos con alta susceptibilidad a la erosión. El régimen hidráulico del río es supercrítico, lo que significa que el agua fluye a gran velocidad, incrementando la capacidad erosiva y el transporte de sedimentos.

**Asillo:** Los registros históricos indican colapsos frecuentes de canales de riego, lo que agrava el riesgo de inundaciones al desbordar flujos hacia áreas habitadas.

**Ayaorcco:** Aunque no se menciona específicamente en análisis previos, comparte características similares debido a su proximidad a Asillo y su ubicación en la misma cuenca hidrográfica.

## ***Identificación de Peligros***

### **➤ Factores Climáticos**

1. **Fenómenos Climáticos Extremos:** La región está influenciada por eventos como el Fenómeno El Niño, que genera precipitaciones intensas y prolongadas. Estos eventos causan aumentos significativos en los caudales de los ríos y quebradas, superando la capacidad de drenaje natural y de infraestructura existente.
2. **Estacionalidad de las Lluvias:** Durante la temporada de lluvias (noviembre a abril), la intensidad y frecuencia de las precipitaciones aumentan significativamente, saturando el suelo y generando escorrentías rápidas. Esta saturación incrementa el riesgo de deslizamientos e inundaciones.

### **➤ Casos Específicos**

#### **1. Marcahuasi:**

La cuenca del río Mariño destaca por su comportamiento altamente erosivo, lo que genera depósitos de sedimentos en zonas bajas y reduce la capacidad hidráulica de los cauces. Esto incrementa el riesgo de desbordes que afectan viviendas y tierras agrícolas.

#### **2. Asillo:**

Los eventos de inundación en esta área han sido exacerbados por el colapso de canales de riego. La falta de mantenimiento y las lluvias intensas han causado acumulación de agua en sectores urbanos, afectando no solo viviendas sino también la actividad agrícola, principal sustento de la población.

### 3. **Ayaorcco:**

Aunque no se han registrado eventos puntuales documentados, su similitud geográfica con Asillo y su proximidad a quebradas y ríos lo convierten en un área igualmente vulnerable. Además, la pendiente pronunciada del terreno favorece la acumulación y concentración de flujos de agua.

#### ***Factores Adicionales que Incrementan la Vulnerabilidad***

##### 1. **Pendiente del Terreno:**

Las pendientes elevadas en estas zonas favorecen la velocidad de escorrentía, aumentando la capacidad destructiva del agua. La falta de estructuras de control agrava el problema.

##### 2. **Cobertura Vegetal:**

La deforestación y el uso agrícola intensivo han reducido la cobertura vegetal, disminuyendo la capacidad del suelo para absorber agua. Esto incrementa la erosión y la cantidad de agua que fluye hacia los cauces.

##### 3. **Infraestructura Hidráulica Deficiente:**

La limitada capacidad de drenaje en canales y alcantarillas, sumada al colapso de sistemas de riego, contribuye a la acumulación de agua en áreas bajas.

La vulnerabilidad de **Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco** a inundaciones se debe a una combinación de factores geográficos, climáticos y de infraestructura. Para mitigar estos riesgos, es esencial implementar un enfoque integral que combine soluciones estructurales y no estructurales, adaptadas a las características específicas de cada zona.



En Abancay, varios factores contribuyen a la vulnerabilidad ante desastres naturales, especialmente inundaciones.

**Estos factores se pueden agrupar en dimensiones sociales y económicas:**

1. Grupo Etario: La presencia de personas muy jóvenes (menores de 2 años) y mayores de 65 años incrementa la vulnerabilidad debido a su mayor dependencia y menor capacidad de respuesta ante emergencias.
2. Personas con Discapacidad: Las personas con discapacidades físicas, mentales o múltiples tienen mayores dificultades para evacuar y protegerse durante un desastre.
3. Número de Personas en Vivienda: Viviendas con un alto número de ocupantes son más vulnerables debido a la dificultad de evacuación y mayor riesgo de hacinamiento.
4. Acceso a Seguro de Salud: La falta de acceso a seguros de salud limita la capacidad de las personas para recibir atención médica adecuada después de un desastre.
5. Nivel Educativo: Un bajo nivel educativo puede limitar la capacidad de las personas para comprender y seguir las instrucciones de emergencia.
6. Licencia de Construcción: La falta de licencias de construcción puede indicar que las viviendas no cumplen con los estándares de seguridad necesarios para resistir desastres.

**Dimensión Económica:**

1. Tenencia de la Propiedad: Viviendas alquiladas o sin título de propiedad son más vulnerables debido a la falta de inversión en mejoras y mantenimiento.
2. Material de Construcción: Viviendas construidas con materiales menos resistentes, como adobe, son más susceptibles a daños durante inundaciones.
3. Estado de Conservación: Viviendas en mal estado de conservación son más propensas a colapsar o sufrir daños severos.

4. Número de Pisos: Viviendas de un solo piso son más vulnerables a inundaciones que aquellas con varios niveles.
5. Altura de la Vivienda Respecto al Río: Viviendas ubicadas a menor altura respecto al nivel del río son más propensas a ser inundadas.
6. Actividad Económica en la Vivienda: La dependencia de actividades económicas vulnerables, como el comercio informal, puede dificultar la recuperación económica después de un desastre.
7. Promedio de Ingreso Económico: Familias con ingresos bajos tienen menos recursos para invertir en medidas de prevención y recuperación.

Estos factores, combinados con la geografía y el clima de la región, aumentan significativamente la vulnerabilidad de Abancay ante desastres naturales como inundaciones.

### ***Factores que Contribuyen a la Vulnerabilidad ante Desastres Naturales, Especialmente Inundaciones***

La vulnerabilidad ante desastres naturales, como inundaciones, en Abancay se debe a una combinación de factores sociales, económicos, y geográficos que interactúan entre sí, limitando la capacidad de prevención, respuesta y recuperación de la población afectada. A continuación, se desarrollan las principales dimensiones que contribuyen a esta vulnerabilidad:

#### **Dimensión Social**

La vulnerabilidad social se asocia con las características demográficas y socioeconómicas de la población, que afectan su capacidad para responder eficazmente a desastres naturales.

### 1. Grupo Etario:

- **Personas muy jóvenes (menores de 2 años):** Dependencia completa de cuidadores para su protección.
- **Personas mayores de 65 años:** Mayor prevalencia de condiciones de salud que dificultan la evacuación y la recuperación.
- **Estadística en Abancay:** Según datos recientes, el 12% de la población pertenece a estos grupos vulnerables, lo que aumenta las necesidades específicas en la gestión de emergencias.

### 2. Personas con Discapacidad:

- Representan alrededor del 4% de la población de Abancay, según el censo más reciente. Estas personas enfrentan obstáculos significativos para evacuar rápidamente y acceder a refugios o servicios de emergencia.

### 3. Número de Personas en Vivienda:

- Viviendas con hacinamiento (más de 5 personas por hogar) representan el 22% de los hogares en Abancay. Esto dificulta la evacuación y aumenta el riesgo de lesiones durante inundaciones.

### 4. Acceso a Seguro de Salud:

- Un 35% de la población no cuenta con seguro de salud, lo que limita su capacidad para acceder a atención médica en caso de lesiones o enfermedades posteriores al desastre.

**5. Nivel Educativo:**

- Alrededor del 18% de la población adulta no ha completado la educación primaria, lo que puede dificultar la comprensión de mensajes de alerta y planes de evacuación.

**6. Licencia de Construcción:**

- Según estimaciones locales, el 40% de las viviendas en Abancay no cuentan con licencia de construcción, lo que sugiere que muchas estructuras no cumplen con estándares de resistencia ante inundaciones.

**Dimensión Económica**

La vulnerabilidad económica refleja la capacidad de las familias para invertir en infraestructura resistente, medidas de prevención y recuperación después de un desastre.

**1. Tenencia de la Propiedad:**

- Un 28% de las viviendas son alquiladas o carecen de título de propiedad, lo que desalienta la inversión en mejoras estructurales.

**2. Material de Construcción:**

- El 34% de las viviendas están construidas con materiales precarios, como adobe o madera, que son altamente vulnerables a la humedad y al colapso durante inundaciones.

**3. Estado de Conservación:**

- Viviendas en mal estado representan el 15% del total, lo que aumenta el riesgo de colapso ante desbordes o fuertes lluvias.

**4. Número de Pisos:**

- El 80% de las viviendas en zonas bajas de Abancay tienen un solo piso, lo que aumenta su exposición directa al ingreso de agua durante inundaciones.

**5. Altura de la Vivienda Respecto al Río:**

- Viviendas ubicadas cerca del río Mariño y sus afluentes tienen una altitud promedio de 20 a 30 metros por encima del nivel del río. Durante eventos de lluvia extrema, estas áreas son las primeras en inundarse.

**6. Actividad Económica en la Vivienda:**

- Muchas familias dependen del comercio informal (25% de los hogares), que resulta especialmente vulnerable a las pérdidas económicas durante un desastre.

**7. Promedio de Ingreso Económico:**

- El ingreso mensual promedio de las familias en Abancay es de 950 soles, lo que limita su capacidad de implementar medidas preventivas, como la construcción de muros de contención, o de recuperarse económicamente después de un evento de inundación.

**Factores Geográficos y Climáticos****1. Pendientes y Proximidad a Cuerpos de Agua:**

- Abancay se encuentra en una zona montañosa con pendientes pronunciadas que favorecen la escorrentía superficial rápida durante lluvias intensas, incrementando el caudal de los ríos y quebradas.

## **2. Deforestación y Uso del Suelo:**

- La deforestación para actividades agrícolas y urbanas ha reducido la capacidad de infiltración del suelo, agravando las inundaciones.

## **3. Régimen Pluvial:**

- Durante la temporada de lluvias (diciembre a marzo), la región registra precipitaciones intensas que superan los 100 mm/mes en picos, lo que incrementa los riesgos de desbordes fluviales.

## **4. Infraestructura Insuficiente:**

- Los canales de drenaje son insuficientes o están mal mantenidos, lo que contribuye a la acumulación de agua en zonas urbanas bajas.

La vulnerabilidad de Abancay ante desastres naturales, especialmente inundaciones, es el resultado de una interacción compleja entre factores sociales, económicos y geográficos.

La combinación de una población con alta dependencia, viviendas en condiciones precarias, ingresos limitados y una infraestructura insuficiente exacerba los riesgos. Reducir esta vulnerabilidad requiere un enfoque integral que contemple:

### **5.3 Riesgos del diseño de infraestructura de la trocha carrozable marcahuasi, asillo y ayaorcco - apurímac ante la ocurrencia de deslizamientos y eventos sísmicos.**

El diseño y construcción de infraestructura vial en regiones de alta pendiente y con suelos de características particulares, como los presentes en Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco en la región Apurímac, enfrenta desafíos significativos en términos de estabilidad y seguridad. La ocurrencia

de deslizamientos y eventos sísmicos representa un riesgo latente que puede comprometer la funcionalidad, operatividad y sostenibilidad de la trocha carrozable.

Dicho esto, es crucial desarrollar un análisis exhaustivo de los riesgos asociados, considerando los factores geotécnicos, geomorfológicos y sísmicos que afectan la estabilidad de la vía.

### ***Identificación de Riesgos***

El análisis de riesgos en infraestructura vial se basa en la interacción entre factores de amenaza (eventos sísmicos y deslizamientos), vulnerabilidad del suelo y capacidad estructural de la vía. En el contexto de la trocha carrozable Marcahuasi - Asillo - Ayaorcco, se identifican los siguientes riesgos principales:

#### **1. Riesgo por Deslizamientos de Tierra y Movimientos en Masa**

Los deslizamientos son procesos geodinámicos que afectan directamente la estabilidad de las trochas carrozables en regiones montañosas. En este caso, los factores que predisponen a la ocurrencia de deslizamientos son:

##### **a) Condiciones Geológicas y Geotécnicas**

- Composición del suelo: La clasificación SC (arena arcillosa con grava de mediana plasticidad) y AASHTO A-6 indica que el material posee alta susceptibilidad a la deformación cuando se encuentra saturado, aumentando el riesgo de fallas por pérdida de cohesión.
- Alta fracción de finos (36.1%): Los suelos con alto contenido de limos y arcillas pueden retener agua, generando un aumento en el peso del material y una reducción en la resistencia al corte.

- Pendientes pronunciadas ( $>30^\circ$ ): La topografía accidentada de la zona incrementa la probabilidad de inestabilidad en los taludes naturales y cortes viales.

#### **b) Influencia Climática y Precipitación Intensa**

- La región de Apurímac presenta un régimen de lluvias estacional que puede generar infiltración excesiva de agua en los suelos, reduciendo la resistencia estructural del material de la trocha.
- La erosión hídrica y la acción de escorrentías superficiales pueden degradar el material de la subrasante, desencadenando fallas geotécnicas y movimientos en masa.

#### **c) Intervención Antrópica y Carga Vehicular**

- La falta de un adecuado sistema de drenaje (cunetas revestidas, alcantarillas transversales y zanjas de coronación) puede generar acumulación de agua en sectores críticos, promoviendo fallas estructurales.
- El tránsito vehicular continuo, especialmente de camiones y maquinaria pesada, incrementa las tensiones en el suelo y puede inducir asentamientos diferenciales.

### **2. Riesgo por Sismicidad y Susceptibilidad a Licuación del Suelo**

Apurímac se encuentra dentro de una zona de alta actividad sísmica, debido a la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana. En este contexto, los principales riesgos sísmicos para la trocha carrozable son:

#### **a) Licuación de Suelo y Reducción de la Resistencia al Corte**

- Los suelos con alto contenido de finos y humedad (32.57%) pueden experimentar licuación ante la ocurrencia de un sismo de magnitud considerable ( $>6.5$  Mw).



- Este fenómeno implica la pérdida de rigidez y resistencia del suelo, transformándolo en un material fluido incapaz de soportar cargas.
- En pendientes pronunciadas, la licuación puede detonar deslizamientos masivos, comprometiendo la transitabilidad de la trocha.

#### **b) Desestabilización de Taludes y Cortes en la Vía**

- Las vibraciones sísmicas pueden inducir agrietamientos y colapsos en los taludes, especialmente en zonas donde los cortes de la vía han sido ejecutados sin refuerzos estructurales adecuados.
- Las fallas geológicas presentes en la región pueden reactivarse ante la ocurrencia de sismos, generando desplazamientos diferenciales en la subrasante.

#### **c) Impacto en Infraestructura Complementaria (Drenaje y Muros de Contención)**

- Las estructuras de drenaje, como alcantarillas y cunetas, pueden sufrir colapsos por asentamientos inducidos por el sismo.
- Si la vía cuenta con muros de contención, estos pueden experimentar inclinaciones o fallas por volteo, reduciendo su capacidad de soporte.

#### ***Niveles de Riesgo***

Para evaluar el impacto de los deslizamientos y eventos sísmicos sobre la trocha carrozable, se establecen niveles de riesgo en función de la probabilidad de ocurrencia y la magnitud de los efectos:

**Tabla 17.***Niveles de Riesgo*

| <b>Nivel de Riesgo</b> | <b>Probabilidad de Ocurrencia</b> | <b>de</b>                                       | <b>Impacto Potencial</b>  | <b>Medidas Mitigadoras</b>   |
|------------------------|-----------------------------------|---|---|--|
| Alto                   | Alta                              | (Eventos recurrentes en la zona)                | Inestabilidad severa, cierre de vía, colapso de taludes                       | Muros de contención, drenaje profundo, mallas de protección                  |
| Medio                  | Moderada                          | (Posible en eventos extremos)                   | Asentamientos diferenciales, erosión acelerada, pérdida de capacidad portante | Mejoramiento del material de subrasante, compactación reforzada, geotextiles |
| Bajo                   | Baja                              | (Condiciones estables, pero con riesgo latente) | Grietas menores, fallas superficiales en drenajes y cunetas                   | Mantenimiento preventivo, control de escorrentías, revegetación de taludes   |

*Nota.* Se muestra en la tabla los niveles de riesgo según el CENEPRED donde se verá la probabilidad de ocurrencia, impacto potencial y medidas mitigadoras. (CENEPRED, 2014)

### **1. Riesgo Alto**

- Sectores con pendientes  $>35^\circ$  y suelos arcillosos con saturación elevada.
- Áreas propensas a deslizamientos activos o evidencias de movimientos en masa previos.

- Zonas con cortes en el terreno sin medidas de estabilización (muros de contención, anclajes o estructuras de soporte).
- Regiones cercanas a ríos o quebradas donde la erosión lateral puede generar colapsos de la vía.

## **2. Riesgo Medio**

- Sectores con suelos de baja cohesión, pero sin evidencia de deslizamientos previos.
- Zonas donde la compactación no ha sido óptima, pero la subrasante tiene capacidad estructural aceptable.
- Taludes con pendientes intermedias que pueden sufrir erosión acelerada en temporada de lluvias.

## **3. Riesgo Bajo**

- Áreas con pendientes suaves y materiales bien compactados.
- Zonas donde el drenaje superficial es eficiente y evita acumulación de agua.
- Regiones con presencia de vegetación estabilizadora que protege el suelo de la erosión.

El análisis de los riesgos geotécnicos y sísmicos en la trocha carrozable Marcahuasi - Asillo

- Ayaorcco resalta la necesidad de implementar medidas de estabilización, drenaje y refuerzo estructural para reducir la vulnerabilidad ante deslizamientos y sismos. La aplicación de geotecnología avanzada (geotextiles, anclajes y muros de contención), junto con un adecuado sistema de drenaje, garantizará la operatividad y sostenibilidad de la vía en el tiempo.

#### **5.4. Evaluación del diseño Vial de la Trocha Carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco – Apurímac**

La infraestructura vial en zonas rurales juega un papel fundamental en la conectividad y el desarrollo socioeconómico de las comunidades. Sin embargo, en regiones con características geográficas adversas, como el caso de la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco, los desafíos en el diseño y mantenimiento de las vías son significativos. La evaluación de esta infraestructura es clave para garantizar su funcionalidad, seguridad y sostenibilidad en el tiempo, minimizando los riesgos asociados a deslizamientos, erosión y condiciones climáticas extremas.

Este análisis se enfoca en la evaluación del diseño geométrico, la estabilidad estructural y la vulnerabilidad de la vía, empleando indicadores técnicos e ingeniería basada en normativas peruanas.

##### ***Diseño Geométrico y Condiciones de la Infraestructura Vial***

El diseño geométrico de una trocha carrozable debe cumplir con criterios que garanticen su transitabilidad y seguridad. En este caso, se han identificado diversas deficiencias que afectan la funcionalidad de la vía:

##### ***Parámetros del Diseño Geométrico***

Los valores establecidos en el diseño geométrico incluyen:

- **Radios de Curva:** Evaluados según la normativa del MTC para caminos rurales. Se evidencian radios reducidos que aumentan la peligrosidad en curvas cerradas.
- **Pendientes Longitudinales:** Se registran valores superiores al 10%, lo que incrementa la erosión del camino y dificulta la transitabilidad en época de lluvias.

- **Sección Transversal:** Se identifican anchos de calzada insuficientes, lo que limita la circulación de vehículos pesados y dificulta el cruce de unidades.
- **Peraltes:** No se aplican adecuadamente en las curvas, lo que incrementa el riesgo de deslizamiento vehicular.

### ***Materiales y Estructura del Pavimento***

El afirmado presenta deficiencias en granulometría y capacidad portante del suelo, lo que genera una rápida degradación ante el tráfico y las precipitaciones. Según **los ensayos de mecánica de suelos**, se observa:

- **CBR inferior al 20%**, lo que indica baja resistencia del suelo a esfuerzos repetitivos.
- **Presencia de arcillas expansivas**, lo que provoca inestabilidad en la superficie de rodadura.
- **Deficiencia en el sistema de drenaje**, aumentando la saturación del suelo y su debilitamiento estructural.

### ***Análisis de Volumen de Tránsito***

El análisis de tránsito vehicular evidencia un tráfico de bajo volumen, pero con alta presencia de vehículos de carga ligera y mediana, lo que demanda una estructura de pavimento resistente a deformaciones plásticas.

### ***Evaluación de Peligros y Vulnerabilidad***

El análisis de riesgo en la trocha carrozable considera factores geotécnicos, climáticos y de infraestructura:

➤ *Peligros Geodinámicos*

Los principales peligros que afectan la vía incluyen:

- **Deslizamientos de Taludes:** La inestabilidad de las laderas adyacentes a la vía, con pendientes superiores al 30%, representa un alto riesgo de derrumbes.
- **Erosión Hídrica:** La falta de cunetas y drenaje transversal adecuado agrava el desgaste del camino y promueve la formación de cárcavas.
- **Sismicidad:** La zona presenta actividad sísmica moderada, lo que puede desencadenar inestabilidad en taludes y cortes de la vía.

➤ *Vulnerabilidad de la Infraestructura*

La vía presenta alta vulnerabilidad debido a:

- **Baja capacidad estructural del pavimento,** que se traduce en deformaciones prematuras.
- **Deficiencias en la estabilidad de los taludes,** lo que incrementa la susceptibilidad a deslizamientos.
- **Falta de medidas de mitigación y mantenimiento,** lo que acelera el deterioro del camino.

*Análisis de Precipitaciones y su Impacto en la Infraestructura*

- **Precipitaciones anuales promedio:** Superan los **900 mm**, con picos en la temporada de lluvias, lo que intensifica la erosión de la vía.
- **Frecuencia de eventos extremos:** Se identifican lluvias torrenciales que pueden colapsar el drenaje y generar cortes en la vía.

**Tabla 18.***Indicadores Técnicos para Evaluación de la Infraestructura Vial*

| <b>Indicador</b>                        | <b>Valor Medido</b> | <b>Normativa Referencial</b> | <b>Interpretación</b>                           |
|---|---------------------|------------------------------|---|
| <b>CBR del suelo de fundación</b>       | 15-20%              | >30% (según MTC)             | Baja capacidad portante, requiere mejoramiento. |
| <b>Radios de curva</b>                  | < 20m               | >30m (según MTC)             | Riesgo alto en curvas cerradas.                 |
| <b>Pendientes longitudinales</b>        | >10%                | <8% (según MTC)              | Incrementa erosión y dificulta transitabilidad. |
| <b>Altura de taludes sin contención</b> | >5m                 | <3m (según MTC)              | Alto riesgo de deslizamientos.                  |
| <b>Ancho de calzada</b>                 | <3.5m               | 4.2m (según MTC)             | Insuficiente para tránsito seguro.              |
| <b>Precipitación anual</b>              | 900 mm              | Variable                     | Alto impacto en erosión y saturación del suelo. |

*Nota.* Se muestra la tabla Indicadores Técnicos para Evaluación de la Infraestructura Vial según (Manual de Carreteras, Diseño Geométrico, 2018)

### **Análisis Técnico de la Propuesta de Mantenimiento Vial y Determinación del Nivel de Riesgo en la Trocha Carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco – Apurímac**

A partir del documento de evaluación de la infraestructura vial, se presenta un análisis detallado sobre la propuesta de mantenimiento vial y la determinación del nivel de riesgo, utilizando fundamentos de ingeniería civil, geotecnia y planificación vial.

## **Revisión Detallada de la Propuesta de Mantenimiento Vial**

El mantenimiento vial es una acción fundamental para garantizar la operatividad, seguridad y sostenibilidad de la infraestructura vial a lo largo del tiempo. En el caso de la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco, debido a sus características topográficas, climáticas y estructurales, el mantenimiento debe estar orientado a minimizar los efectos de la erosión, la inestabilidad geotécnica y el deterioro progresivo de la superficie de rodadura.

### **Tipos de Mantenimiento Vial Propuestos**

Según el documento, se plantea la implementación de un plan de mantenimiento vial estructurado en tres niveles:

#### **1. Mantenimiento Rutinario**

- Frecuencia: Semanal / Mensual
- Objetivo: Mantener las condiciones de transitabilidad con acciones preventivas y correctivas menores.
- Actividades:
  - ✓ Limpieza de drenajes y cunetas.
  - ✓ Eliminación de material suelto en la vía.
  - ✓ Compactación localizada de sectores con pérdida de material.
  - ✓ Mantenimiento de señalización provisional.

#### **2. Mantenimiento Periódico**

- Frecuencia: Cada 6 a 12 meses



- Objetivo: Restaurar las condiciones de diseño de la vía, corrigiendo daños progresivos y mejorando su resistencia.
- Actividades:
  - ✓ Reposición y compactación de material de afirmado.
  - ✓ Rectificación de la sección transversal de la calzada.
  - ✓ Reconstrucción de drenajes y alcantarillas colapsadas.
  - ✓ Colocación de geotextiles en zonas de alta saturación.

### 3. Mantenimiento Mayor o Rehabilitación

- Frecuencia: **Cada 3 a 5 años** (o antes, dependiendo del nivel de deterioro).
- Objetivo: Recuperar la infraestructura en tramos donde el deterioro haya superado los límites admisibles.
- Actividades:
  - ✓ Estabilización de taludes mediante muros de contención
  - ✓ Implementación de soluciones de drenaje más eficientes.
  - ✓ Reubicación de tramos con pendientes críticas no corregibles.

### Evaluación Técnica de la Propuesta de Mantenimiento

El plan de mantenimiento vial propuesto responde a las **necesidades identificadas en la evaluación del diseño vial**, sin embargo, presenta **ciertas limitaciones técnicas** que requieren ser mejoradas:

**Tabla 19.***Evaluación Técnica de la Propuesta*

| <b>Criterio de Evaluación</b>       | <b>Observaciones Técnicas</b>   | <b>Propuesta de Mejora</b>  |
|-------------------------------------|---|---|
| <b>Frecuencia del mantenimiento</b> | Se propone un mantenimiento rutinario mensual, pero en época de lluvias la frecuencia debería aumentar. | Establecer un esquema de mantenimiento intensivo en meses de alta precipitación.                |
| <b>Gestión del drenaje</b>          | La propuesta de mantenimiento no especifica acciones para controlar la erosión en cunetas.              | Incorporar protección en cunetas con material granular y revegetación en zonas críticas.        |
| <b>Compactación del afirmado</b>    | La propuesta no especifica el tipo de compactación ni la humedad óptima.                                | Aplicar normas del MTC con compactación mecánica y control de humedad del material de afirmado. |
| <b>Control de taludes</b>           | Se consideran solo medidas correctivas, sin incluir acciones preventivas para evitar deslizamientos.    | Implementar monitoreo geotécnico y revegetación de pendientes para control de estabilidad.      |

---

|                                 |  |   |
|---------------------------------|--|---|
| <b>Presupuesto y viabilidad</b> | No se presenta una estimación detallada de costos ni financiamiento. | Incluir análisis de costos en función del grado de deterioro y priorización de sectores críticos. |
|---------------------------------|--|---|

---

*Nota.* Según la tabla nos propone una propuesta técnica de acuerdo a la evaluación (CENEPRED, 2014)

La propuesta de mantenimiento vial presenta un enfoque adecuado y estructurado, pero requiere mejoras en la frecuencia de intervenciones en temporada de lluvias, control de drenaje y estabilidad de taludes. La implementación de medidas correctivas y preventivas garantizará una mayor durabilidad de la vía y reducirá los costos de rehabilitación en el futuro.

#### ***Determinación del Nivel de Riesgo en la Infraestructura Vial***

La evaluación del nivel de riesgo en la trocha carrozable se basa en factores geotécnicos, climáticos, estructurales y de transitabilidad, utilizando criterios de ingeniería civil y gestión del riesgo vial.

#### ***Metodología de Evaluación del Riesgo***

El riesgo en una infraestructura vial se define como la interacción entre peligros naturales o inducidos, vulnerabilidad de la vía y exposición del tráfico vehicular. Se aplicó la metodología cualitativa de Matriz de Riesgo, considerando los siguientes parámetros:

**Tabla 20.***Matriz de Riesgo*

| <b>Parámetro</b>                  | <b>Valor<br/>Asignado</b> | <b>Descripción</b>  |
|-----------------------------------|---------------------------|---|
| <b>Peligros<br/>identificados</b> | Alto (4)                  | Deslizamientos, erosión hídrica, fallas geotécnicas y eventos sísmicos.                     |
| <b>Vulnerabilidad</b>             | Alto (4)                  | Material de afirmado deficiente, drenaje inadecuado, ausencia de estabilización de taludes. |
| <b>Exposición</b>                 | Medio (3)                 | Tránsito moderado con predominio de vehículos ligeros y carga liviana.                      |
| <b>Nivel de Riesgo</b>            | <b>Crítico<br/>(48%)</b>  | Se requiere intervención urgente en zonas críticas de la vía.                               |

*Nota.* Se muestra en la tabla, la matriz de riesgo que se evaluó de acuerdo al (CENEPRED, 2014)

### ***Factores Determinantes del Nivel de Riesgo***

#### **1. Condiciones Geotécnicas Críticas**

- Presencia de **pendientes superiores al 30%** sin medidas de estabilización.
- Suelos con **baja capacidad portante** (CBR < 20%), propensos a deformaciones.

#### **2. Problemas en la Gestión del Agua y Drenaje**

- **Alta precipitación anual (>900 mm)** genera erosión acelerada en la vía.
- Falta de drenajes transversales y longitudinales adecuados.

### 3. Deficiencias en el Diseño y Mantenimiento

- Ancho insuficiente de calzada, limitando la circulación segura de vehículos.
- Ausencia de señalización y elementos de seguridad en tramos peligrosos.

### 4. Impacto del Tráfico Vehicular

- Aumento en la carga vehicular sin adecuaciones en la estructura de la vía.

### Medidas de Mitigación Propuestas

Para reducir el nivel de riesgo, se recomienda:

1. **Implementación de medidas de estabilización de taludes**, incluyendo muros de contención y drenaje superficial.
2. **Mejoramiento del drenaje vial**, con instalación de alcantarillas y cunetas reforzadas.
3. **Reforzamiento del pavimento con materiales de mayor resistencia** en zonas críticas.
4. **Señalización y demarcación vial** en curvas cerradas y zonas de riesgo de deslizamientos.
5. **Monitoreo geotécnico continuo**, con evaluación de la evolución de los taludes y zonas de erosión.

La propuesta de mantenimiento vial de la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco presenta un enfoque adecuado, pero requiere ajustes en la gestión del drenaje y estabilización de taludes.

En cuanto al nivel de riesgo, se ha determinado que la vía presenta una condición crítica (48%), debido a la alta vulnerabilidad estructural y la presencia de peligros geodinámicos.

La implementación de medidas de mitigación permitirá reducir los riesgos y garantizar una infraestructura vial más segura y sostenible.

### **5.5. Comprobación de Hipótesis**

La presente sección tiene como objetivo contrastar los hallazgos obtenidos en la evaluación de la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco – Abancay, 2024, con las hipótesis establecidas, a partir de un análisis técnico basado en principios de ingeniería civil, normativa vigente y evaluación de riesgos geotécnicos. Se presentan los resultados obtenidos en relación al nivel de riesgo, vulnerabilidad y peligro de la infraestructura vial, sustentados en criterios geométricos, estructurales y de estabilidad del terreno.

**Hipótesis General: El nivel de riesgo, vulnerabilidad y peligro del diseño de infraestructura vial en la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco – Abancay, 2024 es alto.**

Los resultados obtenidos en la evaluación del nivel de riesgo, basados en la metodología de análisis de peligros, vulnerabilidad y exposición, indican que la trocha carrozable presenta un nivel de riesgo crítico (48%), lo que confirma la hipótesis general. Este nivel de riesgo elevado se debe a múltiples factores, entre ellos:

1. **Condiciones geotécnicas adversas:** Se identificó la presencia de suelos de baja capacidad portante, con valores de CBR menores al 20%, lo que compromete la resistencia del terreno y la estabilidad del afirmado. Además, se evidenció la presencia de arcillas expansivas y

suelos con alto contenido de humedad, aumentando la susceptibilidad a deformaciones y pérdida de material en la superficie de rodadura.

2. **Geometría inadecuada de la vía:** La evaluación del diseño geométrico arrojó pendientes longitudinales superiores al 10%, lo que incrementa la erosión superficial y dificulta la transitabilidad, especialmente en épocas de lluvias. Asimismo, los radios de curva menores a 20 m en varios tramos representan un riesgo significativo para la seguridad vehicular, incrementando la probabilidad de accidentes por deslizamiento lateral y pérdida de control.
3. **Falta de sistemas de drenaje:** La deficiente gestión del agua pluvial es un factor crítico que incrementa la vulnerabilidad de la vía. Se constató la ausencia de cunetas revestidas y drenaje transversal adecuado, lo que provoca la acumulación de agua en la superficie de rodadura y la formación de cárcavas. Esto no solo afecta la estabilidad de la vía, sino que también contribuye a la degradación del afirmado y erosión de taludes.
4. **Peligro geodinámico elevado:** La infraestructura se encuentra expuesta a la ocurrencia de deslizamientos activos y erosión regresiva, debido a la presencia de pendientes mayores al 30% y la inestabilidad de los taludes sin medidas de contención. La actividad sísmica en la región, catalogada como zona de riesgo sísmico moderado-alto, agrava esta situación, ya que puede generar licuefacción en ciertos sectores y colapsos parciales de la vía.

Estos resultados confirman que la infraestructura vial de la trocha carrozable presenta un alto nivel de riesgo, vulnerabilidad y peligro, validando la hipótesis general y destacando la necesidad urgente de intervenciones correctivas y medidas de mitigación.

### *Hipótesis Específicas*

**Hipótesis Específica 1: El nivel de peligro que presenta la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco – Abancay es alto.**

El análisis del nivel de vulnerabilidad y peligro confirma que la trocha carrozable se encuentra en una zona de alto riesgo geodinámico y estructural.

- **Peligros identificados:**

- Deslizamientos y erosión: Se registraron procesos de inestabilidad en los taludes laterales, agravados por la ausencia de medidas de protección.
- Riesgo sísmico: La vía se encuentra en una zona con actividad sísmica moderada-alta, lo que incrementa la probabilidad de fallas estructurales en caso de movimientos telúricos.

**Hipótesis Específica 2: El nivel de vulnerabilidad que presenta la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco – Abancay es alto.**

- **Vulnerabilidad de la infraestructura:**

- Se identificaron sectores con pendientes mayores al 30%, lo que genera una mayor susceptibilidad a la erosión y pérdida de material del afirmado.
- La falta de un adecuado sistema de drenaje incrementa la saturación del suelo, debilitando la base estructural de la vía.

Estos resultados confirman la segunda hipótesis específica, resaltando la necesidad de implementar medidas de estabilización de taludes, reforzamiento del pavimento y mejoramiento del drenaje para reducir la vulnerabilidad de la trocha.



La aplicación del Protocolo de Evaluación del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) permitió una identificación detallada de las zonas más vulnerables a la ocurrencia de deslizamientos y sismos.

- **Zonificación de riesgo:**

- Se determinó que el 35% del tramo evaluado presenta alta susceptibilidad a deslizamientos, requiriendo intervenciones inmediatas.
- El 20% de la vía está expuesta a licuefacción del suelo en caso de sismo, lo que podría comprometer la estabilidad estructural del camino.

**Hipótesis Específica 3 : La aplicación de la metodología del protocolo de CENEPRED permitirá evaluar las zonas susceptibles de la trocha carrozable ante la ocurrencia de deslizamientos y eventos sísmicos.**

- **Validación de la metodología:**

- Los resultados obtenidos con la metodología CENEPRED permitieron priorizar intervenciones en sectores críticos, optimizando recursos y esfuerzos.
- Se identificaron áreas que requieren muros de contención y sistemas de drenaje reforzados para minimizar riesgos.

En base a lo anterior, se valida la tercera hipótesis específica, demostrando que la aplicación del protocolo CENEPRED permite una evaluación técnica precisa de las zonas más vulnerables, facilitando la planificación de medidas de mitigación.

El análisis de los resultados confirma que la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco presenta un alto nivel de riesgo, vulnerabilidad y peligro, con deficiencias en su diseño geométrico, estructural y en sus medidas de estabilización. Se recomienda la implementación de un plan de mejoramiento vial integral, considerando las directrices del MTC y CENEPRED, para garantizar la seguridad y durabilidad de la vía.

## **5.6. Discusión de resultados**

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten evaluar el diseño de la infraestructura vial en la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco, y su incidencia en el nivel de riesgo, vulnerabilidad y peligro. A través del análisis geotécnico, topográfico y estructural, se identificaron deficiencias en el diseño geométrico, la estabilidad de taludes y el drenaje, lo que incrementa significativamente la susceptibilidad de la vía a deslizamientos y erosión.

Estos hallazgos pueden compararse con estudios previos, como el de (Silva, 2021) quien determinó que la sostenibilidad de las infraestructuras viales está inversamente relacionada con su nivel de riesgo. De manera similar, la presente investigación confirma que la falta de integración de análisis de riesgo en el diseño de la vía ha generado una infraestructura altamente vulnerable, con puntos críticos de alto deterioro, exacerbados por la pendiente del terreno y la exposición a precipitaciones intensas.

En la comparación con el estudio de (Reyna, 2023) quien identificó fallas en la planificación y ejecución de una trocha carrozable en Huánuco, se observa una tendencia similar en la trocha de Marcahuasi, donde la ausencia de un adecuado diseño geométrico y la carencia de medidas de estabilización han resultado en una transitabilidad deficiente y riesgos elevados para los usuarios.

Al igual que en el caso de Huánuco, la inadecuada selección de materiales y la falta de mantenimiento han intensificado el deterioro estructural, confirmando la hipótesis de que el diseño actual no responde a los requerimientos técnicos necesarios para garantizar la seguridad vial.

Por otro lado, la evaluación del nivel de peligro y vulnerabilidad permitió establecer que la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco presenta un riesgo alto, resultado coherente con los hallazgos de (Carrillo, 2015), quien aplicó el protocolo de CENEPRED para evaluar la susceptibilidad a deslizamientos en Huancavelica. En ambos estudios, la inestabilidad del terreno, la presencia de suelos granulares y la interacción con actividades humanas como el riego agrícola han sido factores determinantes en la vulnerabilidad de la infraestructura. La aplicación del protocolo de CENEPRED en la presente investigación permitió identificar zonas de alto riesgo y establecer estrategias de mitigación basadas en la estabilización de taludes y la mejora del drenaje, alineándose con las metodologías propuestas en estudios previos.

Finalmente, la relación de esta investigación con la de (Fierro. A, 2023), quien evaluó el riesgo ante deslizamientos en un camino vecinal en Huánuco, evidencia la importancia de integrar modelos predictivos en la gestión de infraestructuras viales. La presente investigación confirma que, al igual que en Huánuco, la falta de criterios técnicos en el diseño geométrico y la ausencia de sistemas de control de pendientes han incrementado el nivel de riesgo en la trocha carrozable estudiada.

Además, los análisis estructurales reflejan un factor de seguridad por debajo de los valores normativos, lo que valida la hipótesis de que el diseño actual es deficiente y requiere modificaciones sustanciales.

En síntesis, los resultados obtenidos respaldan la hipótesis general de que el nivel de riesgo, vulnerabilidad y peligro en la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco es alto.

## **VI. Conclusiones**

A partir del análisis técnico realizado sobre la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco – Abancay, 2024, y en función del cumplimiento de los objetivos de la investigación, se presentan las siguientes conclusiones basadas en criterios de ingeniería civil, geotecnia y evaluación del riesgo vial.

La evaluación del diseño de la infraestructura vial y su incidencia en el nivel de riesgo, vulnerabilidad y peligro de la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco permitió evidenciar que la vía presenta un alto nivel de vulnerabilidad estructural y funcional, lo que la hace susceptible a la degradación acelerada, la inestabilidad geotécnica y la inseguridad en la transitabilidad.

Los resultados obtenidos confirman que el diseño geométrico presenta deficiencias en la sección transversal, radios de curvatura y control de pendientes, lo que compromete la seguridad vial. Asimismo, la falta de un sistema de drenaje eficiente y la ausencia de medidas de estabilización de taludes incrementan significativamente el riesgo de deslizamientos y erosión, afectando la vida útil de la infraestructura.

Finalmente, la aplicación de la metodología CENEPRED permitió una identificación precisa de las zonas más vulnerables a deslizamientos y eventos sísmicos, validando su importancia como herramienta para la gestión del riesgo en infraestructura vial rural.

## **1. Sobre la evaluación del nivel de riesgo del diseño de infraestructura vial y consideraciones de la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco-Abancay- 2024**

### **(Objetivo general)**

- El análisis del diseño geométrico evidencia que los elementos principales de la vía presentan deficiencias críticas en sus dimensiones y configuración, lo que compromete la funcionalidad y seguridad del tránsito vehicular.
- Se identificó que los radios de curvatura en varios tramos son menores a 20 m, lo que incrementa el riesgo de accidentes por pérdida de control vehicular. Además, los peraltes no están correctamente implementados, afectando la estabilidad del tránsito en curvas.
- Las pendientes longitudinales superan el 10% en tramos críticos, cuando la normativa recomienda valores menores al 8%, lo que provoca erosión acelerada, dificultades en la circulación de vehículos pesados y alto desgaste del afirmado.
- La sección transversal de la vía es inferior a 3.5 m en varios sectores, dificultando el paso de vehículos de carga y reduciendo la seguridad en maniobras de cruce.
- La estructura de pavimento no cuenta con una adecuada granulometría ni compactación, presentando CBR menor al 20%, lo que la hace susceptible a deformaciones y pérdida de material en época de lluvias.

## **2. Sobre determinar el análisis de peligro asociado al diseño de trocha carrozable de Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco-Abancay. (objetivo específico 1)**

- La evaluación de peligros que indica en el manual del CENEPRED y de acuerdo la trocha carrozable de la presente tesis se encuentra expuesta a deslizamientos activos, erosión hídrica y eventos sísmicos, con impactos negativos en la estabilidad de la vía.
- Se determinó según el manual de CENEPRED que el 35% del tramo evaluado presenta alta susceptibilidad a deslizamientos, debido a pendientes superiores al 30% y a la ausencia de medidas de contención en los taludes laterales.
- Se identificaron sectores de licuefacción del suelo en el 20% de la vía, lo que podría comprometer la estabilidad estructural en caso de sismos.
- La falta de un sistema de drenaje eficiente genera acumulación de agua en la calzada, aumentando la erosión superficial y la pérdida de material granular.
- La vía carece de señalización y dispositivos de seguridad, lo que incrementa el riesgo de accidentes en sectores de curvas cerradas y zonas propensas a deslizamientos.

## **3. Sobre determinar el análisis de vulnerabilidad asociado al diseño de trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco-Abancay. (objetivo específico 2)**

- La aplicación del protocolo CENEPRED permitió zonificar las áreas de mayor susceptibilidad a deslizamientos y eventos sísmicos, facilitando la identificación de sectores críticos que requieren intervención prioritaria.
- Se comprobó que el uso de esta metodología optimiza la toma de decisiones en la gestión del riesgo vial, proporcionando un marco técnico para la planificación de medidas de mitigación.

**4. Sobre el uso del manual de CENEPRED para la estimación del nivel de riesgo asociado al diseño de infraestructura vial de la trocha carrozable ante la ocurrencia de deslizamientos y eventos sísmicos de acuerdo al CENEPRED (objetivo específico 3)**

- Los resultados obtenidos con el manual de CENEPRED evidenciaron que el 48% del tramo evaluado presenta un nivel de riesgo alto o crítico, lo que justifica la necesidad de implementar estrategias de estabilización y refuerzo estructural.
- Se recomienda la incorporación de muros de contención, drenajes transversales mejorados y protección contra erosión en taludes, como medidas prioritarias para reducir la vulnerabilidad de la vía.

En términos generales, el estudio confirma que la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco presenta deficiencias significativas en su diseño geométrico y estructural, lo que incrementa su vulnerabilidad ante fenómenos naturales y la hace susceptible a un deterioro acelerado.

Se recomienda la reformulación del diseño de la vía, considerando la aplicación de normativas técnicas del MTC y el uso de metodologías de evaluación de riesgo como CENEPRED para garantizar una infraestructura vial segura y sostenible en el tiempo.

## **VII. Recomendaciones**

A partir de los hallazgos obtenidos en la evaluación de la infraestructura vial de la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco – Abancay, 2024, y en consonancia con los objetivos de la investigación, se presentan las siguientes recomendaciones técnicas y estratégicas. Estas están orientadas a mejorar el diseño geométrico, reducir la vulnerabilidad de la vía y optimizar la gestión del riesgo mediante la aplicación de metodologías de evaluación y planificación vial basadas en normativas nacionales e internacionales.

En función al objetivo general la evaluación del diseño de infraestructura vial y su incidencia en el nivel de riesgo en la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco Abancay-2024, se recomienda realizar un rediseño integral de los tramos críticos identificados, incorporando criterios técnicos de estabilidad de taludes, drenaje pluvial y señalización preventiva. Asimismo, se sugiere implementar un sistema de mantenimiento periódico y monitoreo de riesgos geotécnicos que permita reducir la vulnerabilidad vial y garantizar la seguridad de los usuarios. Finalmente, se aconseja coordinar con las autoridades locales y entidades competentes para asegurar la sostenibilidad de las mejoras propuestas y su adecuada ejecución.

### **1. Recomendaciones sobre el diseño geométrico y estructural de la trocha carrozable**

(Objetivo general: Evaluar el diseño de infraestructura vial y su incidencia en el nivel de riesgo, vulnerabilidad y peligro en la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco-Abancay-2024.)



### **1.1. Optimización del diseño geométrico para mejorar la transitabilidad y seguridad vial**

Se recomienda revisar y ajustar los radios de curvatura en tramos críticos, ampliándolos a valores superiores a 30 m en curvas cerradas, conforme a la normativa del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), con el fin de reducir la peligrosidad en la circulación.

Implementar peraltes adecuados en curvas, garantizando que la inclinación de la calzada favorezca el desplazamiento de los vehículos y minimice el riesgo de deslizamiento lateral.

Corregir las pendientes longitudinales en tramos que superen el 10%, mediante movimientos de tierra y cortes controlados que permitan reducir la inclinación a valores recomendados de 8% o menos, evitando el desgaste acelerado de la superficie de rodadura y mejorando la capacidad de frenado de los vehículos.

### **1.2. Mejoramiento de la sección transversal y estabilidad del pavimento**

Ampliar el ancho de la calzada a 4.2 m, permitiendo el tránsito seguro de vehículos pesados y el cruce de unidades en sentidos opuestos sin comprometer la estabilidad del camino.

Incorporar capas de refuerzo en la estructura del pavimento, utilizando afirmados de granulometría controlada y mejorando la compactación del material, con el objetivo de aumentar la capacidad portante del suelo.

Aplicar estabilización química en sectores con CBR menor al 20%, a través del uso de cal o cemento para mejorar la resistencia del suelo de fundación.

### **1.3. Incorporación de dispositivos de seguridad vial**

Instalar señalización vertical y horizontal en curvas, pendientes y zonas de riesgo, utilizando elementos reflectivos que garanticen visibilidad adecuada durante la noche y en condiciones climáticas adversas.

Implementar barreras de protección en taludes y sectores elevados, con el fin de evitar caídas de vehículos en zonas con alta exposición a deslizamientos.

## **2. Recomendaciones para la reducción del nivel de peligro y vulnerabilidad**

(Objetivo específico 1: Determinar el nivel de peligro que presenta la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco – Abancay.)

### **2.1. Medidas para la mitigación del riesgo geodinámico**

Implementar muros de contención en taludes inestables, priorizando sectores con pendientes superiores al 30%, utilizando técnicas de contención como gaviones, muros de suelo reforzado o concreto ciclópeo.

Aplicar medidas de bioingeniería, como la revegetación con especies de raíces profundas en las zonas propensas a erosión, reduciendo así la inestabilidad del terreno y la pérdida de material granular.

(Objetivo específico 2: Determinar el nivel de vulnerabilidad que presenta la trocha carrozable Marcahuasi, Asillo y Ayaorcco – Abancay.)

### **2.2. Mejoramiento del drenaje vial para reducir la erosión y acumulación de agua**

Construir cunetas revestidas con concreto en sectores con alto flujo de agua, evitando la acumulación de escorrentía en la superficie de rodadura y reduciendo el deterioro del afirmado.

Implementar alcantarillas de mayor capacidad hidráulica en cruces de quebradas y puntos de acumulación de aguas pluviales, asegurando un flujo adecuado y previniendo desbordes que afecten la vía.

Aplicar soluciones de drenaje profundo en suelos saturables, utilizando drenes horizontales y filtros geotécnicos en sectores donde el agua subterránea pueda comprometer la estabilidad estructural del pavimento.

### **3. Recomendaciones sobre la gestión del riesgo y aplicación del protocolo de CENEPRED**

(Objetivo específico 3: Analizar el manual de CENEPRED para la estimación de los riesgos del diseño de infraestructura vial de la trocha carrozable ante la ocurrencia de deslizamientos y eventos sísmicos.)

#### **3.1. Implementación del protocolo CENEPRED en la planificación vial**

Se recomienda institucionalizar la aplicación del Manual de Evaluación de Riesgos de CENEPRED en la planificación de futuras intervenciones en la trocha carrozable, garantizando que las obras de mejoramiento vial consideren criterios técnicos de análisis de susceptibilidad a deslizamientos y vulnerabilidad sísmica.

Desarrollar estudios geotécnicos detallados utilizando sensores satelitales y modelos digitales del terreno, con el fin de monitorear los desplazamientos del suelo y prevenir fallas estructurales en la vía.

#### **3.2. Elaboración de planes de contingencia ante eventos extremos**

Diseñar un Plan de Gestión del Riesgo Vial, que establezca protocolos de respuesta ante la ocurrencia de derrumbes, fallas estructurales y sismos en la zona de estudio.

Implementar sistemas de alerta temprana en sectores de alto riesgo, utilizando estaciones meteorológicas y sensores de movimiento en taludes, con el fin de prevenir cortes de vía y garantizar la seguridad de los usuarios.

### **3.3. Capacitación y fortalecimiento institucional**

Capacitar al personal técnico encargado del mantenimiento de la vía en la aplicación de metodologías de evaluación de riesgo, monitoreo de estabilidad de taludes y gestión del drenaje.

Establecer convenios interinstitucionales entre el gobierno local, CENEPRED y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) para gestionar recursos y asistencia técnica en la ejecución de medidas de mitigación.

## VIII. Referencias

Aguilar, G. (2019). *Mejoramiento y Evaluación del sistema de agua potable y Saneamiento de la Ciudad de Chuschi, distrito de Chuschi, provincia de Cangallo. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de los Ángeles Chimbote]*

Repositorio Institucional de la Universidad Católica de los Ángeles Chimbote

<https://repositorio.uladech.edu.pe/handle/20.500.13032/16500>

Alemán, H. (2015). *Propuesta de diseño geométrico de 5.0 km de vía de acceso vecinal montañosa, final col. Quezaltepeque-Cantón Victoria, Santa Tecla, La Libertad, utilizando software especializado para diseño de carretera. [Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador]*

Repositorio Institucional de la Universidad de El Salvador

<https://repositorio.ues.edu.sv/items/3e40ca8b-8cf2-47e4-b892-69063d04079e/full>

Blanco, K. (2020). *Diseño de infraestructura vial para transitabilidad de las localidades Cayalti Km0+000, Corral, Cojal y Nueva Esperanza Km09+071.43, Cayalti, Chiclayo, Lambayeque. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]*

Reposito Institucional de la Universidad César Vallejo

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/51497>

Camargo, R. (2021). *Informe de Evaluación de Riesgo por Sismo para el Mejoramiento y Ampliación del Establecimiento de Salud de Choccollo de Categoría I-2 en la Comunidad de Choccollo, Distrito de Challhuahuacho - Provincia de Cotabambas - Departamento de Apurímac. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).*

<https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/14635>

CEPAL. (2020). *Transporte de carretera en América Latina: Evolución de la infraestructura y de sus impactos*. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44440/1/S1801184\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44440/1/S1801184_es.pdf)

Eslava, J. (2022). *Gestión de riesgo en la infraestructura vial de ciudad de Panamá. [Tesis de posgrado, Universidad Politécnica de Madrid]*

Archivo Digital UPM Universidad Politécnica de Madrid

<https://oa.upm.es/72027/>

Espinoza, p. (2020). *Diseño de la infraestructura vial de la trocha carrozable Saccsamarca y Chacana, distrito de Circa, Apurímac. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]*

Reposito Institucional de la Universidad César Vallejo

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57924>

Fierro, A. (2023). *Evaluación de riesgos ante deslizamiento de taludes en el diseño geométrico del camino vecinal Pampahuasi - Huariños - Santa Virginia distrito de Panao, provincia de Pachitea - Huánuco. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]*

Reposito Institucional de la Universidad Continental

<https://repositorio.continental.edu.pe/item/95817a5e-77f7-4a69-b8b8-fd3f1fcf07d2>

Garzón, J. M. (2021). *Evaluación de la vulnerabilidad y consecuencias por deslizamiento en la conexión vial Aburrá - Río Cauca entre las abscisas KM 04+000 y KM 39+000. [Tesis de pregrado, Universidad de Medellín]*

Red Colombiana de Información Científica Académica-Universidad de Medellín

<https://files01.core.ac.uk/download/pdf/51194604.pdf>

Hidalgo, C. A., & Pacheco de Asís, A. (2011). Herramientas para análisis por confiabilidad en geotecnia: La teoría. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 10(18), 69-78.

Laguna, O. (15 de enero de 2022). *Econompia*. www.gestión.pe: <https://gestion.pe/economia/76-peruanos-insatisfecho-centros-medicos-68-%20carreteras-231698-noticia/>

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Lima.

Reyna, F. (2023). *Fallas y riesgos en la construcción de carretera a nivel trocha carrozable Huampo, Pucasiniega, Cochapata, Yuragmarca, Nueva Esperanza, provincia de Ambo - Huánuco segunda etapa, 2022. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]*

Repositorio Institucional de la Universidad de Huánuco

<https://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/4222>

Rodríguez, L. A. (2020). *Análisis de riesgos no evaluados en la etapa de pre inversión para un proyecto vial desarrollado en la ciudad de Bogotá D.C. – localidad de Kennedy*. Bogotá – Colombia. [Tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada]

Red Colombiana de Información Científica Académica-Universidad Militar Nueva Granada

<https://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/4222>

Segovia, J. A. (2022). *Análisis Técnico de Vulnerabilidad de la Infraestructura Vial sobre el Río Alao para Garantizar el Buen Vivir en las Poblaciones de Alao Llactapamba y San Antonio de Alao*. Ecuador. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Chimborazo]

Repositorio Digital Universidad Nacional de Chimborazo

<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/3010>

Torres, V. (2020). *Evaluación de parámetros de diseño en la carretera Lircay - Secclla – Angaraes*

- *Huancavelica. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]*

Repositorio Digital Universidad Nacional de Huancavelica

<https://repositorio.unh.edu.pe/items/97d2f659-d538-4b59-a24a-b0c90b556c29>

Vallverdu, A. (2020). *Pavimentos e infraestructura vial avances y desafíos*. Editora Microbyte.

Vargas, W. (2021). *Relación entre las características geométricas y la vulnerabilidad de*

*algunas rutas de montaña de Costa Rica. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]*

Repositorio Digital Universidad de Costa Rica

<https://repositorio.unh.edu.pe/items/97d2f659-d538-4b59-a24a-b0c90b556c29>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes