

**UNIVERSIDAD NACIONAL “HERMILIO VALDIZAN”**



**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

---

**“ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD A LOS PELIGROS  
NATURALES A FIN DE MEJORAR LA TRANSITABILIDAD DE LA  
CARRETERA POQUE – PUÑOS, HUAMALIES - HUÁNUCO 2019”**

---

**TESISTA: EDEN WILINTON CHAUPIS QUINO**

**ASESOR: ING. LUIS FERNANDO NARRO JARA**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL**

**HUÁNUCO – PERÚ**

**2020**

## RESUMEN

Los fenómenos naturales o inducidos por el hombre representan una amenaza y pueden alcanzar la escala de desastre cuando produce daños y/o pérdidas, un desastre no es un proceso puramente natural, sino que es un evento natural o inducido que ocurre donde hay actividades humanas, la probabilidad de ocurrencia de un desastre (riesgo) puede ser clasificada como baja, media o alta, se debe conocer el grado de respuesta ante el mismo (análisis de vulnerabilidad), y para cada una de ellas deben existir dispositivos que aumenten esta capacidad de respuesta (medidas de mitigación). Estas medidas de mitigación pueden ser estructurales, las cuales dan protección ante un peligro.

En la actualidad en el Perú se elaboran proyectos de gran envergadura, donde no son sostenibles por no incluir en la toma de decisiones a la Gestión de Riesgo de Desastres que nos puede dar otra visión a la hora de elaborar los proyectos, por ello en muchos proyectos de carretera no brindan una mejor transitabilidad por tener trazos de carreteras deficientes, generando fallas geológicas, deslizamientos, taludes inestables, flujo de detritos, etc. A ello se suma la falta de capacidad técnica y de gestión de la municipalidad por no tener planes de continuidad operativa, plan de emergencia, plan de respuesta, etc. Por ello todos los proyectos de carretera en el tiempo no brindan la serviciabilidad adecuada (transitabilidad y confort).

La carretera Poque – Puños está expuesta a peligros naturales de la Geodinámica Externa, el peligro identificado es Movimiento en Masa que afecta el 80% de la carretera, con una PELIGROSIDAD DE NIVEL ALTO (ver mapa N°7) que afecta con deslizamiento de roca y tierras inestables perjudicando la carretera y obstruyendo la transitabilidad de la misma, que se determinó con la metodología de CENEPRED, cálculo de matrices Saaty y con estudios de ingeniería del factor de evaluación: El Fenómeno El Niño, Factor desencadenante: Precipitación y Factor Condicionante: Pendiente, Geomorfología y Geología.

**Palabras claves:** Amenaza, Vulnerabilidad, Geodinámica Externa, Transitabilidad, Confort, Movimiento en Masa, Mitigación.

## SUMMARY

Natural or human-induced phenomena pose a threat and can reach the scale of disaster when it causes damage and / or loss, a disaster is not a purely natural process, but is a natural or induced event that occurs where there is human activity, the probability of a disaster occurring (risk) can be classified as low, medium or high, the degree of response to it must be known (vulnerability analysis), and for each of them there must be devices that increase this capacity to response (mitigation measures). These mitigation measures can be structural, which provide protection against a hazard.

Currently in Peru, large-scale projects are being developed, where they are not sustainable because they do not include Disaster Risk Management in decision-making, which can give us another vision when preparing projects, which is why in many Highway projects do not provide better passability due to having poor roadways, generating geological faults, landslides, unstable slopes, debris flow, etc. Added to this is the lack of technical and management capacity of the municipality for not having operational continuity plans, emergency plan, response plan, etc. For this reason, all road projects over time do not provide adequate serviceability (passability and comfort).

The Poque - Puños road is exposed to natural hazards from External Geodynamics, the identified danger is Mass Movement that affects 80% of the road, with a HIGH LEVEL HAZARD (see map N ° 7) that affects rock slipping and unstable lands damaging the road and obstructing its passability, which was determined with the CENEPRED methodology, calculation of Saaty matrices and with engineering studies of the evaluation factor: The El Niño Phenomenon, Trigger Factor: Precipitation and Conditioning Factor: Slope, Geomorphology and Geology.

**Key words:** Threat, Vulnerability, External Geodynamics, Transitability, Comfort, Mass Movement, Mitigation.

# ÍNDICE

RESUMEN .....	II
SUMMARY .....	III
ÍNDICE.....	IV
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	2
1.1. ANTECEDENTES: .....	2
1.1.1 Antecedentes Internacionales:.....	2
1.1.2 Antecedentes Nacionales: .....	4
1.2. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA:.....	5
1.2.1. Conceptos de la Gestión de Riesgo:.....	5
1.2.2. Protocolo de CENEPRED: .....	11
1.2.3. Movimientos en Masa: .....	18
1.2.4. Peligros geológicos: .....	29
1.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS:.....	32
1.4. OBJETIVOS:.....	34
1.4.1 Objetivo general: .....	34
1.4.2 Objetivo específico:.....	34
1.5. HIPÓTESIS:.....	34
1.5.1 Hipótesis general: .....	34
1.5.2 Hipótesis específica: .....	34
1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES: .....	35
1.7. POBLACIÓN Y MUESTRA: .....	36
CAPÍTULO II: MARCO METODOLÓGICO .....	37
2.1 NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACIÓN: .....	37
2.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:.....	37
2.3 FUENTES, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:.....	38
2.4 PROCESAMIENTO Y PRESENTACIÓN DE DATOS: .....	38

CAPÍTULO III: DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	39
2.1. ASPECTOS GENERALES.....	39
2.1.1 Ubicación Geográfica: .....	39
2.1.2 Clima:.....	42
2.1.3 Acceso Vial: .....	42
2.1.4 Condición de la Vía: .....	43
2.1.5 Recursos Agrícolas: .....	46
2.2. PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTO DE MASA:.....	47
2.2.1 Parámetro de Evaluación – Fenómeno El Niño: .....	50
2.2.1.1. Comportamiento de la Temperatura Superficial del Mar y Nivel Medio del Mar en el litoral costero: .....	50
2.2.1.2. Lluvias intensas .....	52
2.2.2 Factor Desencadenante - Precipitación:.....	54
2.2.2.1. Método de Completacion por regresión simple: .....	57
2.2.2.2. Análisis Estadístico de datos hidrológicos:.....	61
2.2.2.3. Cálculo de Períodos de Retorno .....	62
2.2.2.4. Curvas de intensidad – Duración - frecuencia .....	64
2.2.3 Factores Condicionantes: .....	73
2.2.3.1. Pendiente:.....	73
2.2.3.2. Parámetro Geomorfológico:.....	78
2.2.3.3. Parámetro Geológico .....	83
2.2.4 Niveles de peligro.....	92
2.3. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE RIESGO A TRAVÉS DE OBRAS DE INGENIERÍA.....	96
2.3.1 Estudio de tráfico:.....	96
2.3.1.1. Resultados de los conteos: .....	97
2.3.1.2. Índice medio diario (IMD).....	97
2.3.1.3. Numero de repeticiones de ejes equivalente .....	99
2.3.2 Estudio de suelos .....	105
2.3.2.1. Homogenizando CBR.....	108
2.3.3 Diseño del pavimento flexible por el método del MTC .....	110

2.3.4 Identificación de puntos críticos en la carretera:.....	118
CONCLUSIONES .....	133
SUGERENCIAS .....	134
BIBLIOGRAFÍA.....	135

## INDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: TIPOS DE MOVIMIENTO DE MASA.....	15
TABLA N° 2: CLASIFICACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA.....	21
TABLA N° 3: OPERACIÓN DE VARIABLES.....	35
TABLA N° 4: RESUMEN DE LA ACCESIBILIDAD A LA CARRETERA EN ESTUDIO .....	43
TABLA N° 5: COORDENADAS DE INICIO Y FIN DE LA CARRETERA.....	43
TABLA N° 6: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO FRECUENCIA – FENÓMENO EL NIÑO .....	53
TABLA N° 7: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO FRECUENCIA – FENÓMENO EL NIÑO .....	53
TABLA N° 8: ESTACIONES METEOROLÓGICAS CONSULTADAS.....	55
TABLA N° 9: PROMEDIO ACUMULADO DE ESTACIONES .....	56
TABLA N° 10: ECUACIÓN DE AJUSTE.....	57
TABLA N° 11: PRECIPITACIÓN MAX. MENSUAL EN 24 HRS. ESTACIÓN JACAS GRANDE .....	59
TABLA N° 12: PRECIPITACIÓN DE ESTACIÓN JACAS GRANDE .....	60
TABLA N° 13: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS HIDROLÓGICOS – ESTACIÓN JACAS GRANDE .....	62
TABLA N° 14: RESUMEN DE PERIODOS DE RETORNO .....	64
TABLA N° 15: PRECIPITACIONES TOTAL PD (MM) .....	66
TABLA N° 16: INTENSIDADES, DURACIÓN, PERIODO (T) .....	67
TABLA N° 17: INTENSIDAD - TIEMPO DE DURACIÓN - PERÍODO DE RETORNO .....	68
TABLA N° 18: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO PRECIPITACIÓN .....	69
TABLA N° 19: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO PRECIPITACIÓN .....	70
TABLA N° 20: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DE LOS FACTORES CONDICIONANTES....	73
TABLA N° 21: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DE LOS FACTORES CONDICIONANTES.	73
TABLA N° 22: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO PENDIENTE .....	74
TABLA N° 23: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO PENDIENTE .....	75
TABLA N° 24: UBICACIÓN DE LA ZONA ALTIPLANICIE MODERADA EMPINADA .....	78
TABLA N° 25: UBICACIÓN DE LA COLINA ALTA LIGERAMENTE EMPINADA.....	79
TABLA N° 26: UBICACIÓN DE LAS PEQUEÑAS QUEBRADAS.....	79
TABLA N° 27: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO GEOMORFOLÓGICO ...	80

TABLA N° 28: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO GEOMORFOLÓGICO	80
TABLA N° 29: UBICACIÓN DE LOS DEPÓSITOS ALUVIALES .....	83
TABLA N° 30: UBICACIÓN DE LOS DEPÓSITOS COLUVIALES.....	84
TABLA N° 31: UBICACIÓN DE LA FORMACIÓN CHIMU .....	85
TABLA N° 32: UBICACIÓN DE LA FORMACIÓN CARHUAZ .....	86
TABLA N° 33: UBICACIÓN DEL COMPLEJO MARAÑÓN.....	87
TABLA N° 34: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO GEOLÓGICO .....	88
TABLA N° 35: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO GEOLÓGICO .....	88
TABLA N° 36: CÁLCULO DE LOS FACTORES DESENCADENANTES .....	92
TABLA N° 37: CÁLCULO DE LOS FACTORES CONDICIONANTES .....	92
TABLA N° 38: CÁLCULO DE PARÁMETRO DE EVALUACIÓN .....	93
TABLA N° 39: NIVELES DE PELIGROSIDAD.....	93
TABLA N° 44: FACTOR CAMIÓN .....	101
TABLA N° 45: CALCULO EAL .....	102
TABLA N° 46: USO DE LA CARRETERA .....	103
TABLA N° 48: RESUMEN DE ENSAYOS DE CAMPO .....	106
TABLA N° 49: RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO.....	106
TABLA N° 50: AGRUPADOS Y REPRESENTADOS POR EL MÉTODO DE LAS DIFERENCIAS ACUMULADAS .....	108

## ÍNDICE DE FIGURA

FIGURA N° 1: PROCESO DE MOVIMIENTO EN MASA .....	13
FIGURA N° 2: ETAPAS DE EROSIÓN DEL SUELO .....	13
FIGURA N° 3: ESQUEMA DE CAÍDA .....	22
FIGURA N° 4: ESQUEMA DE CAÍDA DE ROCAS.....	23
FIGURA N° 5: ESQUEMA DE DERRUMBE .....	23
FIGURA N° 6: ESQUEMA DE VUELCO.....	24
FIGURA N° 7: ESQUEMA DE DESLIZAMIENTO ROTACIONAL.....	25
FIGURA N° 8: ESQUEMA DE DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL .....	25
FIGURA N° 9: ESQUEMA DE FLUJOS CANALIZADOS.....	26
FIGURA N° 10: AVALANCHA DE DETRITOS.....	27
FIGURA N° 11: ESQUEMA DE FLUJOS DE LODOS.....	27
FIGURA N° 12: ESQUEMA DE REPTACIÓN DE SUELOS.....	28
FIGURA N° 13: ESQUEMA DE EROSIÓN DE LADERAS .....	29
FIGURA N° 14: ÁREA DE ESTUDIO CARRETERA POQUE – PUÑOS.....	36
FIGURA N° 15: ANOMALÍA DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR (°C) EN EL PACIFICO EQUATORIAL .....	51
FIGURA N° 16: PESO VEHICULAR.....	99
FIGURA N° 17: PESOS Y MEDIDAS DE LOS VEHÍCULOS .....	100
FIGURA N° 20: ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE – MÉTODO MTC.....	118

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N° 1: AMENAZA Y VULNERABILIDAD CONFIGURAN EL RIESGO DE DESASTRES .....	6
GRÁFICO N° 2: PELIGROS DE FENÓMENO NATURAL .....	8
GRÁFICO N° 3: FACTORES QUE EXPLICAN LA VULNERABILIDAD.....	9
GRÁFICO N° 4: PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN DEL SUELO .....	14
GRÁFICO N° 5: FLUJOGRAMA DE PELIGROSIDAD.....	17
GRÁFICO N° 6: DETERMINACIÓN DE NIVELES DE PELIGRO.....	47
GRÁFICO N° 7: CONSISTENCIA.....	56
GRÁFICO N° 8: PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS ESTACIÓN JACAS GRANDE .....	60
GRÁFICO N° 9: VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ESTACIÓN JACAS GRANDE.....	61
GRÁFICO N° 10: CURVA INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA.....	69
GRÁFICO N° 11: PROGRESIVA VS ZX.....	109
GRÁFICO N° 12: PROGRESIVA VS CBR.....	109
GRÁFICO N° 13: NUMERO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE .....	114
GRÁFICO N° 14: MURO CON GAVIONES PROYECTADO.....	131

## ÍNDICE DE MAPAS

MAPA N° 1: UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN.....	40
MAPA N° 2: ELEMENTOS EXPUESTOS.....	48
MAPA N° 3: HIDROGEOLOGÍA.....	71
MAPA N° 4: PENDIENTES.....	76
MAPA N° 5: GEOMORFOLÓGICO .....	81
MAPA N° 6: GEOLÓGICA .....	90
MAPA N° 7: PELIGROSIDAD.....	94

## INTRODUCCIÓN

Un estudio de análisis de riesgo es un instrumento dirigido a incorporarse a la planificación de los proyectos de carreteras. Este estudio pretende responder a una determinada realidad y a un contexto específico. Por lo tanto, lo que se pretende describir son las características para el análisis, el cual puede ser utilizado como base para estudios similares. Para realizar la evaluación de amenazas, el paso fundamental es conocer la fuente potencial de desastres (inundaciones, deslizamientos, huracanes, erupciones volcánicas, sismos, etc.)

Por ser una zona agrícola y ganadera, necesitan una vía en óptimas condiciones para poder sacar la producción y llevarla al mercado local y posteriormente regional para su comercialización en mejores condiciones de precios. Entre los recursos naturales se cuentan con una diversidad de productos agrícolas, la zona es productora de papa, maíz, cebada, trigo en la parte de Poque - Puños, existe en la zona animales menores como porcinos, gallinas, ganadería en menor proporción como ganado, ovino, vacuno, burros, etc.

En esta presente tesis vamos determinar la vulnerabilidad a los peligros naturales, para mejorar la transitabilidad de la carretera Poque - Puños. Se identificó un problema que es la transitabilidad y confort de la carretera, donde los vehículos tienen problemas de circular por la misma. Se identificará el fenómeno natural que hace origen a esto.

Para el desarrollo de la tesis se plantearon los siguientes capítulos:

Capítulo I Marco Teórico: Se consignan los antecedentes o trabajos de investigación afines, bibliografía, hipótesis, variables, objetivos y población.

Capítulo II Marco Metodológico: Tipo, método y diseño de la investigación

Capítulo III Discusión de Resultados: Desarrolla el cálculo obtenido por la tesis, modelo matemático, gráficos, mapas, etc.

Capítulo IV Conclusiones y Sugerencias.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes:

#### 1.1.1 Antecedentes Internacionales:

**Herrera Peinado, R.(2014)**, publica una Tesis de Investigación en el Grado de Título Profesional de Ingeniería Civil, que tuvo como objetivo general Formular un modelo de gestión de riesgos de acuerdo al PMBOK en proyectos de construcción en el área de infraestructura vial en sitios remotos del Norte de Santander., lo cual concluye que el análisis cuantitativo y cualitativo de los riesgos identificados sirvió para priorizar los riesgos más relevantes de acuerdo al PMBOK, mostrando que los proyectos de construcción desarrollados en sitios remotos, se ven más expuestos a diversos factores de riesgos, que los proyectos desarrollados en zonas urbanas, debido a la falta de vías, seguridad, análisis de la situación real, de estudios previos y falta de cultura de las comunidades.

**Frias Betancur, J. (2013)**, publica una Tesis de Investigación en el Grado de Maestría en Ingeniería Geotecnia, que tuvo como objetivo Identificar vulnerabilidades geotécnicas de la infraestructura carretera primaria colombiana frente al cambio climático y a partir de esto plantear lineamientos útiles con miras a la adaptación de la misma, enmarcados en los planteamientos del Plan de Adaptación de la Red Vial Primaria Colombiana, lo cual concluye los impactos del cambio climático son diversos y afectan en todas las áreas el desarrollo social y económico de la humanidad; a la fecha se cuenta con una gran cantidad de estudios relacionados, especialmente en lo concerniente a las áreas de agricultura, ecosistemas y modificación de las fuentes de agua.

**Palma Colindres, J (2012)** publica su tesis de investigación para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, titulado como análisis de riesgo y vulnerabilidad en proyectos de carreteras, donde tuvo como objetivo general

presentar al profesional y al estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, un documento de apoyo que facilite y oriente la inclusión del análisis de riesgo y vulnerabilidad en proyectos nuevos y existentes de ingeniería de carreteras. Lo cual la conclusión principal es que las carreteras y toda la estructura vial debe contar con sus respectivas medidas de mitigación desde el momento que son planificadas, porque integrarle posteriormente estructuras adicionales para reducir su vulnerabilidad es exageradamente costoso.

**Rosales Sanchez, U & Centeno Alvarez, Y (2009)** publica su tesis de investigación para obtener el título profesional de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, titulado como Vulnerabilidad potencial de los Suelos a Deslizamiento de tierra en el Municipio de La Conquista, donde tuvo como objetivo general Identificar áreas potencialmente vulnerables a deslizamientos de tierra a través de mapas indicativos, para buscar alternativas de gestión y mitigar los daños por efectos de este fenómeno en el municipio de La Conquista. Lo cual la conclusión principal que el municipio de La Conquista se encuentra en una región tectónicamente activa y de geología frágil; de acuerdo a la densidad de fracturas si se presentase un sismo contribuiría a la susceptibilidad a provocar deslizamientos.

**Elmes Angulo, M (2006)** publica su tesis de investigación para obtener el título profesional de Geografo, titulado como análisis y evaluación de riesgos por Movimientos en Masa, inundación y sismicidad en el Piedmont de la comuna de Puente Alto, donde tuvo como objetivo general analizar y evaluar riesgos por movimientos en masa, inundación y sismicidad en el piedmont de la Comuna de Puente Alto. Lo cual la conclusión principal que el área de estudio presenta sistemas de vertientes compuestos por secuencias desde monosecuenciales en las vertientes de las subcuencas La Morfilana y Sin Nombre, como multisecuenciales o complejas en las vertientes de las subcuencas El Maqui, El Durazno y Las Vizcachas cuyas convexidades y concavidades y influencias estructurales explican los movimientos en masa en las vertientes y cuyas unidades geológicas son las rocas intrusiva del batolito La Obra, con un alto grado de meteorización,

fracturamiento, y las rocas volcánicas Formación El Abanico caracterizado por rocas sanas y ligeramente meteorizados que son altamente dinámicas a los procesos exógenos.

### **1.1.2 Antecedentes Nacionales:**

**Flores Trujillo, E (2018)** publica su tesis de investigación para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, titulado Analisis de Riesgos de Desastres y Politicas de Mantenimiento en la Carretera de Huaraz a Tingo Maria, donde tuvo como objetivo general Determinar la relación entre el análisis de riesgos de desastres y la política de mantenimiento de la carretera de Huaraz a Tingo Maria. Lo cual la conclusión principal es que las variables Análisis de riesgos de desastres y políticas de mantenimiento tienen una asociación lineal estadísticamente significativa con un valor de correlación alta ( $r = -0.646$ ), demostrando con ellos el cumplimiento de la hipótesis general de la investigación con un 99% de intervalo de confianza. Esto significa que el estado de los elementos que componen al análisis de riesgos de desastres en conjunto ha influido en la Política de mantenimiento de la Carretera de Huaraz a Tingo María.

**Sosa Senticala, N (2016)** publica su tesis de investigación para obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo, titulado análisis de susceptibilidad a los peligros geológicos por Movimientos en Masa - poblado de Pampamarca y Acobamba, región Huánuco, donde tuvo como objetivo general analizar y determinar las áreas susceptibles a movimientos en masa en los poblados de Pampamarca y Acobamba; así como, proponer medidas de control y mitigación de los efectos causados por los movimientos en masa identificados. Lo cual la conclusión principal es que el análisis de susceptibilidad por medio de la aplicación del Método Bivariante con la ayuda del SIG, obtuvo como resultado el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa de los poblados de Pampamarca y Acobamba. Donde se obtuvo que el 15.06% del área de la zona estudiada presenta muy alta susceptibilidad a los movimientos en masa, 21.73%

alta susceptibilidad, 4.22% moderada susceptibilidad, 25.88% baja susceptibilidad y el 33.11% muy baja susceptibilidad

## **1.2. Investigación Bibliográfica:**

### **1.2.1. Conceptos de la Gestión de Riesgo:**

A continuación, se presentan los conceptos básicos para entender cómo se originan los desastres y el lenguaje que se usa en la temática de la gestión del riesgo. Primero se explica el concepto del riesgo y su vínculo con la amenaza y la vulnerabilidad. Luego se describe la relación entre el proceso de desarrollo, la generación de vulnerabilidades y la pobreza. Finalmente se expone el enfoque de la gestión del riesgo con sus diferentes componentes.

#### **Riesgo, amenaza y vulnerabilidad:**

Un grupo importante de instituciones, (ejem. La Estrategia Internacional para la reducción de desastres de las Naciones Unidas -EIRD, la GIZ) explica el riesgo de desastres por dos factores: la amenaza (igual peligro) y la vulnerabilidad.

#### **a. Riesgo de desastre:**

En cuanto al concepto de desastre, la EIRD (2009b), lo define como “Una seria interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad que ocasiona una gran cantidad de muertes al igual que pérdidas e impactos materiales, económicos y ambientales que exceden la capacidad de la comunidad o la sociedad afectada para hacer frente a la situación mediante el uso de sus propios recursos” (EIRD, 2009).

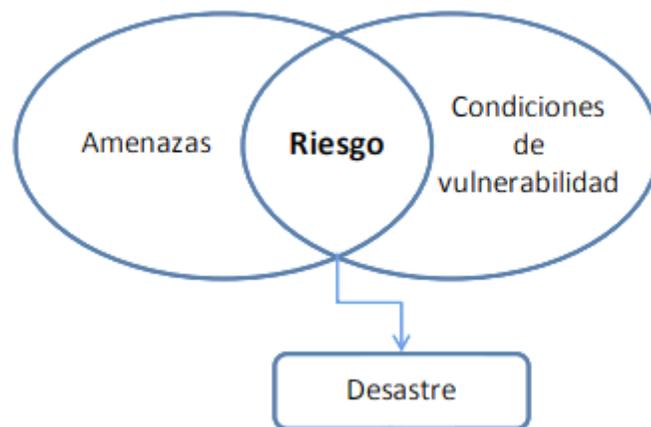
De manera específica, la EIRD (2009b) señala que el desastre es “el resultado de la combinación de la exposición a una amenaza, las condiciones de vulnerabilidad presentes, y capacidades o medidas insuficientes para reducir o hacer frente a las posibles consecuencias negativas” (EIRD, 2009b).

En este contexto Lavell (s/f) señala que los desastres son riesgos no manejados, por lo que constituyen una condición latente. De manera particular, Lavell (s/f) define al riesgo de desastre como “...un contexto o entorno social cuyas características y condicionantes anuncian o presagian daños y pérdidas en el futuro, cuya magnitud, intensidad e impacto serían de un nivel tal que interrumpen el funcionamiento rutinario o normal de la sociedad afectada como un todo y pongan en peligro la sobrevivencia de la unidad afectada, requiriendo apoyo y ayuda externa para su recuperación y reconstrucción”.

El riesgo se define, en otras palabras, como “la probabilidad de daños o pérdidas ocasionados en vidas humanas (muertos, heridos), medios económicos (propiedades, actividad económica) y el ambiente, como resultado de la interacción entre amenazas de origen natural, socionatural o antropogénico y condiciones de vulnerabilidad (EIRD, 2006).

El riesgo depende entonces, por un lado, de la intensidad o magnitud de la ocurrencia de las amenazas y, por otro lado, de las condiciones de vulnerabilidad existentes en la población.

Gráfico N° 1: Amenaza y vulnerabilidad configuran el riesgo de desastres



Fuente: GIZ (2002), PDRS-GIZ (2007)

De este modo, en la medida en que existen mayores amenazas y/o mayores condiciones de vulnerabilidad, el riesgo de desastre será mayor. En sentido inverso, para reducir el riesgo de desastres, se requiere reducir la presencia de las amenazas y/o condiciones de vulnerabilidad. A través del conocimiento de las amenazas y las condiciones de vulnerabilidad, el riesgo de desastre incluso puede ser anticipado, es decir, la sociedad puede intervenir para evitar o reducirlo.

**b. Amenaza/ peligro:**

De acuerdo con EIRD (2009b), las amenazas se definen como “Un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales”. En esta línea, la EIRD (2009b) y Lavell (s/f) clasifican a las amenazas en tres tipos:

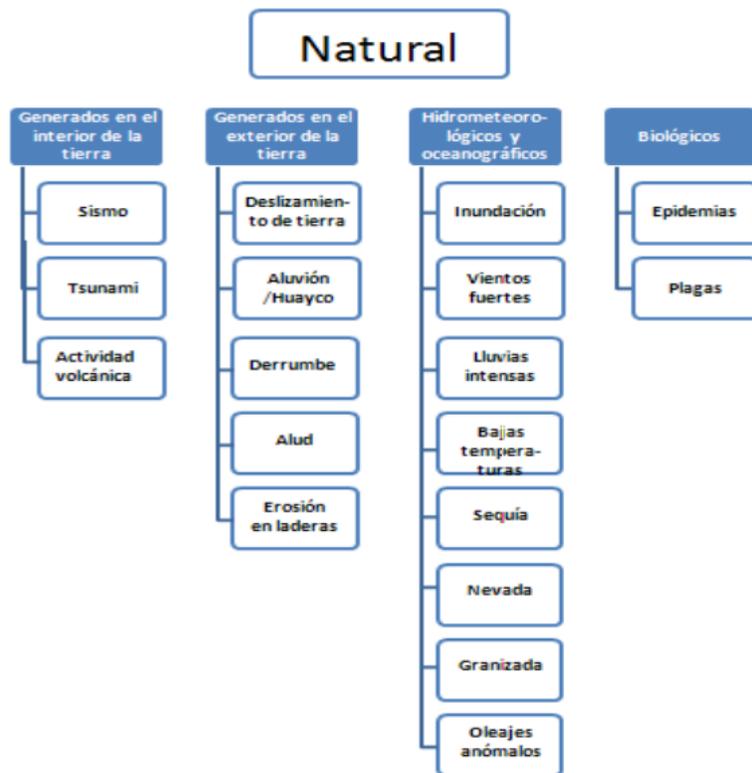
- origen natural asociadas a la dinámica geológica, geomorfológica, atmosférica, hidrometeorológica, oceanográfica, entre otras.
- socionaturales que se generan como resultado de la interrelación de las prácticas sociales en un ambiente natural.
- antropogénicas/ tecnológicas, que son producto directo y unilateral de la actividad humana.

El Instituto Nacional de Defensa Civil peruano - INDECI clasifica el peligro según su origen - natural o generados por la acción del hombre- en los siguientes cinco tipos (INDECI, 2005):

- De geodinámica interna: procesos dinámicos en el interior de la tierra como la actividad volcánica, sismos, maremotos (tsunamis).
- De geodinámica externa: procesos dinámicos en la superficie de la tierra como aludes, aluviones, avalanchas, colapso de viviendas, derrumbes, deslizamientos, huaycos, etc.

- Meteorológicos o hidrológicos, como las lluvias, granizadas, nevadas, heladas, inundaciones, maretaos, la sequía, tormentas eléctricas, vendavales, cambios climáticos (como p. ej. el Fenómeno El Niño)
- Biológicos, como plagas, epidemias, etc.
- Tecnológicos, tales como incendios – forestales, industriales y urbanos-, explosiones, derrames de sustancias nocivas, atentados (terrorismo), guerras y la contaminación ambiental tanto del agua, del aire y del suelo.

Gráfico N° 2: Peligros de fenómeno natural



Fuente: CENEPRED

### c. Vulnerabilidad

Tal como señalado líneas arriba, la determinación del riesgo de desastre requiere de la conjunción de amenazas y vulnerabilidad.

La vulnerabilidad es el resultado de procesos de desarrollo no sostenibles. Es una condición social, producto de los procesos y formas de cambio y transformación

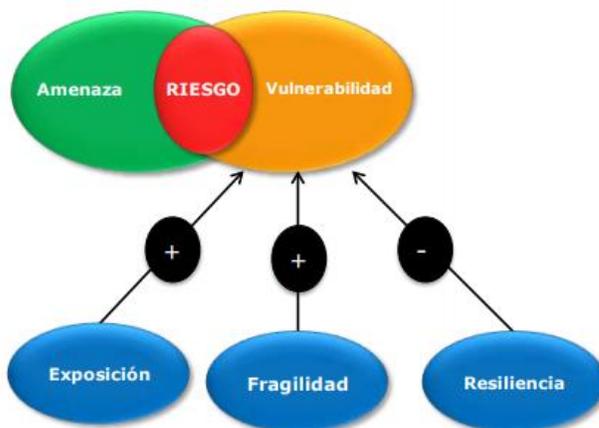
de la sociedad. Se expresa en términos de los niveles económicos y de bienestar de la población, en sus niveles de organización social, educación, en sus características culturales e ideológicas; pero también en términos de localización en el territorio, en el manejo del ambiente, en las características y capacidades propias de recuperarse y de su adecuación al medio y a los peligros que este mismo presenta (MEF-DGPM, 2006).

A diferencia de la amenaza, el factor de vulnerabilidad es controlable, es decir que es posible realizar acciones concretas para contribuir a la reducción del riesgo de desastres. No obstante, justo es en el análisis de vulnerabilidad donde existen mayores dificultades para homogenizar el concepto.

Según la EIRD (2006), la vulnerabilidad se define como “las condiciones físicas, sociales, económicas y ambientales, que incrementan la susceptibilidad (de pérdidas) de una comunidad o sociedad frente a los peligros”. Otra manera de entender la vulnerabilidad es como una “situación de incapacidad de una unidad social para anticiparse, resistir y recuperarse de los efectos adversos de un peligro”.

La vulnerabilidad puede ser explicada por tres factores: exposición, fragilidad y resiliencia (Von Hesse, M. , Kámiche, J., de la Torre. C. y Zhang, H., 2010).

Gráfico N° 3: Factores que explican la vulnerabilidad



Fuente: EIRD (2009), DGPM (2006, 2007), GTZ (2002)

**La exposición:** está referida a las decisiones y prácticas que ubican al ser humano y sus medios de vida en la zona de impacto de un peligro. La exposición se genera por una relación no apropiada con el ambiente, que se puede deber a procesos no planificados de crecimiento demográfico, a un proceso migratorio desordenado, al proceso de urbanización sin un adecuado manejo del territorio y/o a políticas de desarrollo económico no sostenibles. A mayor exposición, mayor vulnerabilidad.

**La fragilidad:** está referida a las condiciones de desventaja o debilidad relativa del ser humano y sus medios de vida frente a un peligro. En general, está centrada en las condiciones físicas de una comunidad o sociedad y es de origen interno, por ejemplo: formas de construcción, no seguimiento de normativa vigente sobre construcción y/o materiales, entre otros. A mayor fragilidad, mayor vulnerabilidad.

**La resiliencia:** está referida al nivel de asimilación o capacidad de recuperación del ser humano y sus medios de vida frente a la ocurrencia de un peligro. Está asociada a condiciones sociales y de organización de la población. A mayor resiliencia, menor vulnerabilidad.

Esta composición de la vulnerabilidad tiene la ventaja que permite pensar en variables específicas para identificar la vulnerabilidad para cada uno de dichos factores. Es por ello que el modelo ha sido utilizado tanto a nivel internacional como nacional para explicar los mecanismos de reducción de vulnerabilidad para disminuir el impacto de los desastres. (von Hesse et al., 2010). En el Marco de Acción de Hyogo por. ejem. se utilizó el modelo para reportar el avance de las acciones del 2009 (EIRD, 2009a); el Proyecto Prevención de Desastres en la Comunidad Andina –PREDECAN lo usa para proponer mecanismos a través de los cuales se puede tomar medidas para reducir la vulnerabilidad. A nivel nacional este modelo conceptual ha sido implementado en el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) como parte del proceso de identificación, formulación y evaluación de proyectos (von Hesse et al., 2010)

Pero también existen otros modelos de vulnerabilidad. El INDECI trabaja con un modelo de vulnerabilidad denominado la “vulnerabilidad global”, desarrollado por Wilches-Chaux. Según este enfoque, una sociedad puede enfrentar distintas vulnerabilidades y las clasifica de la siguiente manera (Wilches-Chaux, 1993):

- Vulnerabilidad natural: vulnerabilidad de ecosistemas
- Vulnerabilidad física: localización de la población en zonas de riesgo físico
- Vulnerabilidad económica: relación entre ingresos y riesgos de desastre: la pobreza incrementa el riesgo
- Vulnerabilidad social: cuando el grado de organización en la sociedad es deficiente, la capacidad de prevenir, mitigar y responder ante situaciones de desastres es limitada.
- Vulnerabilidad política: concentración de la toma de decisiones, centralismo
- Vulnerabilidad técnica: inadecuadas técnicas de construcción
- Vulnerabilidad ideológica: Concepción del mundo y medio ambiente, ejemplo. fatalismo, mitos, pasividad aumentan vulnerabilidad de la población
- Vulnerabilidad educativa: falta de información sobre el medio ambiente, formas adecuadas de comportamiento en caso de amenaza
- Vulnerabilidad cultural: influencia de medios de comunicación frente a riesgos • Vulnerabilidad ecológica: convivencia con el medio ambiente
- Vulnerabilidad institucional: rigidez de instituciones, burocracia

El INDECI ha tratado de operativizar estos conceptos en el Manual Básico de Estimación de Riesgo (2006), definiendo mecanismos para intentar medir los distintos tipos de vulnerabilidad. Sin embargo resulta difícil delimitar cada uno de los tipos de vulnerabilidad, lo cual constituye el problema principal de este modelo.

### **1.2.2. Protocolo de CENEPRED:**

Es un manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales publicado por CENEPRED (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre) en el año 2014, es un avance en los estudios de

gestión de riesgos de desastres, pues involucra una metodología cuantitativa que permite caracterizar la peligrosidad y vulnerabilidad con una mayor aproximación a la realidad.

Utiliza el método multicriterio (proceso de análisis jerárquico) para la ponderación de los parámetros de evaluación del fenómeno de origen natural y de la vulnerabilidad, mostrando la importancia (peso) de cada parámetro en el cálculo del riesgo, facilitando la estratificación de los niveles de riesgos. Este método fue desarrollado por el matemático Thomas Saaty (1980) y consiste en descomponer un problema complejo en jerarquías, donde cada nivel es descompuesto en elementos específicos. El propósito del método es permitir que el agente decisor pueda estructurar un problema multicriterio de forma visual, mediante la construcción de un Modelo Jerárquico que como mínimo tiene tres niveles.

Para la evaluación de fenómenos naturales (peligros geológicos) se debe seguir los siguientes pasos:

- Evaluación del evento (evaluación local)
- Estimación de la susceptibilidad (análisis de factores condicionantes y factores desencadenantes):  $\text{Susceptibilidad} = F. \text{ Condicionantes} + F. \text{ Desencadenantes}$ .
- Estimación de la peligrosidad:  $\text{Peligrosidad} = \text{Evento} + \text{Susceptibilidad}$ .

Los movimientos en masa en laderas, son procesos de movilización lenta o rápida que involucran suelo, roca o ambos, causados por exceso de agua en el terreno y/o por efecto de la fuerza de gravedad.

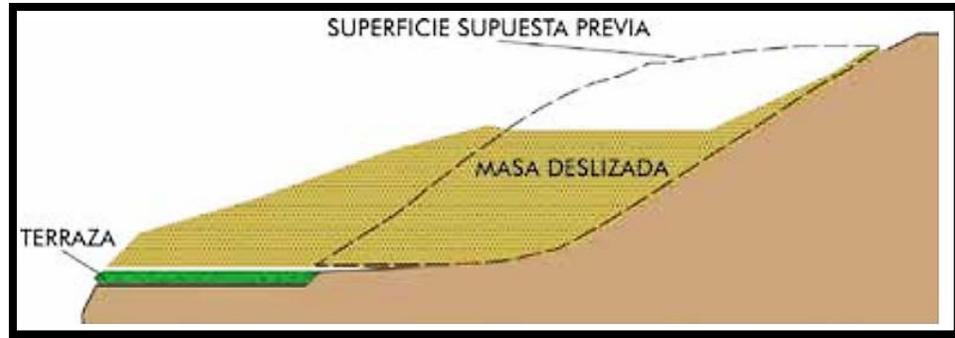


Figura N° 1: Proceso de movimiento en masa

Fuente: Yesano 2014

Los deslizamientos consisten en un descenso masivo o relativamente rápido, a veces de carácter catastrófico, de materiales, a lo largo de una pendiente. El deslizamiento se efectúa a lo largo de una superficie de deslizamiento, o plano de cizalla, que facilita la acción de la gravedad. Ver figura N°1.

La pérdida de cobertura vegetal y forestal favorece a la meteorización y el consecuente desplazamiento mecánico del material por factores desencadenantes. Ver figura N°2 e ilustración N°1.

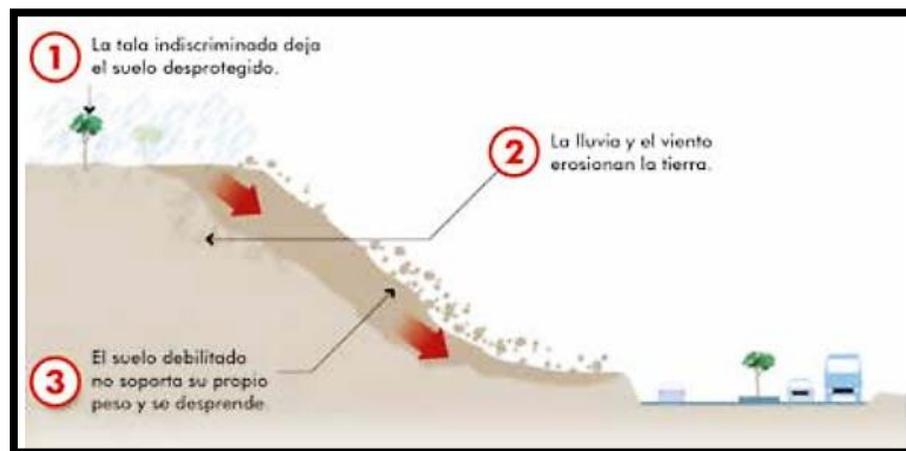


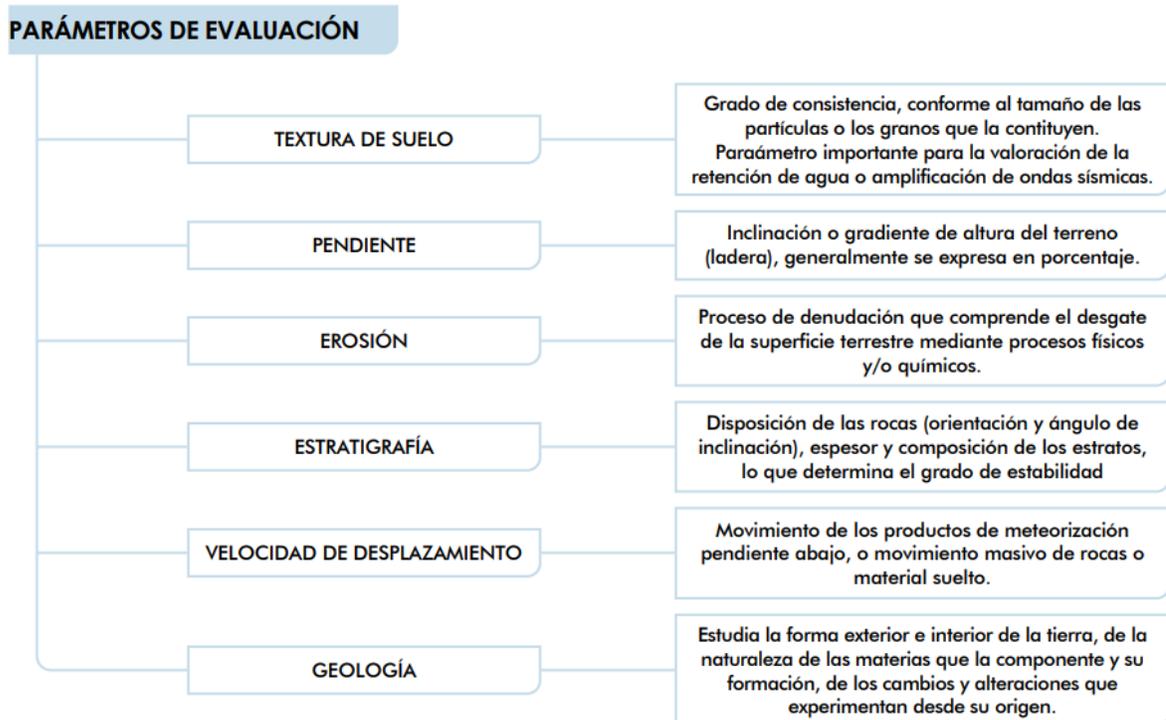
Figura N° 2: Etapas de erosión del suelo

Fuente: Chavez, M.A 2014

### Parámetros de evaluación:

El gráfico N°4, muestra parámetros generales que ayudan a caracterizar el fenómeno de origen natural; el número y complejidad de los parámetros utilizados en un ámbito geográfico específico depende del nivel de detalle (escala) del estudio por lo cual esta lista puede variar.

Gráfico N° 4: Parámetros de evaluación de la erosión del suelo



Fuente: CENEPRED 2014

Tipos de deslizamientos Se presentan las siguientes clases de movimientos en masa: caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, propagaciones laterales, reptaciones; se describe además cierto tipo de deformaciones gravitacionales profundas, ver tabla N°1.

Tabla N° 1: Tipos de movimiento de masa

<b>TIPO</b>	<b>SUBTIPO</b>
Caídas	Caída de roca (detritos o suelo)
Volcamiento	Volcamiento de roca (bloque) Volcamiento flexural de roca o del macizo rocoso
Deslizamiento de roca o suelo	Deslizamiento traslacional, deslizamiento en cuña Deslizamiento rotacional
Propagación lateral	Propagación lateral lenta Propagación lateral por licuación (rápida)
Flujo	Flujo de detritos Crecida de detritos Flujo de lodo Flujo de tierra Flujo de turba Avalancha de detritos Avalancha de rocas Deslizamiento por flujo o deslizamiento por licuación (de arena, limo, detritos, roca fracturada)
Reptación	Reptación de suelos Soliflucción, geliflucción (en permafrost)
Deformaciones gravitacionales profundas	

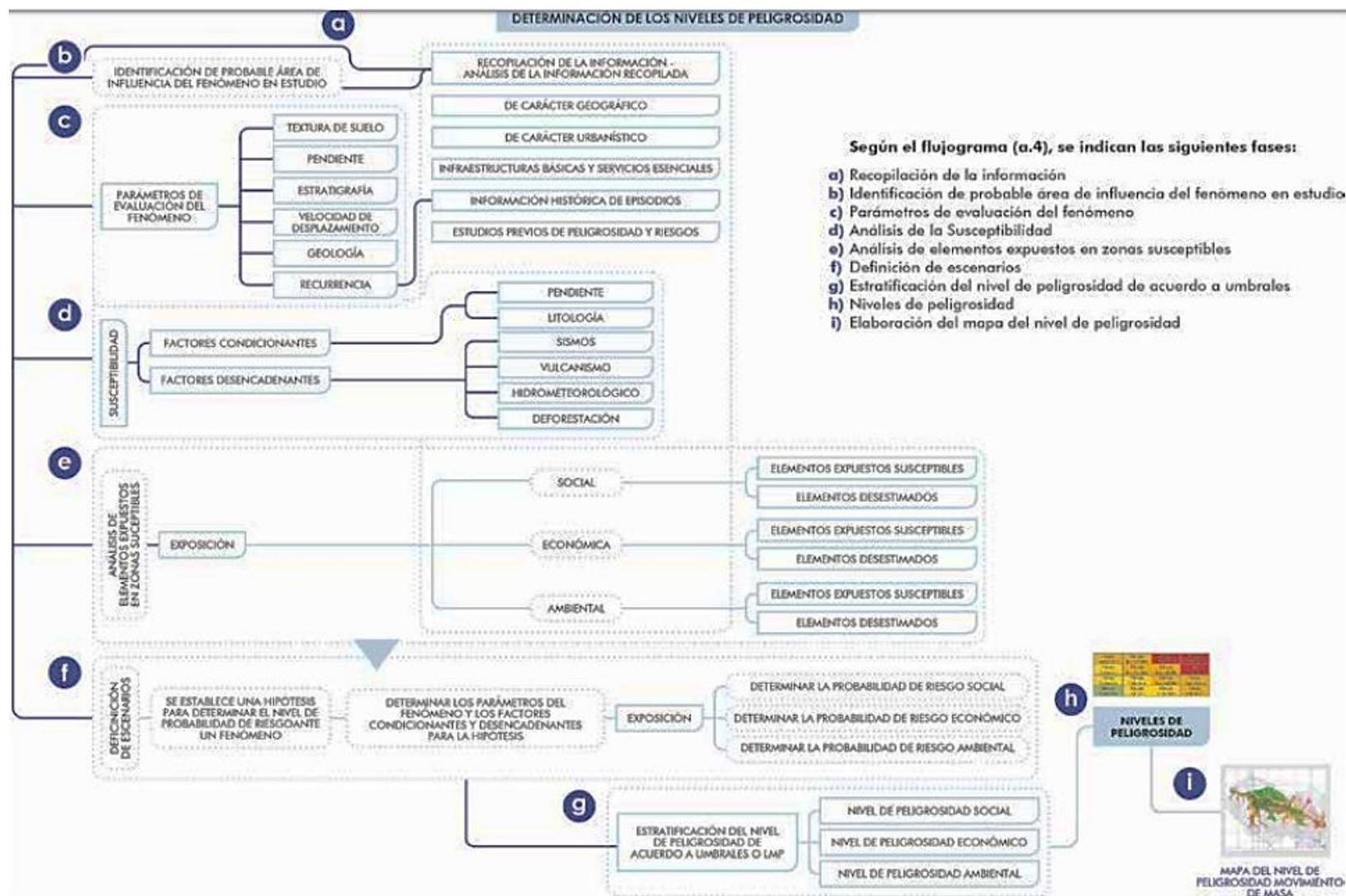
Fuente: Región Andina: Guía para la Evaluación de Amenazas (2007)



Ilustración N° 1: Deslizamiento de tierra sepulta parte de una autopista en Taiwan

Fuente: REUTERS (2014)

Gráfico N° 5: Flujoograma de peligrosidad



### 1.2.3. Movimientos en Masa:

El término movimiento en masa abarca un conjunto de procesos denudativos relacionados con la deformación del terreno y el desplazamiento o transposición más o menos rápida y localizada de diferentes volúmenes de suelo, de mantos completos de meteorización, incluyendo material de suelos, detritos, bloques y masas de rocas, cuesta abajo, por incidencia de las fuerzas de desplazamiento (gravedad, movimientos sísmicos), a veces con participación mayor y menor del agua, del hielo y otros agentes (Villota, 2005). Por otro lado algunos autores utilizan el término deslizamiento para referirse a los movimientos en masa, (Crozier, 1986) define los deslizamientos como el movimiento gravitacional hacia el exterior de la ladera y descendente de tierras o rocas sin la ayuda del agua. Como vemos las definiciones adoptadas para movimientos en masa son variados, como fenómenos de remoción en masa; para nosotros se entenderá como peligros geológicos por movimientos en masa, a los procesos de movimiento lento o rápido que involucran roca, suelo o ambos por efectos de la gravedad.

#### A) Factores influyentes a la ocurrencia de movimientos en masa:

Los movimientos de ladera están constituidos por la acción simultánea de una serie de factores, existiendo diversas clasificaciones que los definen. De forma general se diferencian entre factores condicionantes que propician la ocurrencia del fenómeno y factores que desencadenan e inician con el movimiento de masas.

##### a) Factores condicionantes

- **Estructura:** Los parámetros estructurales de los materiales que constituyen una ladera como: fallas, fracturas, pliegues, planos de estratificación y foliación se deben de considerar porque están pueden favorecer o no los procesos de inestabilidad de laderas (Ayala-Carcedo y Olcinas, 2002).
- **Litología:** estos son los aspectos más importantes a tener en cuenta para la ocurrencia de movimientos de ladera es de tipo de material que constituya las laderas, sus propiedades químicas y físicas, la resistencia

al esfuerzo, grado de meteorización de los mismos y su forma de evaluación en cada ambiente natural (Mora y Vahrson, 1993)

- **Morfometría:** las características morfométricas como la pendiente, altura, Amplitud de la ladera, nos dan una idea del grado de equilibrio de los materiales que la componen (Aguilar y Mendoza, 2002). Por ejemplo, se espera que ocurran movimientos de ladera en pendiente moderadas a muy fuertes (Medina, 1991).
- **Clima:** Los procesos climáticos pueden afectar el contenido de humedad de los materiales constituyentes de una ladera (Mora y Vahrson, 1993). Además de contribuir a acelerar la meteorización y disminuir la resistencia mecánica de dichos materiales.
- **Hidrogeología:** Los parámetros hidrogeológicos como la porosidad, capacidad de drenaje de los materiales, entre otros también influyen en la inestabilidad de laderas.

#### **b) Factores desencadenantes:**

Estas variables que hacen que un movimiento de ladera se active o desencadene aun en laderas en equilibrio. Entre los principales factores desencadenantes se tiene a la precipitación, sismicidad, sobrecarga, excavación. (Villacorta, 2007).

- **Precipitación:** la frecuencia y tipo de precipitación son factores que desencadenan o reactivan los movimientos de ladera porque al infiltrarse el agua de lluvia y saturarse el terreno pierde capacidad de absorción y puesto que esto implica mayor densidad, mayor presión de poros por contenido de agua y pérdida de cohesión el material falla.
- **Sismicidad:** La actividad sísmica es un factor significativo en el desencadenamiento o reactivación de movimientos de ladera. Las vibraciones provocadas por sismos puede ser lo suficientemente fuertes como para originar deslizamientos de diversa magnitud, afectando extensas áreas.

- **Actividad volcánica:** Los movimientos de ladera pueden estar relacionados con la erupción o con sismos previos a ésta en un volcán. En las primeras etapas de la erupción se depositan flujos piroclásticos, los cuales forman nuevos depósitos o amplían algunos existentes, pudiendo así provocar movimientos de material en las faldas del volcán. En los volcanes nevados, las altas temperaturas producidas por una Erupción funden los depósitos de hielo y nieve, éstos se mezclan con los materiales piroclásticos previamente expulsados de tal manera que generan avalanchas y flujos de lodo que pueden recorrer grandes distancias.
- **Actividad antrópica:** Las actividades humanas en muchos casos han desencadenado la ocurrencia de movimientos de ladera. Un claro ejemplo es el caso ocurrido el 12 de enero del 2007 en Sao Paulo (Brasil), que por la ejecución de obras subterráneas de ampliación del Metro, las paredes de la obra se hundieron dejando un socavón de cuarenta metros de profundidad. Asimismo, la extracción de materiales para la construcción o la sobrecarga en una ladera debida a la urbanización o la mala disposición de depósitos de acumulación de residuos sólidos, son cambios bruscos en la topografía de un área que pueden desencadenar un movimiento de ladera.

#### **B) Tipos de movimientos en masa:**

De acuerdo con (Varnes, 1978), la clasificación oficial de la International Association of Engineering and Environment (IAEG) los movimientos en masa se clasifican con base en el tipo de movimiento y al material involucrado, lo cual genera todo un sistema de eventos. Para la clasificación de los movimientos en masa se presenta el sistema propuesto originalmente por (Varnes, 1978), el cual tipifica los principales tipos de movimientos que a continuación se detallan:

Tabla N° 2: clasificación de movimientos en masa

TIPO DE MOVIMIENTO	TIPO DE MATERIAL		
	ROCA	SUELOS INGENIERILES	
		DETRITO Predominante granular (<80% arena y más fina)	TIERRA Predominante fino (>80% arena y más fino)
Caídas	Caída de rocas	Caída de detritos	Caída de tierra
Vuelcos	Vuelcos de roca	Vuelco en suelo granular	Vuelco en suelo cohesivo
Deslizamiento	Deslizamiento de roca	Deslizamiento de detritos	Derrumbe de tierra
			Deslizamiento de tierra
Deslizamiento lateral	Deslizamiento de roca	Deslizamiento de detritos	Deslizamiento de tierra
Flujos	Flujos de roca reptación de roca	Flujo de detritos  Avalancha reptación de suelos solifluxión	Flujo húmedo de arena y limo
			Flujo rápido de tierra
			Flujo loess
			Flujo seco de arena Flujo de tierra
Complejo	Combinación de dos o más de los principales tipos de movimientos		

Fuentes: Varnes 1978.

Esta adaptación se basa en el tipo de movimiento y material involucrado, es así que se pueden encontrar en los tipos de movimientos diferenciados cuatro mecanismos principales, los cuales son las caídas, deslizamientos, flujos y movimientos complejos, también se consideran en este trabajo los procesos de erosión de laderas. Los tres primeros son básicos, el cuarto se refiere a la combinación de dos o más de los movimientos anteriores, la erosión de laderas ha sido considerada por ser predecesoras en muchos casos a la ocurrencia de un

movimiento en masa de gran magnitud, a continuación se describen los tipos de movimientos en masa.

- **Caídas:** son movimientos abruptos de una masa rocosa, de cualquier tamaño, se desprende de un talud empinado o un acantilado, y desciende por lo común a través del aire por caída libre, saltos, rodando, etc. La separación ocurre a lo largo de discontinuidades como fracturas, juntas, y planos de estratificación. Los movimientos son muy rápidos a extremadamente rápidos. Las caídas son fuertemente influenciadas por la gravedad, intemperismo mecánico, y la presencia de agua intersticial dentro de las caídas se pueden diferenciar dos tipos de movimientos:



Figura N° 3: esquema de caída

Fuente: Varnes 1978.

- **Caída de rocas:** desprendimientos o caídas de rocas que ocurren en materiales no compactos y semi-compactos, como también en roca o suelo cementados con pendientes mayores a 40°.

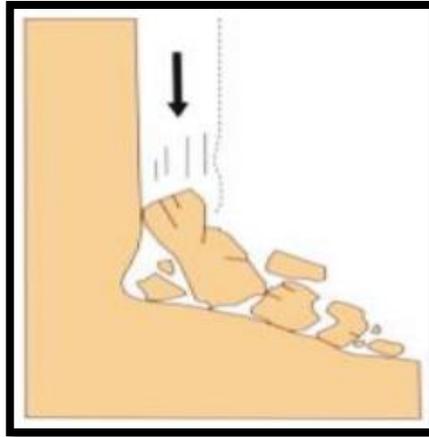


Figura N° 4: esquema de caída de rocas

Fuente: Varnes 1978.

- **Derrumbes:** Disgregación generalmente de roca, que forma en la base un depósito caótico de material grueso, es producido por el socavamiento de la base de riveras fluviales, áreas costeras, acantilados rocosos, en laderas de moderada a fuerte pendiente, por acción de lluvias, movimientos sísmicos y antrópica (cortes de carreteras o áreas agrícolas)

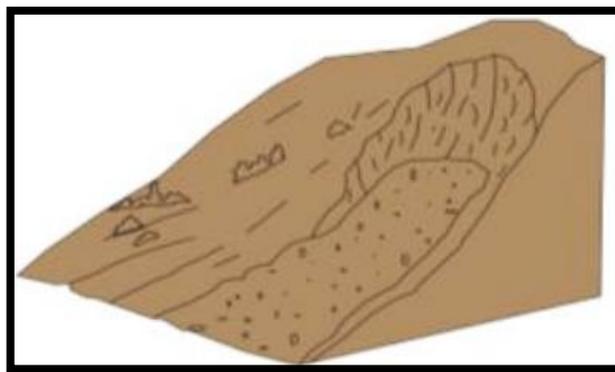


Figura N° 5: esquema de derrumbe

Fuente: Varnes 1978.

- **Vuelcos:** Son movimientos debido a fuerzas que causan un movimiento de rotación alrededor de un punto de giro localizado en un punto inferior, bajo la acción de la gravedad y fuerzas ejercidas por unidades adyacentes,

se consideran que se producen exclusivamente en rocas, condicionados por la disposición estructural de los estratos contra el talud y/o un sistema de discontinuidades bien desarrollado.

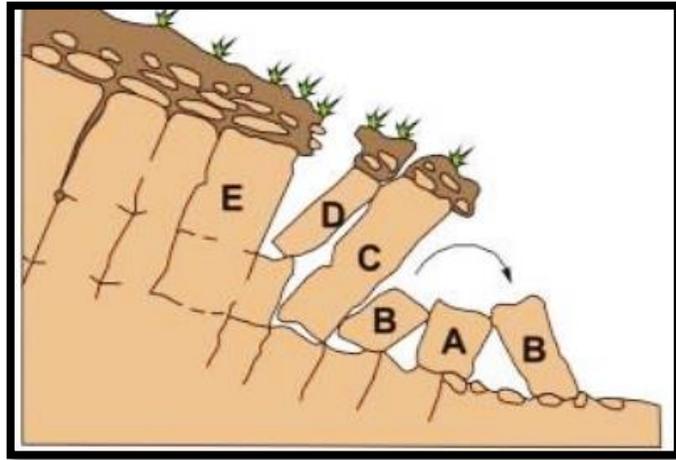


Figura N° 6: esquema de vuelco

Fuente: Varnes 1978.

- **Deslizamiento:** Su movimiento consiste de una deformación por corte y desplazamiento a lo largo de una o varias superficies visibles o que pueden inferirse, dentro de una zona más o menos estrecha. Se diferencian los siguientes tipos de deslizamiento:

**Deslizamiento rotacional:** Se produce a lo largo de una superficie de ruptura de forma circular o semicircular y cóncava hacia arriba, su velocidad varía de lenta a moderada, teniendo gran influencia la inclinación de la superficie de ruptura en el pie del deslizamiento, se puede producir en rocas muy fracturadas, detritos y suelo.

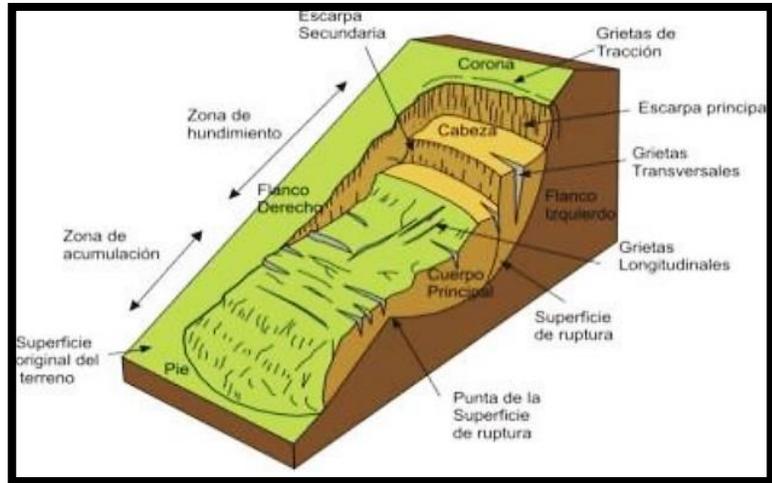


Figura N° 7: esquema de deslizamiento rotacional

Fuente: Varnes 1978.

**Deslizamiento traslacional:** Se produce a lo largo de una superficie de ruptura plana o suavemente ondulada; frecuentemente controlada o relacionada estructuralmente con superficies de debilidad como son las fallas, diaclasas, planos de estratificación, o por contacto entre substrato rocoso firme y depósitos subyacentes superficiales, se pueden producir en roca, suelos y detritos.

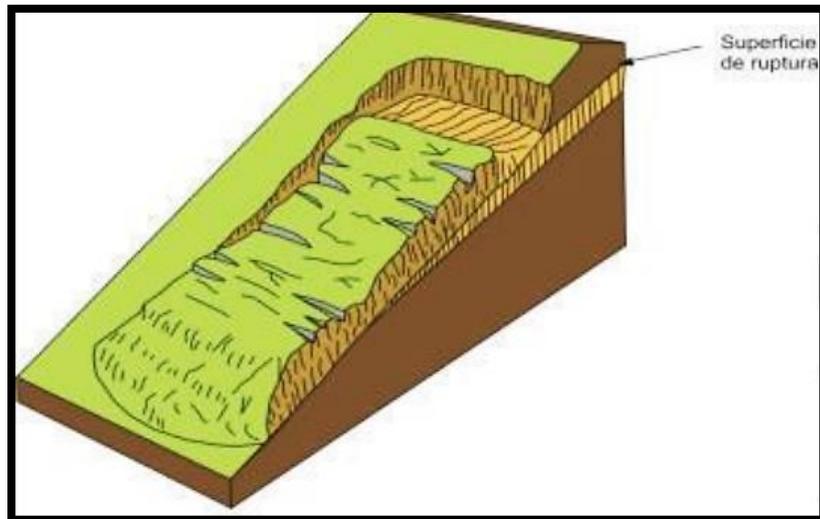


Figura N° 8: esquema de deslizamiento traslacional

Fuente: Varnes 1978.

- **Flujos:** Son movimientos de material litológico de textura fina y gruesa que se desplazan a lo largo de una superficie, exhibe un comportamiento semejante a un fluido, puede ser rápido o lento, saturado o seco, estos pueden ser:

**Flujos de detritos:** conocidos también como huaycos, son corrientes que se caracterizan por flujos muy rápidos o avenidas intempestivas de agua turbia, que arrastra a su paso materiales de diferentes características provenientes de la meteorización de las rocas, estos van desde suelos finos hasta enormes bloques de roca, maleza y árboles, que pierden su estabilidad estructural por efecto del agua.

Se desplazan a lo largo de un cauce definido con desbordes laterales, en su parte terminal está conformado por un abanico proluvial.

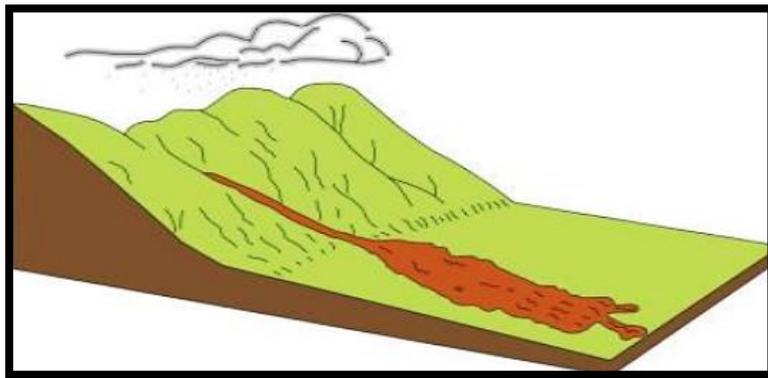


Figura N° 9: esquema de flujos canalizados

Fuente: Varnes 1978.

- **Avalancha de detritos:** Es una variedad de flujo de detritos no canalizado muy rápida a extremadamente rápida, puede desplazarse sobre aéreas abiertas en laderas de alta pendiente.

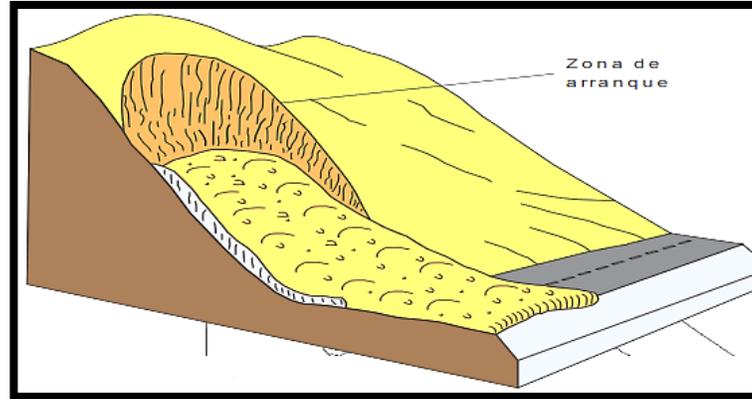


Figura N° 10: avalancha de detritos

Fuente: Varnes 1978.

- **Flujo de lodo:** Es un flujo de tierra en donde el material está bastante húmedo para que pueda fluir rápidamente, contiene menos del 50% de partículas de tamaño de arenas, limos y arcillas. El movimiento del flujo del lodo se debe a la gravedad, duración de las lluvias y su velocidad depende en mayor grado por la pendiente del terreno por donde se desplazan y de la viscosidad del lodo, con influencia de las dimensiones del canal y la rugosidad de su superficie.

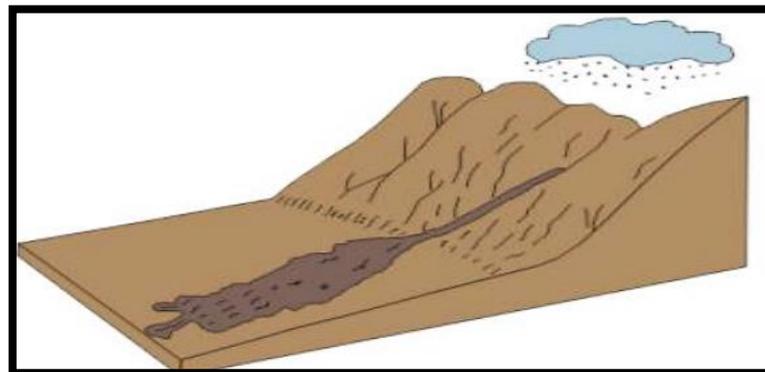


Figura N° 11: esquema de flujos de lodos

Fuente: Varnes 1978.

- **Reptación de suelos:** Son movimientos extremadamente lentos casi imperceptibles según la pendiente de una parte de la ladera natural, que comprometen a una masa de suelo detrítico coluvial con abundante matriz arcillosa y/o rocas blandas, susceptibles de experimentar deformación elastoplástica. El movimiento no es homogéneo y dentro de la masa se distingue varios movimientos parciales, con desplazamientos verticales del orden de centímetros y el horizontal casi nulo.

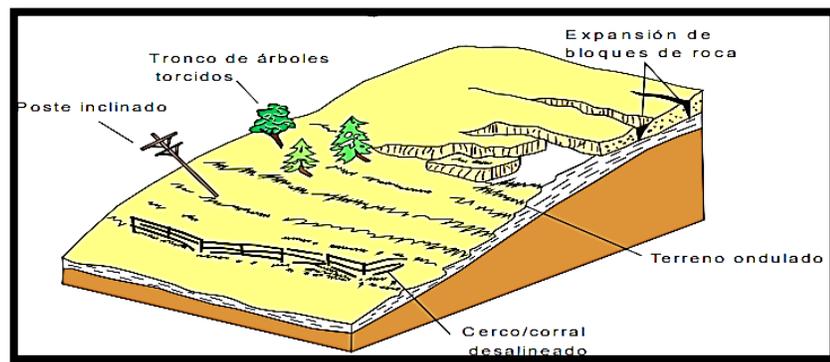


Figura N° 12: esquema de reptación de suelos

Fuente: Varnes 1978.

- **Movimientos complejos:** Se produce por la combinación de uno o más de los cinco tipos de movimientos descritos anteriormente, muchos deslizamientos son complejos aunque un tipo de movimiento generalmente domina sobre los otros en ciertas áreas del deslizamiento en un instante particular (por ejemplo se tienen deslizamientos-flujos de tierra, avalancha de rocas, etc.).
- **Erosión de laderas:** La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta gracias a la presencia de agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento) en contacto con el suelo. La construcción de muchas obras de ingeniería, así como el asentamiento de

centros poblados y la habilitación de muchas zonas como terrenos de cultivo, exigen la remoción de la cobertura vegetal y excavaciones del suelo. Estas acciones, conlleva a la generación de problemas en laderas y cursos de agua por la generación e incorporación de suelo removido a las corrientes, los cuales pueden alterar ecosistemas naturales y generan problemas de sedimentación.

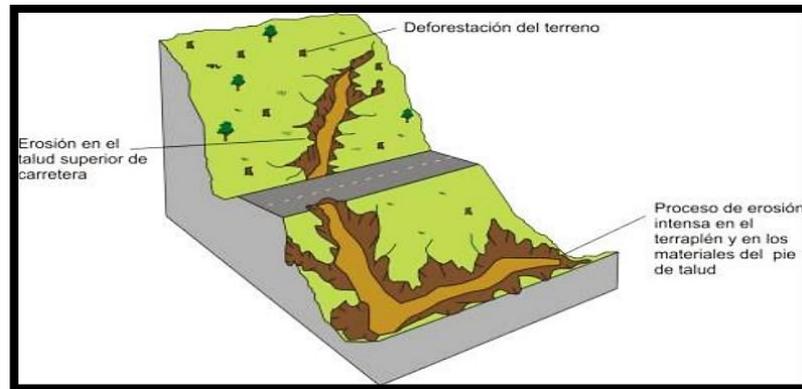


Figura N° 13: esquema de erosión de laderas

Fuente: Varnes 1978.

- **Cárcavas:** Tipo de erosión concentrada en surcos que se forma por el escurrimiento de las aguas sobre la superficie de las laderas. La presencia de cárcavas en el terreno, indica un grado avanzado de degradación, ya que si las pequeñas incisiones por las que circula el agua en la ladera no se eliminan, estas irán progresando en el sentido aguas arriba captando desprendimientos y derrumbes de materiales de mayor tamaño debido a la falta de cohesión por exceso de humedad.

#### 1.2.4. Peligros geológicos:

Peligro natural es la probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino dentro de un periodo de tiempo especificado en un área dada. También ha sido definido el peligro como "la capacidad de daño (personal y material) de un fenómeno con respecto al tiempo. Si el tiempo es muy grande (por ejemplo miles

de años), el riesgo es despreciable si se compara con la duración de una civilización" (Anguita & Serrano, 1993; Sanhueza & Vidal, 1996). Por tanto, se puede decir que riesgo geológico es todo fenómeno geológico adverso a construcciones pasadas, presentes o futuras o el uso de tierras, significando un riesgo para la salud, seguridad pública o de sus bienes.

Los peligros geológicos de índole natural, es decir, aquellos que no se producen en origen por la mano del hombre, aunque los pueda potenciar, pueden originarse de dos tipos; los de tipo endógeno que tienen lugar en el interior de la Tierra y originan fenómenos naturales como los sismos, los tsunamis y los volcanes; y los de tipo exógeno que se presentan en la superficie terrestre como intemperismo, erosión y acumulación debido a las acciones de la gravedad, del agua, del aire, el sol y otros factores que, en conjunto, dan composición, forma y estructura a la superficie terrestre. Los peligros geológicos comprenden los temas de: fallas y fracturas, erosión, sismos, volcanes, tsunamis, hundimientos, deslizamientos, derrumbes y flujos de lodo.

➤ **Factores Naturales**

- a) Condiciones de roca y suelo: Suelo saturado de agua, escombros poco consolidados y rocas fracturadas pueden generar deslizamiento.
- b) Topografía: La inclinación de las laderas es un factor determinante en la Formación de movimientos en masa. En general, mientras más grande es la Pendiente, mayor es la amenaza.
- c) Lluvia: La cantidad y duración de la lluvia controlan la desestabilización de una ladera.
- d) Actividad sísmica: Cuando se produce un temblor se generan vibraciones que pueden afectar el equilibrio de las laderas y originar movimientos en masa. Cuanto mayor sea la intensidad, duración y frecuencia de la actividad sísmica, mayor es la amenaza.
- e) Actividad Humana:

- Excavaciones para la construcción de viviendas, escuelas, canales, carreteras, etc.
- Sobrecargas como resultado del aumento de peso. Se produce a varios tipos de construcciones sobre el suelo: rellenos, terraplenes, acumulación de, materiales y de agua.

➤ **Factores de Inestabilidad de los Peligros Geológicos**

Los factores que intervienen en la ocurrencia de los diferentes tipos de los peligros geológicos son los siguientes:

- a. La naturaleza de los materiales: La litología, en muchos casos de mala calidad, tanto por su grado de meteorización y/o fracturamiento, los depósitos coluviales, esto condiciona mayor erosión en el suelo coluvial y mayor disponibilidad en las rocas fracturadas
- b. La topografía que presenta la zona de estudio: Las pendientes que presenta la zona de estudio en su mayoría son fuertes, en estos lugares se observa gran concentración de peligros geológicos. El grado de pendiente determina, en gran medida, la velocidad del movimiento, en terrenos con pendientes entre 50° y 30° se producen todo tipo de movimientos en masa más o menos lento, por encima de 30° ocurren con mayor frecuencia movimientos rápidos.
- c. Factores climáticos: Viene a ser uno de los principales factores para que se den los diferentes tipos de peligros geológicos, las precipitaciones pluviales en esta zona son constantes entre los meses de noviembre a abril, generando la saturación de los depósitos coluviales, la infiltración de las aguas por las fracturas y diaclasas del granito y el incremento del caudal de los ríos, como lo sucedido el año 2010.
- d. La vegetación: Tiene una influencia en la ocurrencia de los diversos tipos de peligros, algunos árboles tienen raíces superficiales que no amarran y no detienen ningún fenómeno que fuera a ocurrir debido a que existe escaso material de cobertura por la pendiente que presentan las laderas, por otro lado, existen otros árboles que introducen sus raíces

por las fracturas de las rocas, separándolas aún más, debilitando el macizo, generando así derrumbes y/o caída de rocas.

### **1.3. Definición de Términos Básicos:**

**Gestión de riesgos de desastres:** Conjunto de actividades enmarcadas dentro de un plan de trabajo que busca disminuir los daños causados por los desastres los cuales son tomados dentro plan nacional de gestión de riesgos de desastres, se refiere al conjunto de acciones los cuales deben tomar en consideración el análisis de riesgos de desastres y las políticas de mantenimiento como parte de la gestión de riesgos.

**Riesgo:** Probabilidad de ocurrencias de pérdidas. En términos matemáticos el riesgo es el producto de dos variables medibles que son el peligro y la vulnerabilidad.

**Peligro:** Probabilidad de que se concrete un evento que traiga consigo pérdidas de diversos aspectos para la sociedad peruana el cual tiene un punto definido de ocurrencia.

**Peligros de Geodinámica Externa:** Los movimientos en masa en laderas, son procesos de movilización lenta o rápida que involucran suelo, roca o ambos, causados por exceso de agua en el terreno y/o por efecto de la fuerza de gravedad.

**Peligros de Geodinámica Interna:** La dinámica del interior de la Tierra es la que guía los procesos geológicos más espectaculares, y del mismo modo, los más pavorosos: terremotos, erupciones volcánicas, tsunamis o el movimiento de los continentes, entre otros. Del mismo modo, la dinámica interna de la Tierra es la causa del movimiento de las placas en la superficie de la Tierra. El movimiento de las placas, y todos los procesos asociados, están englobados dentro de la rama de la geología denominada Tectónica.

**Vulnerabilidad:** Es un factor que nos ayuda a estimar el riesgo, dentro del estudio planteado en la tesis la vulnerabilidad será considerada en una escala de bajo, medio, alto y muy alto.

**Exposición:** Se entiende como una relación de a mayor exposición, mayor vulnerabilidad. Aquí se analizan las unidades sociales expuestas (como la población, la familia y la comunidad), así como los servicios públicos y elementos, que están expuestas a los peligros.

**Resiliencia:** Capacidad de asimilación de la sociedad para adaptarse, cambiar, resistir y recuperarse, del impacto de un desastre, así como de incrementar su capacidad de aprendizaje y recuperación de los desastres para estar más preparados en un futuro.

**Prevención:** Dentro del estudio se considerara como prevención al conjunto de recomendaciones que se darán en cada uno de los puntos identificados con sus progresivas en base a la correcta identificación de los peligros y los riesgos hallados los cuales son medidas estructuradas de acuerdo a lo identificado.

**Medidas estructurales y no-estructurales:** Si hablamos de medidas estructurales y no estructurales nos referimos a los aportes que se le brindara dentro de las recomendaciones, los cuales se llamaran estructurales si gozan de un sistema de ingeniería y diseño para ejecutarlos, y serán considerados como no estructurales aquellos que tengan como referencia dar mantenimiento y limpieza .

**Mitigación:** La mitigación está considerado dentro del estudio como las acciones que se realizaran, en base a la correcta identificación de los peligros y los riesgos, con el fin de reducir los niveles de inseguridad, peligro y riesgo.

**CENEPRED:** El Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres – CENEPRED es un organismo público executor que conforma el SINAGERD, responsable técnico de coordinar, facilitar y supervisar la formulación e implementación de la Política Nacional y el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, en los procesos de estimación, prevención y reducción del riesgo, así como de reconstrucción.

## **1.4. Objetivos:**

### **1.4.1 Objetivo general:**

Determinar la vulnerabilidad a los peligros naturales, para mejorar la transitabilidad de la carretera Poque - Puños.

### **1.4.2 Objetivo específico:**

- Determinar los principales peligros, para mejorar la transitabilidad de la carretera Poque - Puños.
- Determinar la exposición de la infraestructura, para mejorar la transitabilidad de la carretera Poque - Puños.
- Determinar la medida de prevención y reducción de riesgos, para mejorar la transitabilidad de la carretera Poque - Puños.
- Determinar la mejor alternativa de solución, para mejorar la transitabilidad de la carretera Poque - Puños.

## **1.5. Hipótesis:**

### **1.5.1 Hipótesis general:**

Al determinar la vulnerabilidad a los peligros naturales, permitirá mejorar la transitabilidad de la carretera Poque - Puños.

### **1.5.2 Hipótesis específica:**

- Al determinar los principales peligros, permitirá mejorar la transitabilidad de la carretera Poque - Puños.
- Al determinar la exposición de la infraestructura, permitirá mejorar la transitabilidad de la carretera Poque - Puños.
- Al determinar la medida de prevención y reducción de riesgos, permitirá mejorar la transitabilidad de la carretera Poque - Puños.
- Al determinar la mejor alternativa de solución, permitirá mejorar la transitabilidad de la carretera Poque - Puños.

## 1.6. Operacionalización de variables:

Tabla N° 3: Operación de variables

VARIABLE	INDICADORES	SUB INDICADORES	ÍNDICE	INSTRUMENTACIÓN
Variable independiente Vulnerabilidad a los peligros naturales	Peligro	Peligros de geodinámica interna	Muy altos Altos	SENAMHI IGP
		Peligros de geodinámica externa Peligros hidrometeorológicos y oceanográficos	Medio bajos	INGEMMET IGN Manual de evaluación de riesgo (CENEPRED)
Variable dependiente Mejorar la transitabilidad de la carretera	Vulnerabilidad	Exposición Fragilidad Resilencia	Muy altos Altos Medio bajos	Manual de Suelos y Pavimentos. MTC Manual de Puentes MTC Manual de Hidráulica e Hidrología. MTC
		Medidas de prevención y reducción de riesgo	Amenaza vulnerabilidad Área de influencia	Pavimento flexible, semirrígido, rígido Manual de Suelos y Pavimentos. MTC Manual CENEPRED
	Mejoramiento de la carretera	Medidas de prevención y reducción de riesgo Plan de contingencia	Rehabilitación Mejoramiento reconstrucción	Manual de conservación vial. MTC Manual de inventario vial. MTC

Fuente: Tesista

### 1.7. Población y muestra:

La población se considera la longitud total de la carretera Poque – Puños (10.011 km), en cuanto a la muestra; se trabaja con el muestreo no probabilístico, el cual permitirá identificar el tramo crítico dentro de la trayectoria de la carretera.

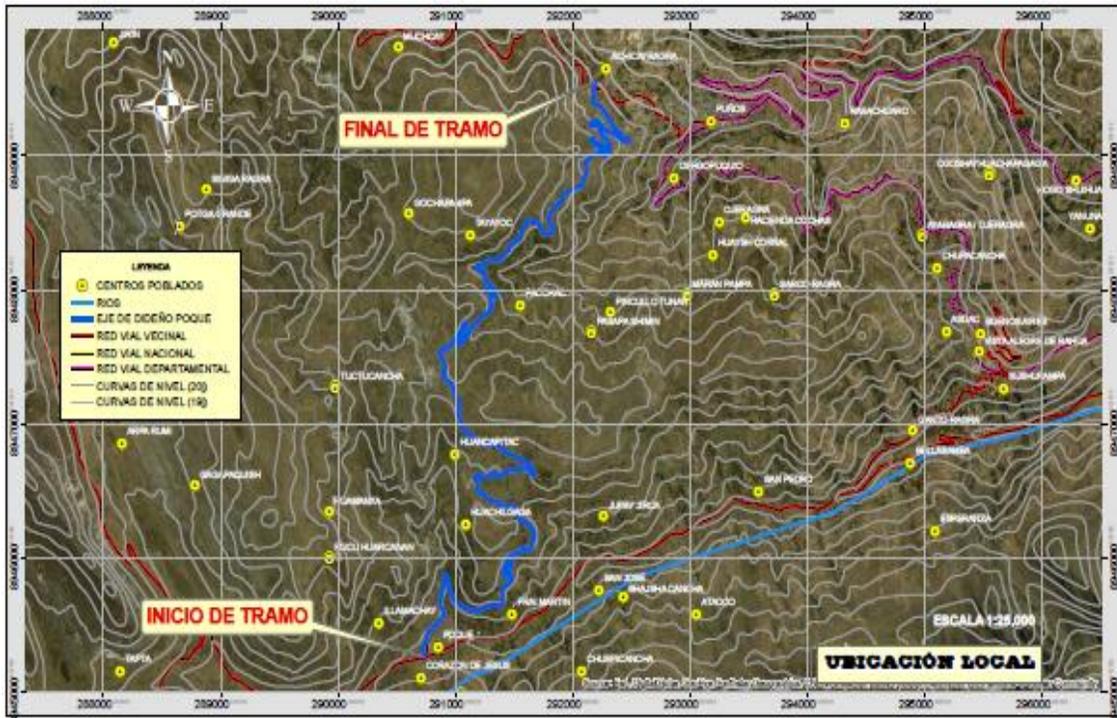


Figura N° 14: Área de estudio carretera Poque – Puños

Fuente: Tesista

## CAPÍTULO II

### MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Nivel y tipo de investigación:

De acuerdo a la **Orientación es Aplicada**, ya que se va utilizar teorías existentes para el desarrollo de la evaluación de peligros, vulnerabilidad y riesgo de desastre. El manual de evaluación de riesgo CENEPRED que no ayudara a calificar el peligro en muy alto, alto, medio y bajo de acuerdo a su severidad, el manual de Suelos y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para poder determinar las medidas de prevención y reducción a través de obras de ingeniería.

De acuerdo al **Enfoque es mixto**, porque la toma de datos es de forma cualitativa con el uso de formatos de los ensayos y cálculos de la misma, cuyo resultado nos dará en forma cuantitativa. De ahí el peligro natural es de manera cualitativa, y el análisis de la transitabilidad para mejorar la condición de la carretera de bajo volumen de tránsito, cuantitativa.

Es una **investigación descriptiva**, Porque describe la realidad de los peligros naturales y la necesidad de mejorar la transitabilidad de la carretera producto de los riesgos de desastres naturales y poder llevar desarrollo del distrito de Puños.

#### 2.2 Diseño de la investigación:

El diseño de esta investigación **No Experimental**, Porque se realiza sin manipular deliberadamente las variables, lo que se hace es observar, medir y analizar los tipos de peligros que va estar expuesto la carretera, para luego calcular el riesgo y la reducción del desastre.

De acuerdo con la direccionalidad es **Prospectiva**, Porque se mide y/o analiza en el presente las causas de los peligros, y efecto en el futuro para poder decidir el tipo de

reducción de riesgo, y poder prevenir un futuro desastre gracias a la gestión de riesgo de desastre de la CENEPRED.

De acuerdo con la evolución del fenómeno estudiado es **Transversal**, Porque se recolectan y/o miden los datos una sola vez de la variable, y de inmediatamente procede a su descripción o análisis de las fallas y su nivel de riesgo que pueda abarcar.

### **2.3 Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos:**

- **Fuentes Primarias:** datos de estaciones Meteorológicos e Hidrometeorológicos, estudio de tráfico, estudio de suelos y estudios geológicos.
- **Fuentes Secundarias:** libros, revistas, manuales, normas, material electrónico.
- **Las técnicas e instrumentos** a emplear serán:
  - Revisión bibliográfica.
  - Encuestas a los pobladores acerca del comportamiento históricos de los cuatro caños naturales, en estudio.
  - Recolección de datos del INGEMMET, SIGRID.

### **2.4 Procesamiento y presentación de datos:**

Los datos obtenidos se procesarán de las siguientes maneras:

- Procesamiento de datos con herramientas digitales como el Word, Excel.

Para el procesamiento y resultados de los ensayos, se utilizara el Excel, con gráficos y el programa ARC GIS para mostrar en la tabla de peligros, vulnerabilidad y riesgo.

## CAPÍTULO III

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 2.1. Aspectos Generales

##### 2.1.1 Ubicación Geográfica:

El área de estudio se encuentra ubicada en departamento de Huánuco, en la provincia de Huamalés, distrito de Puños. Desde el punto de vista geográfico se ubica entre las coordenadas  $9^{\circ}32'11.38''$  de Latitud Sur, y entre los meridianos  $76^{\circ}54'23.18''$  de Longitud Oeste, como punto de inicio y  $9^{\circ}29'51.26''$  de Latitud Sur, y entre los meridianos  $76^{\circ}53'35.00''$  de Longitud como punto final y en una altitud de 3733 msnm

El distrito tiene los siguientes límites:

- Por el Norte: Distrito de Punchao y Miraflores
- Por el Sur: Distritos de Llata
- Por el Este: Distrito de Jacas Grande
- Por el Oeste: Provincia de Huari (departamento de Ancash)



Ilustración N° 2: inicio y fin de la carretera

Inicio de tramo en el C.P. Poque

Fin de tramo carretera Puños- Ponton

## **MAPA N° 1: UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN**

### **2.1.2 Clima:**

Por su altitud, el clima es templado-seco-frío. En los meses de noviembre a abril la estación es de invierno boreal que es temporadas de avenidas o lluvias y en los meses restantes (de mayo a setiembre) la estación seca (sequía) o verano, lo cual es mejor tiempo para ir a visitar el poblado.

Durante el invierno las lluvias son frecuentes y torrenciales y ocasionalmente ocurren granizadas y en los meses de veranos la insolación es fuerte y la amplitud térmica elevada con elevadas temperaturas durante el día, los cuales descienden muy por debajo del promedio durante la noche, así como también entre las áreas iluminadas y la sombra, debido a la escasa humedad atmosférica.

### **2.1.3 Acceso Vial:**

El área del estudio se conecta con la capital de la República a través de la carretera central asfaltada hasta llegar a la ciudad de Huánuco (480 Km), con un tiempo de viaje de 8 horas 30 minutos en auto. En la ruta existe un paso de altura, el abra Anticona (Ticlio) (4818 msnm) entre Matucana y La Oroya.

El recorrido también se puede hacer directamente, el transporte se realiza en ómnibus, estos ómnibus parten y retornan de Lima a Huánuco diariamente en las mañanas, tardes y noches. Las empresas que circulan por esta ruta son: León de Huánuco, GyM Internacional, Turismo Real, Bahía Continental, Turismo Central, entre otras.

Esta ruta de Lima a Huánuco también se puede hacer directamente por vía aérea (45 minutos). La aerolínea que realiza esta ruta es: Star Perú, ATSA.

Tabla N° 4: Resumen de la accesibilidad a la carretera en estudio

Descripción	Vía	Estado	Distancia	Tiempo/Vehículo
Huánuco – Tingo Chico	Asfaltada	Deteriorado	108 Km	02 Horas 50min / Automovil
Tingo Chico - Llata	Afirmada	Regular	60 Km	1 Hora 20 min / Automovil
Llata – C.P. Poque	Afirmada	Regular	25 Km	40 minutos / Automovil

Fuente: Tesista

El Camino Vecinal Poque - Puños, está ubicada en el Departamento de Huánuco, Provincia de Huamalies y abarca el distrito de Puños.

Tabla N° 5: Coordenadas de inicio y fin de la carretera

Descripción	Norte	Este	Cota
C.P. Poque: Km 0+000	8945253.524	290736.2713	3881.56
Puños: Km 10+011	8949568.905	292184.2458	3834.21

Fuente: Tesista

#### 2.1.4 Condición de la Vía:

La vía de comunicación de los principales poblados del distrito de Puños, se encuentra cada vez más en riesgo de perder su capacidad de servicio debido a la insuficiente intervención de manera que requiere un mejoramiento y/o rehabilitación que permita satisfacer adecuadamente la demanda de los usuarios.

Actualmente en la vía existente, los vehículos transitan con dificultad y a baja velocidad, debido a que su superficie de rodadura presenta hundimientos, ondulaciones y encalaminados, situación que se agrava en épocas de precipitaciones pluviales.



Ilustración N° 3: Condición Actual de la Vía a Mejorar (Baches).

Fuente: Tesista

En las fotografías anteriores se observa que se tiene una superficie de rodadura en desgaste y deterioro. En este tramo también se ve la presencia de hundimientos y baches en varias partes.



Ilustración N° 4: Deslizamiento de Material a la Vía a Mejorar.

Fuente: Tesista

Se presencia deslizamiento de material por inestabilidad de talud, material suelto, filtración de agua subterránea, para ello se está realizando un análisis en conjunto de toda la carretera para evaluar su riesgo por movimiento de masa.



Ilustración N° 5: Superficie de Rodadura en Desgaste y Deterioro.

Fuente: Tesista

En la fotografía anterior se observa una superficie desgastada y deteriorada completamente, con gravas y arenas aisladas. En este tramo también se ve la presencia de hundimientos.

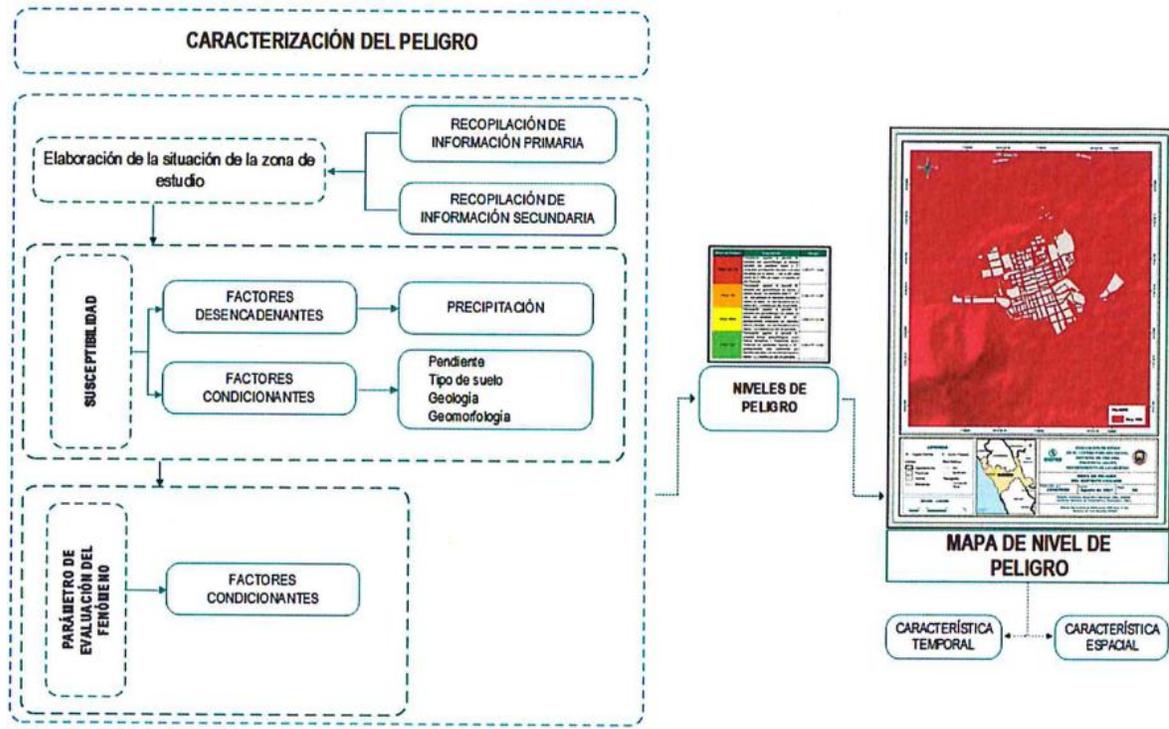
### **2.1.5 Recursos Agrícolas:**

Entre los recursos naturales se cuentan con una diversidad de productos agrícolas, la zona es productora de papa, maíz, cebada, trigo en la parte de Poque - Puños, existe en la zona animales menores como porcinos, gallinas, ganadería en menor proporción como ganado, ovino, vacuno, burros, etc.

## 2.2. Peligrosidad por Movimiento de Masa:

Para determinar el nivel de peligrosidad por flujos de detritos, se utilizó la metodología descrita en el Gráfico N° 6.

Gráfico N° 6: Determinación de niveles de peligro



Fuente: CENEPRED

**MAPA N° 2: ELEMENTOS EXPUESTOS**

## **2.2.1 Parámetro de Evaluación – Fenómeno El Niño:**

### **2.2.1.1. Comportamiento de la Temperatura Superficial del Mar y Nivel Medio del Mar en el litoral costero:**

En el mes de diciembre las estaciones costeras entre Talara y Lobos de Afuera presentaban, en promedio, anomalías negativas de TSM de  $-0,8^{\circ}\text{C}$ , mientras que el litoral central-sur presentó condiciones alrededor de lo normal; no obstante, por fuera de las 50 millas de la costa se continuó observando anomalías positivas de la TSM alrededor de  $+1^{\circ}\text{C}$  en promedio. En enero 2017, en promedio, las estaciones costeras presentaron valores por encima de lo normal en la costa norte, manifestándose un rápido incremento de los valores de TSM en la región norte y central desde la segunda semana, con valores de ATSM oscilando entre  $+2^{\circ}\text{C}$  y  $+6^{\circ}\text{C}$ . Así también, frente a la costa norte (central – sur), los valores de TSM alcanzaron valores de  $27^{\circ}\text{C}$  ( $26^{\circ}\text{C}$ , exceptuando Callao y Pisco con valores menores) por fuera de las 50 millas de la costa. A mediados de enero se incrementó las anomalías diarias de nivel medio del mar (NMM) frente a la costa, especialmente en el norte. Los valores máximos registrados ocurrieron a inicios del mes de febrero, alcanzando  $+19$  cm frente a Paita. En febrero, las ATSM diarias se incrementaron entre  $+4^{\circ}\text{C}$  y  $+5^{\circ}\text{C}$  entre Chimbote y Talara, asimismo, se resaltó el incremento rápido de hasta  $+2^{\circ}\text{C}$  en las costa de Lambayeque y La Libertad durante los últimos días del mes, debido a la proyección de aguas cálidas a la costa. Cabe mencionar que en la tercera semana del mes, a excepción de la estación Ilo (con  $+0.9^{\circ}\text{C}$ ), frente a la costa central y sur los valores de ATSM disminuyeron ( $+3^{\circ}\text{C}$  en Callao) y se mantuvieron negativos ( $-2^{\circ}\text{C}$  en San Juan y Mollendo), respectivamente. El calentamiento de las aguas oceánicas frente al litoral norte y centro peruano alcanzaron valores diarios altos durante marzo, cuando las ATSM alcanzaron hasta  $+10^{\circ}\text{C}$  entre las estaciones Chicama y Salaverry, hacia mediados del mes (Figuras 5 y 6). Seguidamente, entre Talara y Lambayeque, las ATSM fluctuaron entre  $+4^{\circ}\text{C}$  y  $+6^{\circ}\text{C}$ . Y, frente a la región central las ATSM fluctuaron alrededor de  $+3^{\circ}\text{C}$ ; las anomalías diarias de NMM exhibieron un

nuevo incremento a fines de mes (Figuras 7). Durante abril, en el litoral norte y centro, la TSM continuó disminuyendo, llegando a alcanzar ATSM alrededor de  $+1^{\circ}\text{C}$ . Cabe señalar que durante la primer quincena y frente al litoral norte (entre Tumbes y San Juan), el promedio varió entre  $+1^{\circ}\text{C}$  y  $+3^{\circ}\text{C}$ , resaltando valores absolutos de la TSM mayores a  $28^{\circ}\text{C}$  frente a las costas de Tumbes en los últimos días, lo cual moduló las lluvias aisladas de moderada intensidad en esta región particular. Por otro lado, a lo largo de la costa peruana las anomalías positivas del nivel medio del mar (NMM) continuaron disminuyendo con respecto a la primera quincena de abril hasta presentar valores normales a finales del mes.

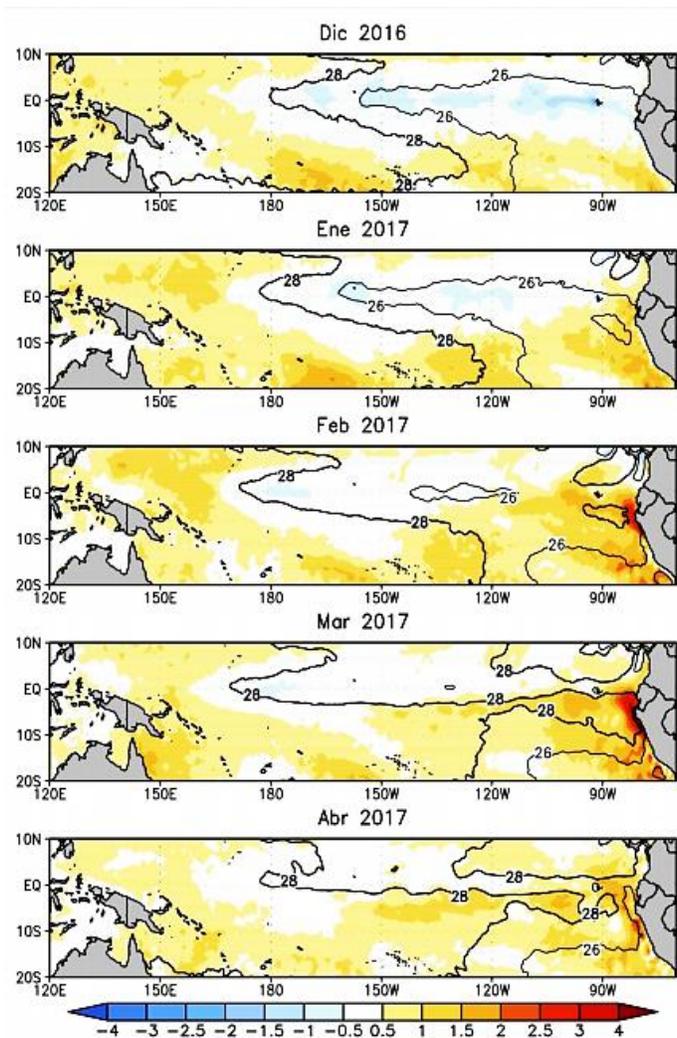


Figura N° 15: Anomalía de temperatura superficial del mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) en el pacifico ecuatorial

Fuente: OSTIA, climatología OI SST (1981-2010).

### **2.2.1.2. Lluvias intensas**

En el contexto de El Niño Costero 2017 se registraron lluvias frecuentes e intensas en la vertiente occidental de los Andes, principalmente en el sector norte y central, y concentradas principalmente entre febrero y marzo. Ciudades como Piura, Chiclayo, Trujillo y Huarmey soportaron lluvias intensas que superaron records históricos observados solamente en eventos El Niño extraordinarios. Durante el periodo crítico de lluvias intensas, se presentaron lluvias entre “fuerte” a “extremadamente fuertes” (SENAMHI, 2015), principalmente en las zonas bajas y medias de Tumbes, Piura y Lambayeque por efecto de las altas temperaturas del mar y condiciones atmosféricas favorables. Durante la primera decadiaria de febrero, la banda secundaria de la ZCIT se presentó bien desarrollada frente a la costa norte, condición que persistió durante el mes llegando a registrarse en la estación meteorológica Morropón (Piura) para el día 22 de febrero la precipitación más alta del registro histórico de febrero (150 mm/24hrs). El acoplamiento océano – atmósfera evidenciada por las altas temperaturas del mar y condiciones atmosféricas favorables, se fortaleció durante el mes de marzo con la sucesión de lluvias “extremadamente fuertes” en las zonas bajas y medias de Piura y Lambayeque, así como lluvias “muy fuertes” en las mismas cotas de Tumbes, La libertad y Ancash. Durante la primera quincena, sobresalen algunos récords de precipitaciones extremas encontrados el día 03 en la estación Partidor (Tambo Grande, Piura) con 258,5 mm/24hrs y el día 04 en la estación Jayanca (Lambayeque) reportó el segundo valor más alto de toda su serie histórica con 113 mm/24hrs. No obstante la intensidad de las lluvias, la precipitación acumulada entre enero y marzo en las zonas bajas de Piura y Lambayeque fueron menores a lo observado en el mismo periodo durante El Niño 1997/1998, similar a lo acumulado durante El Niño 1982/1983 al mes de marzo y posiblemente superior a lo estimado para El Niño de 1925 (Takahashi y Martínez, 2017). Finalmente, en el contexto de la declinación progresiva de El Niño Costero durante el mes de abril (disminución de las anomalías positivas de la TSM

frente a las costas norte y el debilitamiento de la banda secundaria de la ZCIT), se presentaron algunas lluvias de moderada intensidad en las regiones medias y altas de Tumbes principalmente.

Para el presente trabajo se ha considerado como único parámetro de evaluación la Frecuencia de los eventos extremos para la obtención de los pesos ponderados de este parámetro de evaluación, se utilizó el proceso de análisis jerárquico, los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla N° 6: Matriz de comparación de pares del parámetro frecuencia – Fenómeno El Niño

<b>FRECUENCIA</b>	<b>Superior a 5 eventos al año en promedio y/o por lo menos 1 vez al año cada evento de El Niño</b>	<b>De 4 eventos de El Niño por año en promedio</b>	<b>De 3 eventos de El Niño por año en promedio</b>	<b>De 2 eventos de El Niño por año en promedio</b>	<b>De 1 eventos de El Niño por año en promedio o ausencia</b>
<b>superior a 5 eventos al año en promedio y/o por lo menos 1 vez al año cada evento de El Niño</b>	1.00	2.00	3.00	8.00	9.00
<b>De 4 eventos de El Niño por año en promedio</b>	0.50	1.00	2.00	3.00	8.00
<b>De 3 eventos de El Niño por año en promedio</b>	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00
<b>De 2 eventos de El Niño por año en promedio</b>	0.13	0.33	0.50	1.00	2.00
<b>De 1 eventos de El Niño por año en promedio o ausencia</b>	0.11	0.13	0.33	0.50	1.00

Fuente: Tesista

Tabla N° 7: Matriz de normalización de pares del parámetro frecuencia – Fenómeno El Niño

<b>FRECUENCIA</b>	<b>superior a 5 eventos al año en promedio y/o por lo menos 1 vez al año cada evento de El Niño</b>	<b>De 4 eventos de El Niño por año en promedio</b>	<b>De 3 eventos de El Niño por año en promedio</b>	<b>De 2 eventos de El Niño por año en promedio</b>	<b>De 1 evento de El Niño por año en promedio o ausencia</b>	<b>Vector Priorización</b>
<b>superior a 5 eventos al año en promedio y/o por lo menos 1 vez al año cada evento de El Niño</b>	0.483	0.505	0.439	0.552	0.391	0.474
<b>De 4 eventos de El Niño por año en promedio</b>	0.242	0.253	0.293	0.207	0.348	0.268
<b>De 3 eventos de El Niño por año en promedio</b>	0.161	0.126	0.146	0.138	0.130	0.140
<b>De 2 eventos de El Niño por año en promedio</b>	0.060	0.084	0.073	0.069	0.087	0.075
<b>De 1 evento de El Niño por año en promedio o ausencia</b>	0.054	0.032	0.049	0.034	0.043	0.042

Fuente: Tesista

Índice (IC) y Relación de consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico para el parámetro frecuencia

INDICE DE CONSISTENCIA

RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (\*)

IC	0.013
RC	0.011

### 2.2.2 Factor Desencadenante - Precipitación:

La escorrentía existente y producida en el área del estudio proviene exclusivamente de las precipitaciones pluviales caídas de la zona.

Por su similitud con la zona existen dos Estaciones Meteorológicas y Pluviométricas que identifico, y sus características son las que se anotan en la tabla siguiente

Tabla N° 8: Estaciones Meteorológicas consultadas.

Estación	Ubicación		Provincia	Altitud msnm
	Latitud	Longitud		
JACAS CHICO	9°53'1"	76°30'1"	HUAMALIES	3673
JACAS GRANDE	9°32'35.88"	76°45'37.51"	HUAMALIES	3273

Fuente: SENAMHI

**a) Análisis de estaciones más representativa:**

Se cuenta dos estaciones Hidrometeorológicas, la que se encuentra más cercana al área del proyecto es de Jacas Grande, pero cuenta con tan solo 7 años de datos históricos de precipitación máxima en 24 horas, así que utilizamos la estación de Jacas Chico para completar los datos faltantes.

**b) Completación de Datos:**

Es necesario completar períodos faltantes, ya que la estación Jacas Grande cuenta con 7 años de datos históricos de precipitación máxima en 24 horas.

Se cuenta con 22 años de registros en la estación Jacas Chico desde el año 1995 hasta 2016

**c) Promedio o de la razón:**

Este método aritmético, se relaciona los promedios de cada estación y se relaciona con el dato faltante del año requerido y la estación de dato completo.

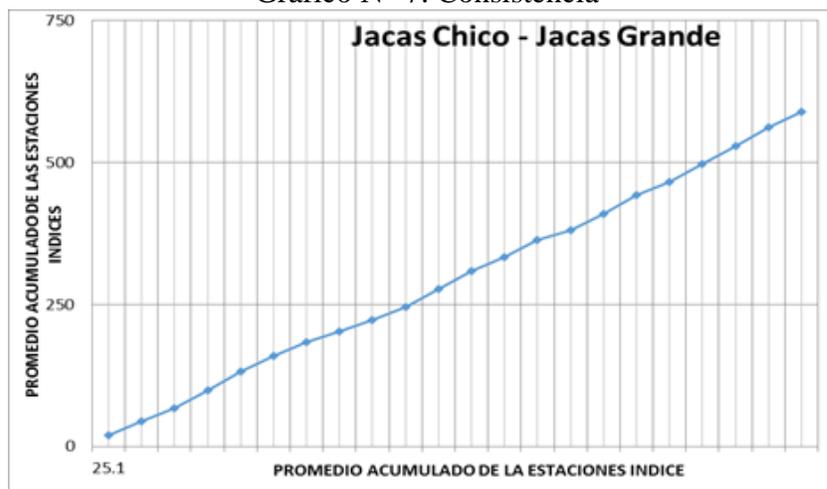
$$X/E1=(X \text{ promedio})/(E \text{ promedio}).$$

Tabla N° 9: Promedio acumulado de estaciones

ITEM	AÑO	ESTACION JACAS CHICO	ESTACION JACAS GRANDE	$\Sigma$ JACAS CHICO	$\Sigma$ JACAS GRANDE
1	1995	25.10	19.29	25.10	19.29
2	1996	33.00	25.37	58.10	44.66
3	1997	28.80	22.14	86.90	66.80
4	1998	41.50	31.90	128.40	98.70
5	1999	43.20	33.21	171.60	131.91
6	2000	36.40	27.98	208.00	159.89
7	2001	30.10	23.14	238.10	183.02
8	2002	24.20	18.60	262.30	201.63
9	2003	27.50	21.14	289.80	222.77
10	2004	29.80	22.91	319.60	245.67
11	2005	40.00	30.75	359.60	276.42
12	2006	42.70	32.82	402.30	309.24
13	2007	32.10	24.67	434.40	333.92
14	2008	39.00	29.98	473.40	363.90
15	2009	47.30	32.05	520.70	395.95
16	2010	36.90	30.00	557.60	425.95
17	2011	30.10	32.30	587.70	458.25
18	2012	40.80	23.10	628.50	481.35
19	2013	41.70	32.05	670.20	513.41
20	2014	38.30	31.10	708.50	544.51
21	2015	43.40	33.00	751.90	577.51
22	2016	37.20	27.40	789.10	604.91

Fuente: Tesista

Gráfico N° 7: Consistencia



Fuente: Tesista

La curva presenta quiebre acentuado, por lo que tenemos datos no consistentes de las respectivas estaciones.

### 2.2.2.1. Método de Completación por regresión simple:

Para este método es necesario saber si la calidad del ajuste es buena o mala, por esta razón se calcula el coeficiente de correlación (R) (aplicando el programa hidroesta)

En términos hidrológicos, se considera aceptable una regresión cuyo valor es mayor de 0.8 o menor que -0.8.

Usando el programa hidroesta – regresión lineal para los datos siguientes se tiene.

#### Resultados

#### Cálculos con ecuaciones de Regresión Simple

Pares de datos X,Y:

Par	X	Y
1	47.3	16.1
2	36.9	30.0
3	30.1	32.3
4	40.8	23.1
5	38.3	31.1
6	43.4	33.0
7	37.2	27.4

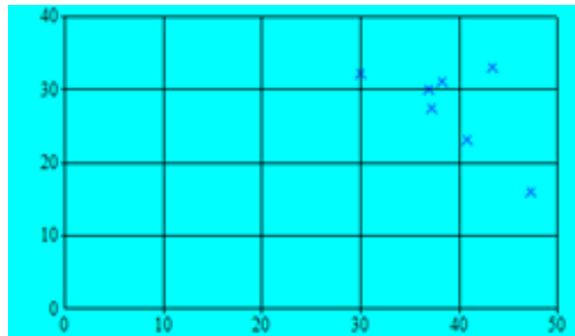


Tabla N° 10: Ecuación de ajuste

Tipo	Ecuación	R	R^2
Lineal	$Y = 55.7673158 - 0.7203329 * X$	-0.64657	0.41806
Exponencial	$Y = 92.1809156 * ( 0.9690048 ) ^ X$	-0.66952	0.44826
Potencial	$Y = 1767.8632718 * X ^ (-1.144215)$	-0.63897	0.40829

Fuente: Tesista

**a) Análisis de información Hidrometeorológicos:**

Se obtiene la información completa de datos históricos para la estación Jacas Grande. Se cuenta con 22 años de información histórica.

A continuación, se muestra la información obtenida de dicha estación consultada y su respectivo análisis de datos históricos. (Para datos completos de 7 años)

Tabla N° 11: Precipitación max. Mensual en 24 hrs. Estación Jacas Grande

ESTACIÓN :JACAS GRANDE  
 DEPARTAMENTO :HUANUCO LATITUD :9° 32' 35.88"  
 PROVINCIA :HUAMALIES LONGITUD :76° 45' 37.51"  
 DISTRITO : JACAS GRANDE ALTITUD :3273 msnm

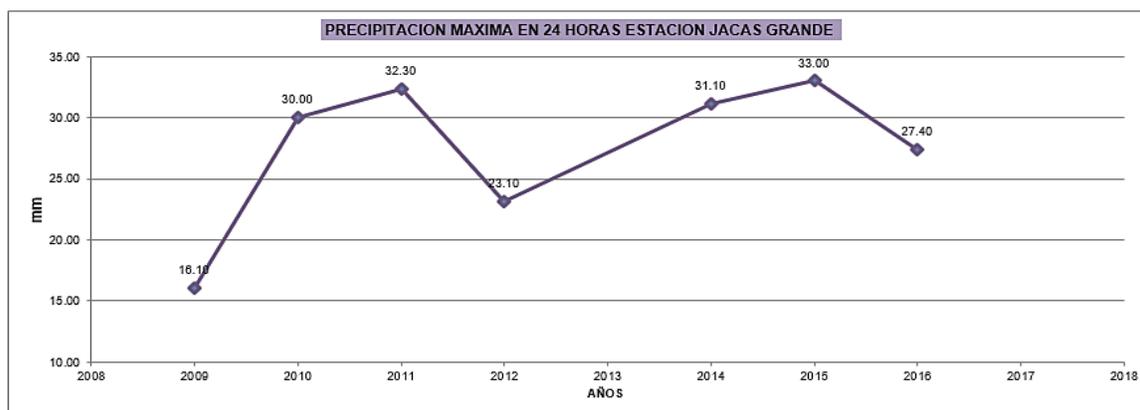
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	MAXIMO
2009	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	16.10	117.10	16.10
2010	S/D	30.00	20.10	19.90	13.60	5.80	S/D	S/D	12.00	7.90	9.60	19.20	101.50	30.00
2011	18.40	S/D	27.00	14.80	12.40	0.50	S/D	2.60	8.90	13.70	24.60	32.30	155.20	32.30
2012	S/D	S/D	23.10	S/D	S/D	S/D	S/D	1.60	S/D	S/D	S/D	S/D	24.70	23.10
2014	12.00	28.80	31.10	S/D	9.90	2.60	3.40	2.00	14.10	17.20	11.20	19.40	151.70	31.10
2015	12.00	14.10	23.00	12.20	33.00	5.20	6.60	2.40	S/D	12.70	23.20	20.90	165.30	33.00
2016	S/D	S/D	8.60	13.00	S/D	S/D	S/D	S/D	10.80	12.40	27.40	22.40	94.60	27.40
Promedio	14.13	24.30	22.15	14.98	17.23	3.53	5.00	2.15	11.45	12.78	19.20	21.72	115.73	
D. Estand.	3.70	8.85	7.66	3.46	10.63	2.45	2.26	0.44	2.18	3.33	8.19	5.59	48.73	
C. Variabi.	0.26	0.36	0.35	0.23	0.62	0.69	0.45	0.21	0.19	0.26	0.43	0.26	0.42	
Maximo	18.40	30.00	31.10	19.90	33.00	5.80	6.60	2.60	14.10	17.20	27.40	32.30	165.30	
Minimo	12.00	14.10	8.60	12.20	9.90	0.50	3.40	1.60	8.90	7.90	9.60	16.10	24.70	
Años Reg.	3.00	3.00	6.00	4.00	4.00	4.00	2.00	4.00	4.00	5.00	5.00	6.00	7.00	

Fuente: Tesista

### b) Precipitación máxima

Se muestra que la precipitación máxima en 24 horas mensual se produjo en el año 1994 correspondiendo 33.00 mm para la estación Jacas Grande.

Gráfico N° 8: Precipitación máxima en 24 horas estación Jacas Grande



Fuente: Tesista

### c) Persistencia de la Precipitación

Analizando la variación estacional de la precipitación de la estación de Huánuco que es una de la más cercana al área de estudio, se observa la existencia de dos periodos, uno húmedo o de mayor precipitación comprendida entre los meses de Octubre - Mayo, y otro seco de menor precipitación que comprende a los meses de Junio - Setiembre. La precipitación media mensual máxima ocurre en el mes de Mayo con 33.00 mm. y la mínima se produce en los meses de Julio y Agosto.

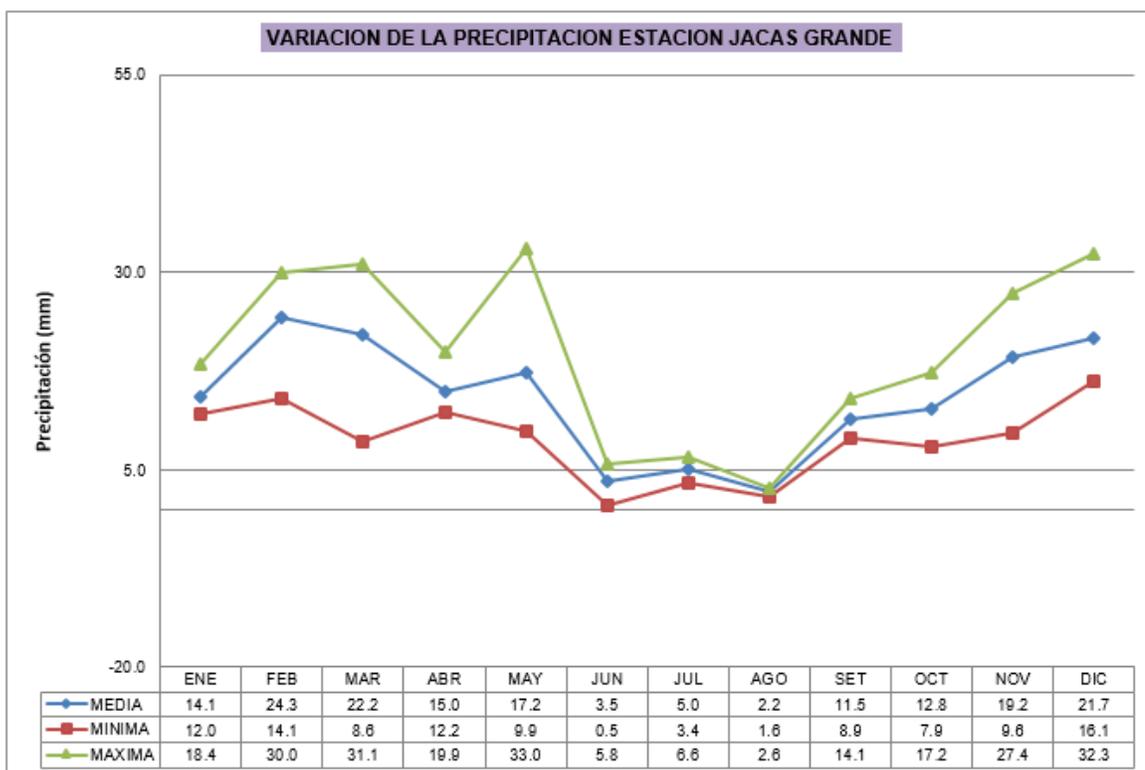
Tabla N° 12: Precipitación de estación Jacas Grande

MES	MEDIA	MINIMA	MAXIMA
ENE	14.1	12.0	18.4
FEB	24.3	14.1	30.0
MAR	22.2	8.6	31.1
ABR	15.0	12.2	19.9
MAY	17.2	9.9	33.0
JUN	3.5	0.5	5.8
JUL	5.0	3.4	6.6
AGO	2.2	1.6	2.6

MES	MEDIA	MINIMA	MAXIMA
SET	11.5	8.9	14.1
OCT	12.8	7.9	17.2
NOV	19.2	9.6	27.4
DIC	21.7	16.1	32.3

Fuente: Tesista

Gráfico N° 9: Variación de la precipitación estación Jacas Grande



Fuente: Tesista

### 2.2.2.2. Análisis Estadístico de datos hidrológicos:

Se han ajustado los datos a las funciones de probabilidad Gumbel, Log Normal, Gamma, etc. se muestran los ajustes a las distribuciones antes indicadas de las precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Jacas Grande y las distribuciones que cumplen con la prueba de Smirnov – Kolmogorov.

Tabla N° 13: Análisis estadístico de datos Hidrológicos – estación Jacas Grande

DATOS		Probabilidad de excedencia F(x)						Diferencia Delta D				
		Empírica	Normal	LN2	LGumb	Gumbel	Gamma 2	Normal	LN2	Lgumb	Gumbel	Gamma 2
1	18.60	0.0435	0.0340	0.0229	0.0007	0.0029	0.0236	0.00948	0.02058	0.04278	0.04058	0.01988
2	19.29	0.0870	0.0461	0.0356	0.0034	0.0077	0.0355	0.04086	0.05136	0.08356	0.07926	0.05146
3	21.14	0.1304	0.0961	0.0942	0.0481	0.0503	0.0895	0.03433	0.03623	0.08233	0.08013	0.04093
4	22.14	0.1739	0.1359	0.1426	0.1095	0.1005	0.1345	0.03801	0.03131	0.06441	0.07341	0.03941
5	22.91	0.2174	0.1734	0.1876	0.1737	0.1531	0.1770	0.04399	0.02979	0.04369	0.06429	0.04039
6	23.10	0.2609	0.1836	0.1997	0.1912	0.1678	0.1885	0.07727	0.06117	0.06967	0.09307	0.07237
7	23.14	0.3043	0.1858	0.2023	0.1950	0.1710	0.1909	0.11855	0.10205	0.10935	0.13335	0.11345
8	24.67	0.3478	0.2811	0.3114	0.3481	0.3070	0.2968	0.06673	0.03643	0.00027	0.04083	0.05103
9	25.37	0.3913	0.3314	0.3659	0.4183	0.3745	0.3510	0.05990	0.02540	0.02700	0.01680	0.04030
10	27.40	0.4348	0.4922	0.5270	0.5976	0.5623	0.5161	0.05742	0.09222	0.16282	0.12752	0.08132
11	27.98	0.4783	0.5396	0.5712	0.6401	0.6100	0.5626	0.06134	0.09294	0.16184	0.13174	0.08434
12	29.98	0.5217	0.6949	0.7080	0.7571	0.7468	0.7085	0.17316	0.18626	0.23536	0.22506	0.18676
13	30.00	0.5652	0.6963	0.7092	0.7581	0.7479	0.7098	0.13108	0.14398	0.19288	0.18268	0.14458
14	30.75	0.6087	0.7478	0.7526	0.7914	0.7878	0.7565	0.13910	0.14390	0.18270	0.17910	0.14780
15	31.10	0.6522	0.7702	0.7713	0.8053	0.8046	0.7766	0.11803	0.11913	0.15313	0.15243	0.12443
16	31.90	0.6957	0.8169	0.8101	0.8336	0.8385	0.8183	0.12125	0.11445	0.13795	0.14285	0.12265
17	32.05	0.7391	0.8250	0.8169	0.8384	0.8442	0.8255	0.08587	0.07777	0.09927	0.10507	0.08637
18	32.05	0.7826	0.8250	0.8169	0.8384	0.8442	0.8255	0.04239	0.03429	0.05579	0.06159	0.04289
19	32.30	0.8261	0.8379	0.8276	0.8461	0.8533	0.8370	0.01181	0.00151	0.02001	0.02721	0.01091
20	32.82	0.8696	0.8627	0.8485	0.8609	0.8708	0.8591	0.00687	0.02107	0.00867	0.00123	0.01047
21	33.00	0.9130	0.8706	0.8552	0.8656	0.8764	0.8662	0.04244	0.05784	0.04744	0.03664	0.04684
22	33.21	0.9565	0.8795	0.8628	0.8709	0.8827	0.8742	0.07702	0.09372	0.08562	0.07382	0.08232
Como el delta teórico, es menor que el delta tabular 0.2900 los datos se ajustan a todas las distribución analizadas en el tabla anterior, con un nivel de significación del 5%. Elegimos la Distribución Normal, porque es la distribución que mejor se ajusta cuyo delta teórico es de 0.17316 y es el menor de todas las demás distribuciones.								<b>0.17316</b>	<b>0.18626</b>	<b>0.23536</b>	<b>0.22506</b>	<b>0.18676</b>
								<b>Acepta da</b>	<b>Acepta da</b>	<b>Acepta da</b>	<b>Acepta da</b>	<b>Acepta da</b>
								<b>0.2900</b>				

Fuente: Tesista

### 2.2.2.3. Cálculo de Períodos de Retorno

Para adoptar el periodo de retorno a utilizar en el diseño de una obra, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, dependiendo este último de factores económicos, sociales, técnicos y otros.

El riesgo de falla admisible en función del periodo de retorno y vida útil de la obra está dado por:

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n$$

n: años de vida útil

R: Riesgo de falla admisible

T: Periodo de retorno de la estructura,

Según el Manual de Hidrología y drenaje del MTC, se tiene valores recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje.

- **Para Drenaje de plataforma (nivel Longitudinal) o Cuneta**

n= 15 años de vida útil.

R= 0.40

Reemplazando en la formula se tiene:  $R = 1 - (1 - 1/T)^n$

T= 29.867

Para cunetas se considera un periodo de retorno de 35 años, con el cual calcularemos su caudal máximo para estas estructuras respectivas.

- **Para Alcantarillas de quebradas menores, descarga de cunetas**

n= 15 años de vida útil.

R= 0.35

Reemplazando en la formula se tiene:  $R = 1 - (1 - 1/T)^n$

T= 35.323

Para Alcantarillas de paso de quebradas y Badenes consideramos un periodo de retorno de 36 años, con el cual calcularemos su caudal máximo para estas estructuras respectivas.

- **Para Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes**

n= 25 años de vida útil.

R= 0.30

Reemplazando en la formula se tiene:  $R = 1 - (1 - 1/T)^n$

T= 70.593

Para Alcantarillas de paso de quebradas y Badenes consideramos un periodo de retorno de 71 años, con el cual calcularemos su caudal máximo para estas estructuras respectivas.

Tabla N° 14: Resumen de Periodos de Retorno

DESCRIPCION	AÑO DE VIDA UTIL	RIESGO ADMISIBLE (%)	PERIODO DE RETORNO (T)
CUNETA	15	40	30
ALCANTARILLA MENORES	15	35	36
ALC. QUEBRADAS IMP. Y BADENES	25	30	71

Fuente: Tesista

En la siguiente tabla se presenta el resumen de las precipitaciones según el ajuste de los datos a distintas funciones de probabilidad para la estación JACAS GRANDE. Para diferentes periodos de retorno.

#### 2.2.2.4. Curvas de intensidad – Duración - frecuencia

##### Estimación de la precipitación máxima probable

La precipitación máxima probable es aquella magnitud de lluvia que ocurre sobre una cuenca particular, en la cual generará un gasto de avenida, para el que virtualmente no existe riesgo de ser excedido.

Los diversos procedimientos de estimación de la precipitación máxima probable no están normalizados, ya que varían principalmente con la cantidad y calidad de los datos disponibles; además, cambian con el tamaño de la cuenca, su emplazamiento y su topografía, con los tipos de temporales

que producen las precipitaciones extremas y con el clima. Los métodos de estimación de fácil y rápida aplicación son los empíricos y el estadístico.

Aunque existe un número importante de distribuciones de probabilidad empleadas en hidrología, son sólo unas cuantas las comúnmente utilizadas, debido a que los datos hidrológicos de diversos tipos han probado en repetidas ocasiones ajustarse satisfactoriamente a un cierto modelo teórico. Las lluvias máximas horarias o diarias por lo común se ajustan bien a la distribución de valores extremos. En la estación de Jacas Grande la que mejor se ajusta es la distribución Normal

### **Ecuación de Intensidad:**

Las relaciones o cocientes a la lluvia de 24 horas se emplean para duraciones de varias horas. Se basa en el procedimiento del Manual de hidrología y drenaje del MTC. Para este caso tomaremos la estación de Jacas Grande por tener más área de influencia en la zona de estudio.

Para diferentes periodos de retorno  $T = (N^{\circ}+1)/N^{\circ}\text{total}$ , ajustamos a la distribución Normal a las precipitaciones máximas en 24 hrs

Hallamos para el caso que no se cuenta con registros pluviográficos que permitan obtener las intensidades máximas, estas pueden ser calculadas mediante la metodología de Dick Peschke, que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. La expresión es la siguiente:

$$P_d = P_{24h} \left( \frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

Esta fórmula relaciona Precipitación total con la precipitación máxima en 24 horas y la duración en minutos, la cual tomaremos duraciones de 20 min, 30 min, 60 min, 120 min, 180 min y 240 min.

Pd = Precipitación total (mm)

P24h = Precipitación máxima en 24 hrs. (mm)

d = duración (min)

Tabla N° 15: Precipitaciones total Pd (mm)

N°	Año	Max Preci. 24 hrs	Periodo T = (N°+1)/N°total	Max. Precip. Ajustado	DURACION (MIN)					
					20	30	60	120	180	240
1	1995	19.29	23.00	35.84	12.30	13.62	16.19	19.26	21.31	22.90
2	1996	28.66	11.50	34.12	11.71	12.96	15.42	18.33	20.29	21.80
3	1997	25.02	7.67	32.98	11.32	12.53	14.90	17.72	19.61	21.07
4	1998	36.05	5.75	32.07	11.01	12.18	14.49	17.23	19.07	20.49
5	1999	37.52	4.60	31.30	10.75	11.89	14.14	16.82	18.61	20.00
6	2000	31.62	3.83	30.61	10.51	11.63	13.83	16.45	18.20	19.56
7	2001	26.15	3.29	29.99	10.30	11.39	13.55	16.11	17.83	19.16
8	2002	21.02	2.88	29.41	10.10	11.17	13.29	15.80	17.49	18.79
9	2003	23.89	2.56	28.85	9.90	10.96	13.03	15.50	17.15	18.43
10	2004	25.88	2.30	28.29	9.71	10.75	12.78	15.20	16.82	18.08
11	2005	34.74	2.09	27.76	9.53	10.55	12.54	14.92	16.51	17.74
12	2006	37.09	1.92	27.24	9.35	10.35	12.31	14.64	16.20	17.40
13	2007	27.88	1.77	26.70	9.17	10.14	12.06	14.35	15.88	17.06
14	2008	33.88	1.64	26.14	8.97	9.93	11.81	14.04	15.54	16.70
15	2009	36.22	1.53	25.57	8.78	9.71	11.55	13.74	15.20	16.34
16	2010	33.90	1.44	25.02	8.59	9.51	11.30	13.44	14.88	15.99
17	2011	36.50	1.35	24.35	8.36	9.25	11.00	13.08	14.48	15.56
18	2012	26.10	1.28	23.71	8.14	9.01	10.71	12.74	14.10	15.15
19	2013	36.22	1.21	22.91	7.86	8.70	10.35	12.31	13.62	14.64
20	2014	35.14	1.15	22.01	7.56	8.36	9.94	11.83	13.09	14.06
21	2015	37.29	1.10	20.99	7.21	7.97	9.48	11.28	12.48	13.41
22	2016	30.96	1.05	19.36	6.65	7.36	8.75	10.40	11.51	12.37

Fuente: Tesista

Basándose en los resultados de la tabla de precipitaciones máximas, y los tiempos de duración adoptados, calculamos la intensidad equivalente para cada caso, según el manual de Hidrología y Drenaje del MTC.

$$I = \frac{P[mm]}{t_{duración}[hr.]}$$

Tabla N° 16: Intensidades, Duración, Periodo (t)

N°	Periodo T	DURACION ( t min)					
		20	30	60	120	180	240
1	23.00	36.91	27.23	16.19	9.63	7.10	5.72
2	11.50	35.14	25.93	15.42	9.17	6.76	5.45
3	7.67	33.97	25.06	14.90	8.86	6.54	5.27
4	5.75	33.03	24.37	14.49	8.62	6.36	5.12
5	4.60	32.24	23.78	14.14	8.41	6.20	5.00
6	3.83	31.52	23.26	13.83	8.22	6.07	4.89
7	3.29	30.89	22.79	13.55	8.06	5.94	4.79
8	2.88	30.29	22.35	13.29	7.90	5.83	4.70
9	2.56	29.71	21.92	13.03	7.75	5.72	4.61
10	2.30	29.14	21.50	12.78	7.60	5.61	4.52
11	2.09	28.59	21.09	12.54	7.46	5.50	4.43
12	1.92	28.05	20.70	12.31	7.32	5.40	4.35
13	1.77	27.50	20.29	12.06	7.17	5.29	4.26
14	1.64	26.92	19.86	11.81	7.02	5.18	4.18
15	1.53	26.33	19.43	11.55	6.87	5.07	4.08
16	1.44	25.77	19.01	11.30	6.72	4.96	4.00
17	1.35	25.08	18.50	11.00	6.54	4.83	3.89
18	1.28	24.42	18.02	10.71	6.37	4.70	3.79
19	1.21	23.59	17.41	10.35	6.15	4.54	3.66
20	1.15	22.67	16.72	9.94	5.91	4.36	3.52
21	1.10	21.62	15.95	9.48	5.64	4.16	3.35
22	1.05	19.94	14.71	8.75	5.20	3.84	3.09

Fuente: Tesista

Las curvas de intensidad – duración – Periodo de retorno, que envuelve a la familia de curvas de la tabla N°16, esta denotada por la ecuación general

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$$

Donde:

I = Intensidad (mm/hr)

t = Duración de la lluvia (min)

T = Período de retorno (años)

k,m,n = Parámetros de ajuste

Hallamos los parámetros k,m,n para construir la relación de intensidad – duración – frecuencia aplicando los logaritmos en la ecuación de intensidad, se pretende llegar a la forma de un modelo de regresión lineal.

La ecuación que denota la familia de curvas para cada Periodo de retorno, intensidad y duraciones de la tabla N°17 es:

$$I = \frac{224.0492 * T^{0.1788}}{0.7500 t}$$

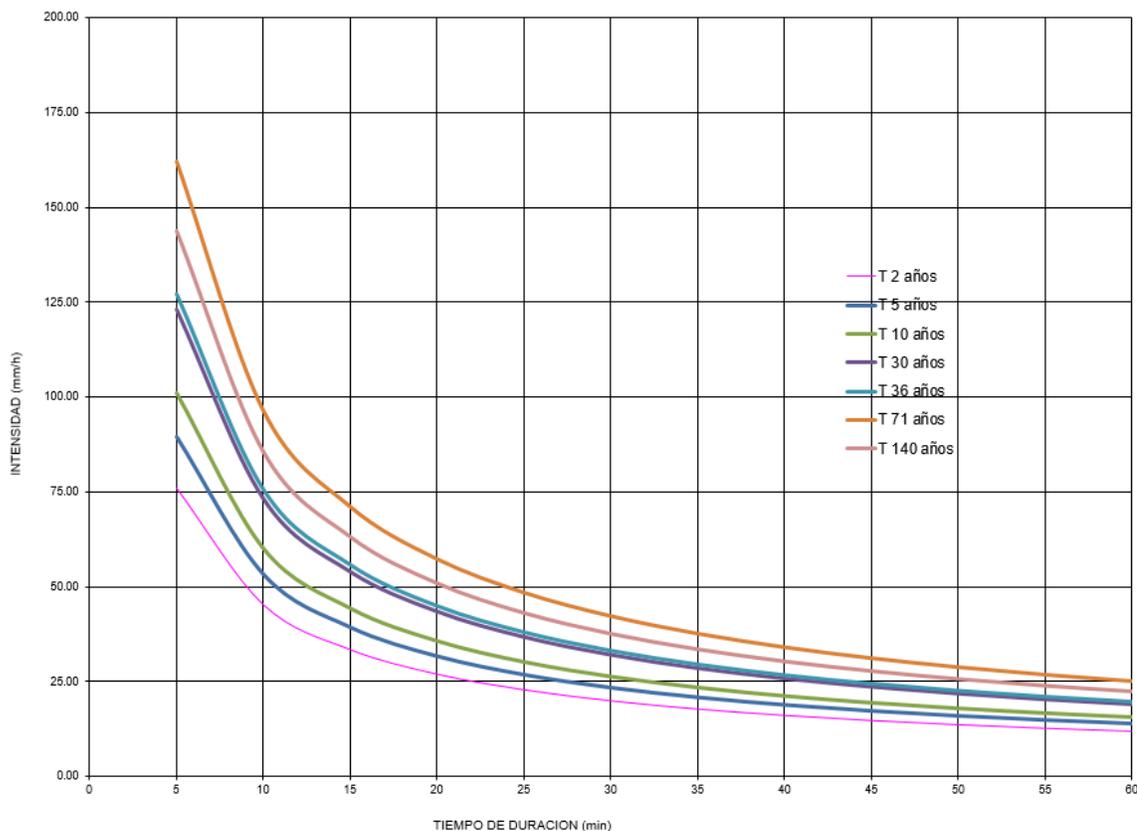
Reemplazando en los periodos de retorno para diferentes duraciones, tenemos la curva IDF

Tabla N° 17: Intensidad - Tiempo de duración - Período de retorno

Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	75.85	45.10	33.27	26.82	22.68	19.78	17.62	15.94	14.60	13.49	12.56	11.76
5	89.35	53.13	39.20	31.59	26.72	23.31	20.76	18.78	17.20	15.89	14.79	13.86
10	101.14	60.14	44.37	35.76	30.25	26.38	23.50	21.26	19.46	17.99	16.74	15.69
30	123.09	73.19	54.00	43.52	36.81	32.11	28.60	25.88	23.69	21.89	20.38	19.09
36	127.17	75.62	55.79	44.96	38.03	33.17	29.55	26.73	24.47	22.61	21.05	19.72
71	143.59	85.38	62.99	50.77	42.94	37.45	33.37	30.19	27.63	25.53	23.77	22.27
140	162.12	96.40	71.12	57.32	48.49	42.29	37.67	34.08	31.20	28.83	26.84	25.15

Fuente: Tesista

Gráfico N° 10: Curva intensidad – duración – frecuencia



Fuente: Tesista

Para la obtención de los pesos ponderados del parámetro del factor desencadenante, se utilizó el proceso de análisis jerárquico. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla N° 18: Matriz de comparación de pares del parámetro precipitación

<b>PRECIPITACIÓN</b>	<b>Mayor a P99</b>	<b>P95 - P99</b>	<b>P90 - P95</b>	<b>P75 - P90</b>	<b>Menor a P75</b>
<b>Mayor a P99</b>	1.00	2.00	4.00	6.00	7.00
<b>P95 - P99</b>	0.50	1.00	2.00	4.00	6.00
<b>P90 - P95</b>	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00
<b>P75 - P90</b>	0.17	0.25	0.50	1.00	2.00
<b>Menor a P75</b>	0.14	0.17	0.25	0.50	1.00

Fuente: Tesista

Tabla N° 19: Matriz de normalización de pares del parámetro precipitación

<b>PRECIPITACIÓN</b>	<b>Mayor a P99</b>	<b>P95 - P99</b>	<b>P90 - P95</b>	<b>P75 - P90</b>	<b>Menor a P75</b>	<b>Vector Priorización</b>
<b>Mayor a P99</b>	0.486	0.511	0.516	0.444	0.350	0.461
<b>P95 - P99</b>	0.243	0.255	0.258	0.296	0.300	0.270
<b>P90 - P95</b>	0.121	0.128	0.129	0.148	0.200	0.145
<b>P75 - P90</b>	0.081	0.064	0.065	0.074	0.100	0.077
<b>Menor a P75</b>	0.069	0.043	0.032	0.037	0.050	0.046

Fuente: Tesista

Índice (IC) y Relación de consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico para el parámetro precipitación.

INDICE DE CONSISTENCIA

RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (\*)

IC	0.016
RC	0.015

**MAPA N° 3: HIDROGEOLOGÍA**

### 2.2.3 Factores Condicionantes:

Para la obtención de los pesos ponderados de los parámetros de los factores condicionantes, se utilizó el proceso de análisis jerárquico. Los resultados obtenidos son los siguientes

Tabla N° 20: Matriz de comparación de pares de los factores condicionantes

<b>PARÁMETRO</b>	<b>Pendiente</b>	<b>Geomorfología</b>	<b>Geología</b>
<b>Pendiente</b>	1.00	3.00	6.00
<b>Geomorfología</b>	0.33	1.00	3.00
<b>Geología</b>	0.17	0.33	1.00

Fuente: Tesista

Tabla N° 21: Matriz de normalización de pares de los factores condicionantes

<b>PARÁMETRO</b>	<b>Pendiente</b>	<b>Geomorfología</b>	<b>Geología</b>	<b>Vector Priorización</b>
Pendiente	0.667	0.692	0.600	0.653
Geomorfología	0.222	0.231	0.300	0.251
Geología	0.111	0.077	0.100	0.096

Fuente: Tesista

Índice (IC) y Relación de consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico para los factores condicionantes

ÍNDICE DE CONSISTENCIA

RELACIÓN DE CONSISTENCIA < 0.04 (\*)

IC	0.009
RC	0.017

#### 2.2.3.1. Pendiente:

Este parámetro indica los grados de inclinación del terreno frente a un plano horizontal. Los diferentes grados de pendiente condicionan los procesos geomorfológicos y los movimientos en masa, se adoptaron los siguientes rangos:

- Pendiente muy escarpada de 60° a más, indican escarpes muy fuertes en las laderas y tienen una influencia muy alta para la susceptibilidad a los movimientos en masa.

- Pendiente abrupta entre 45° y 60°, tienen influencia alta en la susceptibilidad a los movimientos en masa, representando en el terreno laderas escarpadas de las montañas y colinas.
- Pendiente Fuerte entre 30° y 45°, tienen influencia media en la susceptibilidad a los movimientos en masa. Se representan en el terreno en laderas y piedemonte cercanas al cauce de las quebradas.
- Pendiente fuerte entre 15° y 30°, representan una influencia baja en la susceptibilidad a los movimientos en masa, se representa en el fondo de valle y los taludes detríticos.
- Terreno llano o pendiente suave menores a 15°, áreas de muy baja influencia en la susceptibilidad a los movimientos en masa tipo caídas y derrumbes; sin embargo es el área donde se explayan los sedimentos arrastrados, representa los conos de deyección de los cursos esporádicos y frecuentes.

Tabla N° 22: Matriz de comparación de pares del parámetro pendiente

<b>PENDIENTE</b>	<b>Pendiente muy escarpada (&gt;60°)</b>	<b>Pendiente abrupta (60°-45°)</b>	<b>Pendiente fuerte (45°-30)</b>	<b>Pendiente moderada (30°-15°)</b>	<b>Terrenos llanos y/o inclinados con pendientes suave (&lt;15°)</b>
<b>Pendiente muy escarpada (&gt;60°)</b>	1.00	2.00	3.00	6.00	9.00
<b>Pendiente abrupta (60°-45°)</b>	0.50	1.00	2.00	3.00	6.00
<b>Pendiente fuerte (45°-30)</b>	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00
<b>Pendiente moderada (30°-15°)</b>	0.17	0.33	0.50	1.00	2.00
<b>Terrenos llanos y/o inclinados con pendientes suave (&lt;15°)</b>	0.11	0.17	0.33	0.50	1.00

Fuente: Tesista

Tabla N° 23: Matriz de normalización de pares del parámetro pendiente

<b>PENDIENTE</b>	<b>Pendiente muy escarpada (&gt;60°)</b>	<b>Pendiente abrupta (60°-45°)</b>	<b>Pendiente fuerte (45°-30)</b>	<b>Pendiente moderada (30°-15°)</b>	<b>Terrenos llanos y/o inclinados con pendientes suave (&lt;15°)</b>	<b>Vector priorización</b>
<b>Pendiente muy escarpada (&gt;60°)</b>	0.47	0.50	0.44	0.48	0.43	0.464
<b>Pendiente abrupta (60°-45°)</b>	0.24	0.25	0.29	0.24	0.29	0.261
<b>Pendiente fuerte (45°-30)</b>	0.16	0.13	0.15	0.16	0.14	0.146
<b>Pendiente moderada (30°-15°)</b>	0.08	0.08	0.07	0.08	0.10	0.082
<b>Terrenos llanos y/o inclinados con pendientes suave (&lt;15°)</b>	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.046

Fuente: Tesista

Índice (IC) y Relación de consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico para el parámetro pendiente

INDICE DE CONSISTENCIA

RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (\*)

IC	0.004
RC	0.004

**MAPA N° 4: PENDIENTES**

### 2.2.3.2. Parámetro Geomorfológico:

La Geomorfología local está identificada por geoformas características de los valles interandinos, son los relieves que se encuentran entre próximo cordilleras occidentales. Presenta dos partes bien diferenciados: vertiente y planicie. La planicie alto-andinas los cuales cubren la mayor parte de la carretera.

#### ➤ **Altiplanicie moderadamente empinada:**

Situada dentro de las progresivas 02+685 al 04+ 720 que equivale al 20.1% de la superficie total estudiada, comprende altitudes que van desde 4,015 hasta los 4110 m.s.n.m. aproximadamente.

Corresponde a zonas cuya superficie presentan ondulaciones más o menos pronunciadas. Litológicamente está constituida por rocas sedimentarias, volcánicas y por depósitos fluvioglaciares, correspondientes principalmente a las formaciones geológicas.

Tabla N° 24: Ubicación de la zona altiplanicie moderada empinada

<b>SECTOR / NOMBRE</b>	<b>PROGRESIVA (KM)</b>	<b>DISTANCIA (M)</b>	<b>LADO</b>
Cerro Huaclilgaga	2 + 685	A 120 mts	Izquierdo
Sagchacancha	04+720		Ambos lados

Fuente: Tesista

#### ➤ **Colina alta ligeramente empinada:**

Podemos apreciar estas pequeñas colinas desde la cota 00+000 hasta la progresiva 02+685 y de la progresiva 04+720 hasta la progresiva 10+011, gran parte de esta constituye a una pequeña quebrada la cual es de proporciones pequeñas. Corresponde altitudes que van desde 3,878 a los 4,015 m.s.n.m. aproximadamente

Corresponde a zonas que se distribuyen de manera dispersa, Litológicamente está constituida por rocas sedimentarias, correspondiente principalmente a las formaciones geológicas Chimú, Carhuaz, cretáceo inferior. También existe depósitos aluviales u proporciones pequeñas, como también fragmentación de sedimentos producto de alteración característica de la zona; La pendiente dominante fluctúa en el rango del 15 al 16%.

Tabla N° 25: Ubicación de la Colina alta ligeramente empinada

<b>SECTOR / NOMBRE</b>	<b>PROGRESIVA (Km)</b>	<b>DISTANCIA (m)</b>	<b>LADO</b>
Cerro Huaclilgaga	2+685	A 100 mts	Ambos lados
Sagchacancha	04+720	A 50 mts	Ambos lados
Pueblo Puños	10+011	A 400 mts	Derecho

Fuente: Tesista

➤ **Pequeñas quebradas:**

Constituida por un valle de corto recorrido de cauce seco, que conforma un área de suave relieve, con superficie plana y están compuesta por materiales del cuaternario, en la depresión de dichas pampas se encuentran clastos gruesos y finos, se especifican como zonas críticas.

Tabla N° 26: Ubicación de las pequeñas quebradas

<b>SECTOR / NOMBRE</b>	<b>PROGRESIVA (Km)</b>	<b>LADO</b>
Qda. Poque	0 +205	Ambos lados
Qda. Oshgopuquio	6+545	Ambos lados

Fuente: Tesista

➤ **Material de cobertura:**

Estos materiales están casi en todo el tramo del camino vecinal como formas de penillanuras sobre las cuales se realizan actividades agrícolas que tienen un espesor variable de 30 a 60 cm. Variando en algunos lugares con mayor espesor.

Tabla N° 27: Matriz de comparación de pares del parámetro geomorfológico

<b>GEOMORFOLÓGICO</b>	<b>Ladera moderadamente empinada (L-me)</b>	<b>Terraza aluvial (T-al)</b>	<b>Laderas empinadas y escarpadas (L-ee)</b>	<b>Quebradas y cárcavas (Qc)</b>	<b>Cauce fluvial encañonado (C-fe)</b>
<b>Ladera moderadamente empinada (L-me)</b>	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
<b>Terraza aluvial (T-al)</b>	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
<b>Laderas empinadas y escarpadas (L-ee)</b>	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
<b>Quebradas y cárcavas (Qc)</b>	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
<b>Cauce fluvial encañonado (C-fe)</b>	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00

Fuente: Tesista

Tabla N° 28: Matriz de normalización de pares del parámetro geomorfológico

<b>GEOMORFOLÓGICO</b>	<b>Ladera moderadamente empinada (L-me)</b>	<b>Terraza aluvial (T-al)</b>	<b>Laderas empinadas y escarpadas (L-ee)</b>	<b>Quebradas y cárcavas (Qc)</b>	<b>Cauce fluvial encañonado (C-fe)</b>	<b>Vector Priorización</b>
<b>Ladera moderadamente empinada (L-me)</b>	0.56	0.64	0.52	0.43	0.36	0.503
<b>Terraza aluvial (T-al)</b>	0.19	0.21	0.31	0.31	0.28	0.260
<b>Laderas empinadas y escarpadas (L-ee)</b>	0.11	0.07	0.10	0.18	0.20	0.134
<b>Quebradas y cárcavas (Qc)</b>	0.08	0.04	0.03	0.06	0.12	0.068
<b>Cauce fluvial encañonado (C-fe)</b>	0.06	0.03	0.02	0.02	0.04	0.035

Fuente: Tesista

Índice (IC) y Relación de consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico para el parámetro geomorfológico

INDICE DE CONSISTENCIA

RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (\*)

IC	0.061
RC	0.054

**MAPA N° 5: GEOMORFOLÓGICO**

### 2.2.3.3. Parámetro Geológico

#### ➤ Depósitos Aluviales (Q – al)

Son depósitos del cuaternario reciente transportados, conformados por conglomerado semiconsolidado dispuesto horizontalmente. Compuesto por, arenas, gravas; están distribuidos en el sector márgenes de la quebrada Poque, estos depósitos constituyen el área no agrícola.



Ilustración N° 6: Depósitos aluviales

Fuente: Tesista

Tabla N° 29: ubicación de los depósitos aluviales

<b>SECTOR / NOMBRE</b>	<b>PROGRESIVA (Km)</b>	<b>USO ACTUAL</b>	<b>LADO</b>
Pueblo Poque	Inicia en 00 + 000- 00+140	Terreno vivienda	Ambos lados
Cerro Huaclilgaga	Inicia en 01 + 075- 01+085	Terreno libre	Lado izquierdo
Cerro Huaclilgaga	Inicia en 01 + 120- 01+130	Terreno libre	Lado izquierdo

Fuente: Tesista

#### ➤ Depósitos Coluviales (Q – co)

Son acumulaciones constituidas por materiales de diverso tamaño pero de litología homogénea, englobados en una matriz arenosa; para mejor

comprensión los designaremos como depósitos sedimentarios y mencionaremos su composición, ya que estos son producto de distintas rocas iniciales son producto de alteración y gravedad que pueda existir en algunos casos.



Ilustración N° 7: Depósitos coluviales

Fuente: Tesista

Tabla N° 30: Ubicación de los depósitos coluviales

<b>SECTOR / NOMBRE</b>	<b>PROGRESIVA (Km)</b>	<b>USO ACTUAL</b>	<b>LADO</b>
Cerro Huaclilgaga	1+590	Sin uso	A 1.00 Km del Lado izquierdo
Sagshacancha		Sin uso	Ambos lados
Paochac		Sin uso	A 0 .500 Km del Lado izquierdo
Pueblo de Puños	10+011	Sin uso	A 1.00 Km de Puños a lado derecho.

Fuente: Tesista

➤ **Grupo Gollarisquisga (Ki – g)**

Consiste en areniscas cuarzosas de colores blancos variado de blanco grisaseo con tonos rojizos a pardos debido al intemperismo, Estos afloramientos los encontramos dispersos por toda el área de estudio.

Dentro de esta formación podemos englobar a las siguientes formaciones

➤ **Formación Chimu (Ki – Chi)**

Esta formación tiene rumbo general NW-SE. Litológicamente está compuesta por intercalación de lutitas gris oscura y carbón, donde se observan estructuras sedimentarias de laminaciones oblicuas. Estas rocas están fuertemente recristalizadas con granos deformados y poca matriz silícea.



Ilustración N° 8: Formación Chimu

Fuente: Tesista

Tabla N° 31: Ubicación de la formación Chimu

<b>SECTOR / NOMBRE</b>	<b>PROGRESIVA (Km)</b>	<b>USO ACTUAL</b>	<b>LADO</b>
Pueblo Poque	0 + 140 A 01+420	Sin uso	A 1.00 km del de la carretera
Cerro Huacililgaga	01+720 A 01+730 01+960 A 01+980 02+645 A 02+655	Sin uso	A 1.00 km del de la carretera
Paochac	05+195 A 06+305	Sin uso	A 0.400 km del de la carretera.

Fuente: Tesista

➤ **Formación Carhuaz (Ki - ca)**

Compuesta por una alternancia de lutitas, limolitas y areniscas de grano fino. En la base se observa una alternancia de areniscas y limolitas; las areniscas son de grano fino de coloraciones gris amarillentas, violáceas, en estratos delgados, las limolitas son grises amarillentos y a veces abigarradas



Ilustración N° 9: Formación Carhuaz

Fuente: Tesista

Tabla N° 32: Ubicación de la formación Carhuaz

<b>SECTOR / NOMBRE</b>	<b>PROGRESIVA (Km)</b>	<b>USO ACTUAL</b>	<b>LADO</b>
Cerro	05+240 A	Sin uso	A 1.00 Km del lado izquierdo
Huacilgaga Qda.	05+260		
Oshgopuquio	06+060 A	Sin uso	A 2.5 kms del lado derecho
	06+120		
	06+790 A		
	06+910		

Fuente: Tesista

➤ **Complejo Maraón (Pe-cme)**

Afloramiento de rocas asignadas al Neoproterozoico. El área de trabajo se encuentra afectados por esquistos y lutitas de colores marones a grises.

Los esquistos se encuentran en pocas proporciones a lo largo de la carretera, estos siempre se encuentran fuertemente alterados con rumbos casi no detectables.

Las filitas de igual manera se encuentran fuertemente alteradas que incluso hay evidencias de reemplazamiento, por limonitas que se emplazan con los mismos lineamientos.

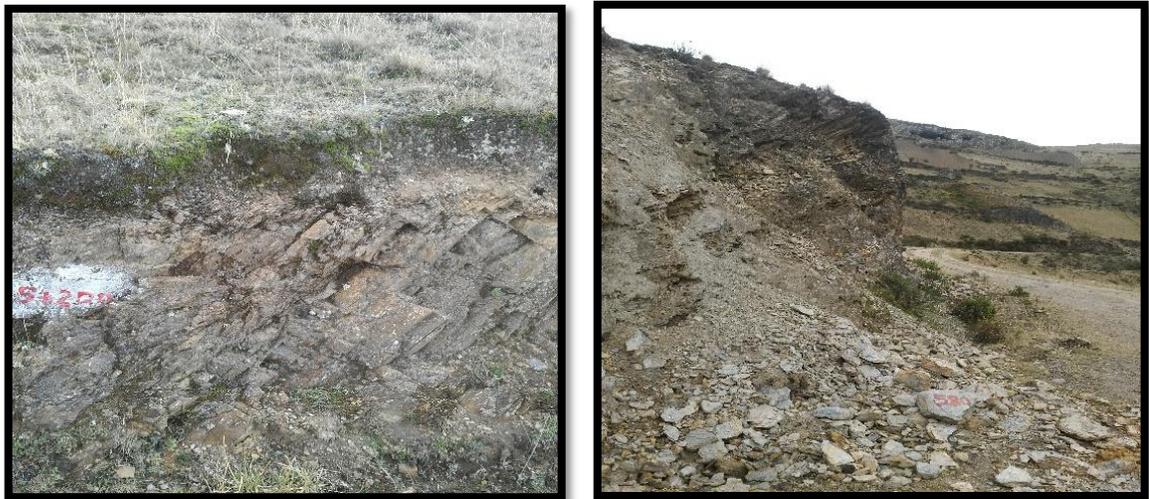


Ilustración N° 10: Complejo Marañón

Fuente: Tesista

Tabla N° 33: Ubicación del complejo Marañón

<b>SECTOR / NOMBRE</b>	<b>PROGRESIVA (Km)</b>	<b>USO ACTUAL</b>	<b>LADO</b>
Qda. Cerro Huacilgaga	01+410 A 01+590	Cantera	A 1.00 Km del lado izquierdo
Oshgopuquio	05+200 A 05+210	Cantera	A 2.00 km del lado derecho

Fuente: Tesista

Tabla N° 34: Matriz de comparación de pares del parámetro geológico

<b>GEOLÓGICOS</b>	<b>Depósitos coluviales (Qh-co)</b>	<b>Depósitos aluviales antiguos (Qh-al-1)</b>	<b>Formación Sacsaquero (P-sa)</b>	<b>Formación castrovirreyna (PN-c_s)</b>	<b>Depósitos aluviales recientes (Qh-al-2)</b>
<b>Depósitos coluviales (Qh-co)</b>	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
<b>Depósitos aluviales antiguos (Qh-al-1)</b>	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
<b>Formación Sacsaquero (P-sa)</b>	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
<b>Formación castrovirreyna (PN-c_s)</b>	0.14	0.20	0.33	1.00	2.00
<b>Depósitos aluviales recientes (Qh-al-2)</b>	0.11	0.14	0.20	0.50	1.00

Fuente: Tesista

Tabla N° 35: Matriz de normalización de pares del parámetro geológico

<b>GEOLÓGICAS</b>	<b>Depósitos coluviales (Qh-co)</b>	<b>Depósitos aluviales antiguos (Qh-al-1)</b>	<b>Formación Sacsaquero (P-sa)</b>	<b>Formación castrovirreyna (PN-c_s)</b>	<b>Depósitos aluviales recientes (Qh-al-2)</b>	<b>Vector priorización</b>
<b>Depósitos coluviales (Qh-co)</b>	0.560	0.642	0.524	0.424	0.375	0.505
<b>Depósitos aluviales antiguos (Qh-al-1)</b>	0.187	0.214	0.315	0.303	0.292	0.262
<b>Formación Sacsaquero (P-sa)</b>	0.112	0.071	0.105	0.182	0.208	0.136
<b>Formación castrovirreyna (PN-c_s)</b>	0.080	0.043	0.035	0.061	0.083	0.060
<b>Depósitos aluviales recientes (Qh-al-2)</b>	0.062	0.031	0.021	0.030	0.042	0.037

Fuente: Tesista

Índice (IC) y Relación de consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico para el parámetro geológico

INDICE DE CONSISTENCIA	IC	0.047
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (*)	RC	0.042

**MAPA N° 6: GEOLÓGICA**

## 2.2.4 Niveles de peligro

Tabla N° 36: Cálculo de los factores desencadenantes

<b>FACTORES DESENCADENANTES</b>			
<b>PRECIPITACIÓN</b>			
Peso parámetro Precipitación	Peso descriptor Precipitación	Valor del factor Desencadenante	Peso factor Desencadenante
1.000	0.461	0.461	0.100
1.000	0.270	0.270	0.100
1.000	0.145	0.145	0.100
1.000	0.077	0.077	0.100
1.000	0.046	0.046	0.100

Fuente: Tesista

Tabla N° 37: Cálculo de los factores condicionantes

<b>FACTORES CONDICIONANTES</b>							
<b>PENDIENTE</b>		<b>GEOMORFOLÓGICOS</b>		<b>GEOLÓGICOS</b>		<b>Valor del factor Condicionante</b>	<b>Peso del factor Condicionante</b>
<b>Peso parámetro Pendiente</b>	<b>Peso descriptor Pendiente</b>	<b>Peso parámetro Geomorfológicos</b>	<b>Peso descriptor Geomorfológicos</b>	<b>Peso parámetro Geológicos</b>	<b>Peso descriptor Geológicos</b>		
0.096	0.464	0.653	0.503	0.251	0.505	0.500	0.900
0.096	0.261	0.653	0.260	0.251	0.262	0.261	0.900
0.096	0.146	0.653	0.134	0.251	0.136	0.136	0.900
0.096	0.082	0.653	0.068	0.251	0.060	0.067	0.900
0.096	0.046	0.653	0.035	0.251	0.037	0.036	0.900

Fuente: Tesista

Tabla N° 38: cálculo de parámetro de evaluación

Valor de factor susceptibilidad	Peso de factor susceptibilidad	PARAMETRO DE EVALUACIÓN					PELIGRO
		FRECUENCIA		Valor factor P. evaluación	Peso Factor P. evaluación		
		Peso parámetro El Niño	Peso descriptor El Niño				
0.496	0.900	1.000	0.474	0.474	0.100	0.494	
0.262	0.900	1.000	0.268	0.268	0.100	0.262	
0.137	0.900	1.000	0.140	0.140	0.100	0.137	
0.068	0.900	1.000	0.075	0.075	0.100	0.069	
0.037	0.900	1.000	0.042	0.042	0.100	0.038	

Fuente: Tesista

Tabla N° 39: Niveles de peligrosidad

NIVEL	RANGO
Muy Alto	$0.262 \leq P \leq 0.494$
Alto	$0.137 \leq P < 0.262$
Medio	$0.069 \leq P < 0.137$
Bajo	$0.038 \leq P < 0.069$

Fuente: Tesista

**MAPA N° 7: PELIGROSIDAD**

## **2.3. Medidas de prevención y reducción de riesgo a través de obras de ingeniería**

### **2.3.1 Estudio de tráfico:**

Para el desarrollo del conteo, que permitan conocer el volumen de tránsito que soporta la vía, así como su composición, se procedió a ubicar las estaciones de control, considerando que cada tramo contiene características homogéneas en volumen y composición del tráfico vehicular.

Existe una vía definida desde el inicio del tramo EMP. R14 (POQUE) hasta el EMP. R25 (PUÑOS); existiendo una demanda actual insatisfecha de un camino vecinal mejorado.

Para la determinación de conteo de tráfico se definió dos estaciones de conteo vehicular para calcular el flujo vehicular del tramo en estudio, así como también se tomó en cuenta el excedente del productor, la necesidad de viajar de las personas hacia los distritos; lo cual detallamos en los anexos presentados ORIGEN - DESTINO, así como los conteos vehiculares.

Estación de control Emp. R14 (POQUE), ubicada en el Km. 00+000, registra el conteo de tráfico de la ruta EMP.R14 (POQUE) - EMP.R25 (PUÑOS), y viceversa.

Las labores de conteo, clasificación, encuestas origen - destino se desarrollaron de forma continua, las 24 horas del día durante 3 días de la semana, iniciándose el día lunes 14 de agosto y concluyendo el día miércoles 16 de agosto del 2017.

En el caso de las encuestas de origen y destino, consistieron en entrevistas a transeúntes, pasajeros y conductores que se desplazaban, así como con coordinaciones llevadas a cabo con autoridades locales y de las comunidades existentes.

Las unidades de transporte que se determina para un estudio de tráfico durante los trabajos del conteo por el tramo son: Autos, Camionetas, Motocars, Camiones de 2 ejes, etc.

### 2.3.1.1. Resultados de los conteos:

Se presenta el resumen de conteo directo de vehículos que circulan el tramo en estudio.

Cuadro N° 1: Resumen de conteo directo de vehículos E1

TIPO DE VEHICULO		SENTIDO															AMBOS IMDS	% AMBOS	
		EMP. R14 (POQUE) – EMP. R25 (PUÑOS)							VOLUMEN DIARIO	EMP. R25 (PUÑOS) - EMP. R14 (POQUE)									VOLUMEN DIARIO
		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO			
		14/08/2017	15/08/2017	16/08/2017	17/08/2017	18/08/2017	19/08/2017	20/08/2017	CLASIFICADO	14/08/2017	15/08/2017	16/08/2017	17/08/2017	18/08/2017	19/08/2017	20/08/2017			CLASIFICADO
VEHICULOS LIGEROS	AUTO	4	1	2	2	2	3	1	2	2	4	5	2	2	1	1	2	4	20.00%
	STATIO WAGON	3	2	1	1	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	20.00%
	CMTA. PICK UP	2	3	0	2	2	1	1	2	4	5	2	0	3	2	1	2	4	20.00%
	CMTA. RURAL COMBI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
VEHICULOS PESADOS	OMNIBUS 2E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
	CAMION 2E	2	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	3	15.00%

Fuente: Tesista

Cuadro N° 2: Resumen de conteo directo de vehículos menores E1

TIPO DE VEHICULO		SENTIDO															AMBOS IMDS	% AMBOS	
		EMP. R14 (POQUE) – EMP. R25 (PUÑOS)							VOLUMEN DIARIO	EMP. R25 (PUÑOS) - EMP. R14 (POQUE)									VOLUMEN DIARIO
		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO			
		14/08/2017	15/08/2017	16/08/2017	17/08/2017	18/08/2017	19/08/2017	20/08/2017	CLASIFICADO	14/08/2017	15/08/2017	16/08/2017	17/08/2017	18/08/2017	19/08/2017	20/08/2017			CLASIFICADO
OTROS VEHICULOS LIGEROS	TRIMOVIL CARGA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
	TRIMOVIL PASAJEROS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
	MOTOCICLETA	3	5	0	3	5	2	3	3	3	2	2	0	2	2	2	2	5	25.00%

Fuente: Tesista

### 2.3.1.2. Índice medio diario (IMD)

#### Índice Medio Diario Semanal

El Promedio de Tráfico Diario Semanal o Índice Medio Diario Semanal (IMDS), se obtiene a partir del volumen diario registrado en el conteo vehicular, aplicando la siguiente fórmula:

$$IMDS = Vi / 7$$

En donde

Vi: Volumen Vehicular diario de cada uno de los 7 días de conteo.

Cuadro N° 3: IMDS E1

TIPO DE VEHICULO		SENTIDO																AMBOS IMDS	% AMBOS
		EMP. R14 (POQUE) – EMP. R25 (PUÑOS)							VOLUMEN DIARIO CLASIFICADO	EMP. R25 (PUÑOS) - EMP. R14 (POQUE)							VOLUMEN DIARIO CLASIFICADO		
		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO			
		14/08/2017	15/08/2017	16/08/2017	17/08/2017	18/08/2017	19/08/2017	20/08/2017		14/08/2017	15/08/2017	16/08/2017	17/08/2017	18/08/2017	19/08/2017	20/08/2017			
VEHICULOS LIGEROS	AUTO	4	1	2	2	2	3	1	2	2	4	5	2	2	1	1	2	4	26.67%
	STATIO WAGON	3	2	1	1	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	26.67%
	CMTA. PICK UP	2	3	0	2	2	1	1	2	4	5	2	0	3	2	1	2	4	26.67%
	CMTA. RURAL COMBI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
VEHICULOS PESADOS	OMNIBUS 2E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
	CAMION 2E	2	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	3	20.00%
<b>TOTAL</b>		11	7	4	6	7	8	5	8	9	13	10	6	8	6	5	7	15	100.0%

Fuente: Tesista

Cuadro N° 4: Resumen de clasificación vehicular estación E - 01

TIPO DE VEHICULO		IMDS	% AMBOS
VEHICULOS LIGEROS	AUTO	4	26.67%
	STATIO WAGON	4	26.67%
	CMTA. PICK UP	4	26.67%
	CMTA. RURAL COMBI	0	0.00%
VEHICULOS PESADOS	OMNIBUS 2E	0	0.00%
	CAMION 2E	3	20.00%
<b>TOTAL</b>		15	100.00%

Fuente: Tesista

### 2.3.1.3. Numero de repeticiones de ejes equivalente

Determinación del factor camión FC

El reglamento nacional de vehículos D.S N°034-2001-MTC, reglamenta los pesos y dimensiones de los vehículos de transporte terrestre.

Eje(s)	Neumático	Gráfico			Kilos
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	
Simple	2				7,000
Simple	4				11,000
Doble	6				16,000
Doble	8				18,000
Triple	10				23,000
Triple	12				25,000

D.S.N°034-2001-MTC: "Reglamento Nacional de Vehículos"

Figura N° 16: Peso Vehicular

Fuente: MTC

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. ( m )	Peso máximo ( t )				Peso bruto máx. ( t )	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°		4°
C2		12,30	7	11	---	---	---	18
C3		13,20	7	18	---	---	---	25
C4		13,20	7	23 <sup>(1)</sup>	---	---	---	30

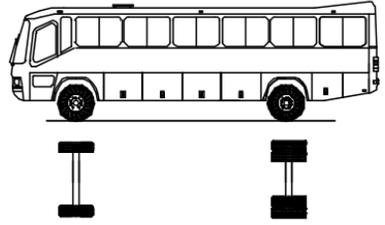
B2		13,20	7	11	---	---	---	18
----	---	-------	---	----	-----	-----	-----	----

Figura N° 17: pesos y medidas de los vehículos

Fuente: MTC

El peso total del Camión C2 es de 18tn, pesando el eje delantero (E1) 7tn y el eje posterior simple (E2) 11tn.

Sabemos que 8.2 tn = 18000 lb = 80kN

Convirtiendo se tiene:

7tn = 68.67 kN, 11tn = 107.91Kn, 18tn = 176.58Kn, 23tn = 225.63Kn

Entonces interpolando se tiene de la siguiente cuadro.

Cuadro N° 5: Relación de cargas por eje para determinar Ejes Equivalentes (EE)

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE <sub>8.2 tn</sub> )
Eje Simple de ruedas simples (EE <sub>S1</sub> )	$EE_{S1} = [ P / 6.6 ]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE <sub>S2</sub> )	$EE_{S2} = [ P / 8.2 ]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TA1</sub> )	$EE_{TA1} = [ P / 14.8 ]^{4.0}$
Eje Tandem ( 2 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TA2</sub> )	$EE_{TA2} = [ P / 15.1 ]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TR1</sub> )	$EE_{TR1} = [ P / 20.7 ]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TR2</sub> )	$EE_{TR2} = [ P / 21.8 ]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	

Fuente: Elaboración Propia, en base a correlaciones con los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO'93

Fuente: MTC

Factor camión será:

Tabla N° 40: Factor camión

TIPO DE VEHICULO	LONGITUD m	CARGA POR EJE ( Tn )				PESO BRUTO MAXIMO	EJES EQUIV.
		EJE DELANTERO CARGA tn	EJE EQUIV. EJE	EJE 1 CARGA tn	CARGA kn		
SEMITRAYLERS							
C2	13.20	7	1.2654	10	2.2118	17	3.4772
C3	13.20	7	1.2654	16	1.2606	23	2.5260
C4	13.20	7	1.2654	25	2.0878	32	3.3531
BUSES							
B2	13.20	7	1.2654	10	2.2118	17	3.4772
B3	14.00	7	1.2654	15	1.0552	22	2.3205

Fuente: Tesista

Factor de crecimiento se tiene: Para periodo de diseño n = 10 años, i = tasa anual de crecimiento = 1.01%

$$Factor\ Fca = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Factor crecimiento = 10.47

Factor Direccional Fd

Cuadro N° 6: Factores de distribución direccional y de carril

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

Período de diseño: 10 años

FD x Fc = 1

Con los datos proporcionados en el Estudio de Trafico se determinó el número acumulado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 toneladas para el periodo de diseño, de acuerdo a la fórmula:

$$N_{\text{rep de EE}}_{8.2 \text{ tn}} = \sum [EE_{\text{día-carril}} \times F_{ca} \times 365]$$

Reemplazando en la formula se tiene:

Tabla N° 41: Calculo EAL

TIPO DE VEHICULO	IMD	FACTOR EQUIV.	FDXFC	n	Tasa de crecimiento	F. crecimiento	N° de Rep.
C2	15.00	3.4772	1	10.0000	1.01%	10.4670	2.004E+05
C3	0.00	2.5260	1	10.0000	1.01%	10.4670	0.00E+00
C4	0.00	3.3531	1	10.0000	1.01%	10.4670	0.00E+00
B2	0.00	3.4772	1	10.0000	1.01%	10.4670	0.00E+00

Fuente: Tesista

N° repet. =	2.004E+05	EE
-------------	-----------	----

### Motivos de viaje

De acuerdo a información obtenida de las encuestas origen – destino, los motivos de viaje de los pasajeros de los vehículos que circulan por la carretera responden a la siguiente estructura porcentual:

#### Estación E1

Trabajo/comercio: 81.82 %

Turismo: 9.09 %

Salud: 9.09 %

Se presenta la tabla que muestra los motivos de viaje de los pasajeros que hacen uso de la vía según tipo de vehículo.

Tabla N° 42: uso de la carretera

<b>TIPO DE VEHICULO</b>	<b>TRABAJO/COMERCIO</b>	<b>TURISMO</b>	<b>ESTUDIOS</b>	<b>SALUD</b>	<b>TOTAL</b>
AUTO	2			1	3
STATION WAGON	4	1			5
PICK UP	12	1		1	14
TOTAL GENERAL	18	2	0	2	8

Fuente: Tesista

En este estudio con los datos de las encuestas ORIGEN – DESTINO, se cuantifica la demanda de tránsito en el tramo EMP.R14 (POQUE) - EMP.R25 (PUÑOS), mediante las siguientes Matrices Origen-Destino, las cuales miden la cantidad de transporte llevado a cabo entre dos puntos y su entorno generador de viajes en un cierto intervalo de tiempo en estación E1.

La estimación de estas matrices se hace, por lo general, utilizando únicamente los resultados de estudios Origen - Destino.

A continuación, se detalla el resultado de Matriz origen – destino de pasajeros

Cuadro N° 7: Matriz origen – destino de pasajeros E1

**MATRIZ DE ORIGEN - DESTINO DE PASAJEROS (MOTOCICLETA )**

**Carretera :** Poque - Puños  
**Sentido :** Ambos  
**Fecha :** Del 14 de Agosto al 16 de Agosto  
**Estación :** Poque (km 00+000)

ORIGEN	DESTINO			TOTAL	%
	LLATA	POQUE	PUÑOS		
LLATA				0	0%
POQUE			7	7	58%
PUÑOS		5		5	42%
TOTAL	0	5	7	12	100%
%	0%	42%	58%	100%	

**MATRIZ DE ORIGEN - DESTINO DE PASAJEROS (AUTO)**

**Carretera :** Poque - Puños  
**Sentido :** Ambos  
**Fecha :** Del 14 de Agosto al 16 de Agosto  
**Estación :** Poque (km 00+000)

ORIGEN	DESTINO			TOTAL	%
	LLATA	POQUE	PUÑOS		
LLATA			2	2	67%
POQUE				0	0%
PUÑOS	1			1	33%
TOTAL	1	0	2	3	100%
%	33%	0%	67%	100%	

**MATRIZ DE ORIGEN - DESTINO DE PASAJEROS (STATION WAGON)**

**Carretera :** Poque - Puños  
**Sentido :** Ambos  
**Fecha :** Del 14 de Agosto al 16 de Agosto  
**Estación :** Poque (km 00+000)

ORIGEN	DESTINO			TOTAL	%
	LLATA	POQUE	PUÑOS		
LLATA			2	2	40%
POQUE			2	2	40%
PUÑOS	1			1	20%
TOTAL	1	0	4	5	100%
%	20%	0%	80%	100%	

**MATRIZ DE ORIGEN - DESTINO DE PASAJEROS (PICK UP)**

**Carretera :** Poque - Puños  
**Sentido :** Ambos  
**Fecha :** Del 14 de Agosto al 16 de Agosto  
**Estación :** Poque (km 00+000)

ORIGEN	DESTINO			TOTAL	%
	LLATA	POQUE	PUÑOS		
LLATA		1	2	3	27%
POQUE			2	2	18%
PUÑOS	2	4		6	55%
TOTAL	2	5	4	11	100%
%	18%	45%	36%	100%	

**MATRIZ DE ORIGEN - DESTINO DE PASAJEROS (Motocicleta-Auto-Station Wagon-Pick up)**

**Carretera :** Poque - Puños  
**Sentido :** Ambos  
**Fecha :** Fecha:  
**Estación :** Poque (km 00+000)

ORIGEN	DESTINO			TOTAL	%
	LLATA	POQUE	PUÑOS		
LLATA		1	6	7	22.6%
POQUE	0		11	11	35.5%
PUÑOS	4	3		13	41.9%
TOTAL	4	10	17	31	100%
%	12.9%	32.3%	54.8%	100%	

### **2.3.2 Estudio de suelos**

Con la finalidad de identificar y realizar la evaluación geotécnica del suelo de subrasante existente a lo largo del trazo, se llevó a cabo un programa de exploración de campo, excavación de calicatas y recolección de muestras para ser ensayadas en el laboratorio.

En total se excavaron 21 calicatas "a cielo abierto", los que se denominan C-01 al C-21, partiendo de la progresiva de inicio Km. 0+000, a puntos ubicados en las progresivas 000 y 500 aproximadamente y cada kilómetro (2 calicatas por Km.) utilizando el método tresbolillo, izquierda y derecha de la plataforma intercaladamente, hasta llegar al Km. 10.011 punto final del tramo.

La profundidad alcanzada en las perforaciones varía entre 1.5 m. a 2.00 m, tal que no sea menor de 1.50 m por debajo de la subrasante proyectada (a menos que se encuentre en zonas con afloramiento rocoso), y ubicadas en forma alternada (derecha e izquierda) de la carretera.

En cada ubicación se registró el perfil estratigráfico del suelo de subrasante, clasificando visualmente los materiales mediante el procedimiento de campo establecido por el sistema Unificado de Clasificación de suelos (S.U.C.S.). Cuando se detectó la presencia de cambios de las características de los materiales encontrados en la excavación, se tomó una muestra representativa para la evaluación e identificación correspondiente.

De cada estrato de suelo identificado, se tomaron muestras representativas, las que convenientemente identificadas, fueron empaquetadas en bolsas de polietileno y trasladadas al laboratorio para efectuar ensayos de sus características físicas y mecánicas.

Sobre la base de la clasificación visual de los suelos, se elaboró un perfil estratigráfico preliminar del tramo, el cual permitió determinar secciones de características similares, escogiéndose puntos representativos generales y específicos, los generales para determinar las características de los suelos

predominantes y similares en las calicatas escogidas, y los específicos para determinar las características mecánicas de los suelos de subrasante.

### Profundidad de la Napa Freática

La ubicación de la Napa Freática es función de la época del año en la que se realice la investigación de campo, así como de las variaciones naturales de los sistemas de lluvia que abastecen los estratos acuíferos.

En la zona comprendida en el estudio no se ha detectado la Napa Freática dentro de la profundidad investigada (1.50 m) en la fecha que se realizó la investigación de campo.

Tabla N° 43: Resumen de ensayos de campo

N°	PROGR. (KM)	COD	COORDENADAS UTM		LAD.	N° DE MUE STR A	PROF. DE CAL.	% QUE PASA EL TAMIZ		LL (%)	IP (%)	HUM. NAT. W (%)	CLASIF. DE SUELOS	
			ESTE	NORTE				N° 04	N° 200				S.U.C.S.	AASHTO
1	00+000.00	C-01	290732E	8945291N	DER.	M-1	1.50 m	97.39	43.33	15.03	0.00	16.28	SM	A-4
2	00+500.00	C-02	290876E	8945668N	IZQ.	M-1	1.50 m	81.91	22.54	14.55	0.00	14.99	SM	A-2-4
3	01+000.00	C-03	291079E	8945621N	DER.	M-1	1.50 m	90.41	62.16	28.70	6.81	29.79	CL-ML	A-4
4	01+500.00	C-04	291424E	8945791N	IZQ.	M-1	1.50 m	58.74	23.67	27.76	1.60	11.59	GM	A-1-b
5	02+000.00	C-05	291454E	8945999N	DER.	M-1	1.50 m	90.41	62.16	24.78	2.36	29.79	ML	A-4
6	02+500.00	C-06	291576E	8946268N	IZQ.	M-1	1.50 m	82.80	45.00	25.79	2.83	16.38	SM	A-4
7	03+000.00	C-07	291187E	8946509N	IZQ.	M-1	1.50 m	98.53	38.80	14.19	0.00	10.39	SM	A-4
8	03+500.00	C-08	291510E	8946649N	DER.	M-1	1.50 m	88.40	54.60	23.98	3.34	20.54	ML	A-4
9	04+000.00	C-09	291421E	8946792N	IZQ.	M-1	1.50 m	51.87	34.67	21.46	5.12	11.37	GC-GM	A-2-4
10	04+500.00	C-10	291031E	8947045N	IZQ.	M-1	1.50 m	45.32	26.78	20.63	3.31	8.49	GM	A-2-4
11	05+000.00	C-11	290894E	8947469N	DER.	M-1	1.50 m	99.51	41.76	25.04	5.94	9.09	SC-SM	A-4
12	05+500.00	C-12	291054E	8947648N	IZQ.	M-1	1.50 m	76.86	53.54	41.20	0.39	52.40	ML	A-5
13	06+000.00	C-13	291311E	8947882N	DER.	M-1	0.30 m	66.05	34.25	24.31	0.00	11.39	GM	A-2-4
14	06+500.00	C-14	291240E	8948133N	IZQ.	M-1	0.30 m	63.75	35.55	18.50	0.00	9.52	GM	A-4
15	07+000.00	C-15	291536E	8948365N	DER.	M-1	1.50 m	87.49	48.76	29.36	0.00	17.54	SM	A-4
16	07+500.00	C-16	291816E	8948472N	IZQ.	M-1	1.50 m	58.33	16.08	23.57	0.00	6.90	SM	A-1-b
17	08+000.00	C-17	292081E	8948802N	IZQ.	M-1	1.50 m	91.60	49.34	33.44	4.06	19.60	SM	A-4
18	08+500.00	C-18	292290E	8949048N	IZQ.	M-1	1.50 m	64.00	30.49	27.84	0.00	10.28	GM	A-2-4
19	09+000.00	C-19	292194E	8949261N	DER.	M-1	1.50 m	51.32	17.00	25.91	0.00	12.92	GM	A-1-b
20	09+500.00	C-20	292323E	8949260N	IZQ.	M-1	1.50 m	60.36	22.73	28.44	0.00	10.88	GM	A-1-b
21	10+011.00	C-21	292188E	8949547N	DER.	M-1	1.50 m	81.40	39.36	26.06	2.42	13.88	SM	A-4

Tabla N° 44: Resumen de las características físicas y mecánicas del suelo

N°	PROGR. (KM)	COD.	LADO	N° DE MUEST.	PROF. DE CALIC.	CLASIF. DE SUELOS		MDS	OCH	CBR 95%	CBR 100%
						S.U.C.S.	AASHTO				
1	00+000.00	C-01	DER.	M-1	1.50 m	SM	A-4	1.90 gr/cm3	12.36%	17.52%	25.13%
2	00+500.00	C-02	IZQ.	M-1	1.50 m	SM	A-2-4	-	-	-	-
3	01+000.00	C-03	DER.	M-1	1.50 m	CL-ML	A-4	1.59 gr/cm3	20.12%	9.95%	16.38%
4	01+500.00	C-04	IZQ.	M-1	1.50 m	GM	A-1-b	-	-	-	-
5	02+000.00	C-05	DER.	M-1	1.50 m	ML	A-4	1.91 gr/cm3	12.99%	14.10%	26.09%
6	02+500.00	C-06	IZQ.	M-1	1.50 m	SM	A-4	-	-	-	-
7	03+000.00	C-07	IZQ.	M-1	1.50 m	SM	A-4	2.10 gr/cm3	7.77%	17.22%	25.02%
8	03+500.00	C-08	DER.	M-1	1.50 m	ML	A-4	-	-	-	-
9	04+000.00	C-09	IZQ.	M-1	1.50 m	GC-GM	A-2-4	2.02 gr/cm3	9.40%	12.61%	29.00%
10	04+500.00	C-10	IZQ.	M-1	1.50 m	GM	A-2-4	-	-	-	-
11	05+000.00	C-11	DER.	M-1	1.50 m	SC-SM	A-4	2.00 gr/cm3	8.53%	23.81%	39.66%
12	05+500.00	C-12	IZQ.	M-1	1.50 m	ML	A-5	1.17 gr/cm3	43.93%	6.73%	8.49%
13	06+000.00	C-13	DER.	M-1	0.30 m	GM	A-2-4	-	-	-	-
14	06+500.00	C-14	IZQ.	M-1	0.30 m	GM	A-4	-	-	-	-
15	07+000.00	C-15	DER.	M-1	1.50 m	SM	A-4	1.74 gr/cm3	17.12%	6.04%	9.52%
16	07+500.00	C-16	IZQ.	M-1	1.50 m	SM	A-1-b	-	-	-	-
17	08+000.00	C-17	IZQ.	M-1	1.50 m	SM	A-4	1.89 gr/cm3	11.39%	7.05%	9.96%
18	08+500.00	C-18	IZQ.	M-1	1.50 m	GM	A-2-4	-	-	-	-
19	09+000.00	C-19	DER.	M-1	1.50 m	GM	A-1-b	1.88 gr/cm3	13.73%	14.91%	19.77%
20	09+500.00	C-20	IZQ.	M-1	1.50 m	GM	A-1-b	-	-	-	-
21	10+011.00	C-21	DER.	M-1	1.50 m	SM	A-4	1.90 gr/cm3	13.41%	22.18%	36.41%

Fuente: Tesista

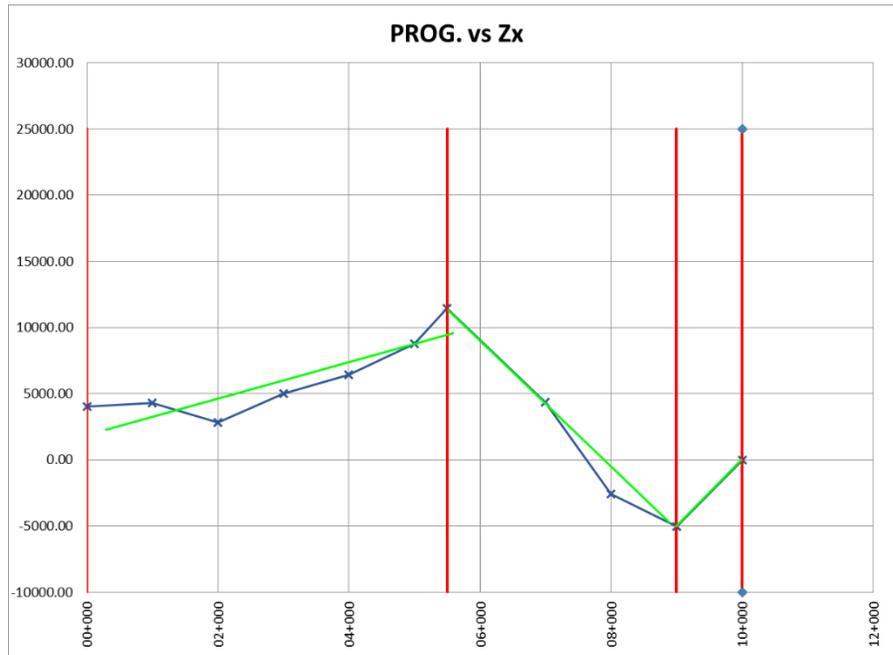
### 2.3.2.1. Homogenizando CBR

Tabla N° 45: Agrupados y representados por el método de las diferencias acumuladas

Progresiva	CBR (%)	# Intervalo	Dist. Entre intervalo	Dist. Acumulada entre intervalos	Intervalo promedio	Área del intervalo	Área acumulada	Zx	Sub Tramos - CBR prom. (%)
0+000	17.5	1	1+000	1+000	17.5	17520	17,520.00	4036.36	
1+000	10.0	2	1+000	2000	13.735	13735	31,255.00	4287.73	
2+000	14.1	3	1000	3000	12.025	12025	43,280.00	2829.09	15.9
3+000	17.2	4	1000	4000	15.66	15660	58,940.00	5005.45	
4+000	12.6	5	1000	5000	14.915	14915	73,855.00	6436.82	
5+000	23.8	6	500	5500	18.21	9105	82,960.00	8800.00	
5+500	6.7	7	1500	7000	15.27	22905	105,865.00	11479.55	
7+000	6.0	8	1000	8000	6.385	6385	112,250.00	4380.91	8.7
8+000	7.1	9	1000	9000	6.545	6545	118,795.00	-2557.73	
9+000	14.9	10	1000	10000	10.98	10980	129,775.00	-5061.36	
10+000	22.2	11	1+000	11000	18.545	18545	148,320.00	0.00	22.2
						At	148,320.00		
						Lp	11,000.00		
						F	13.48		

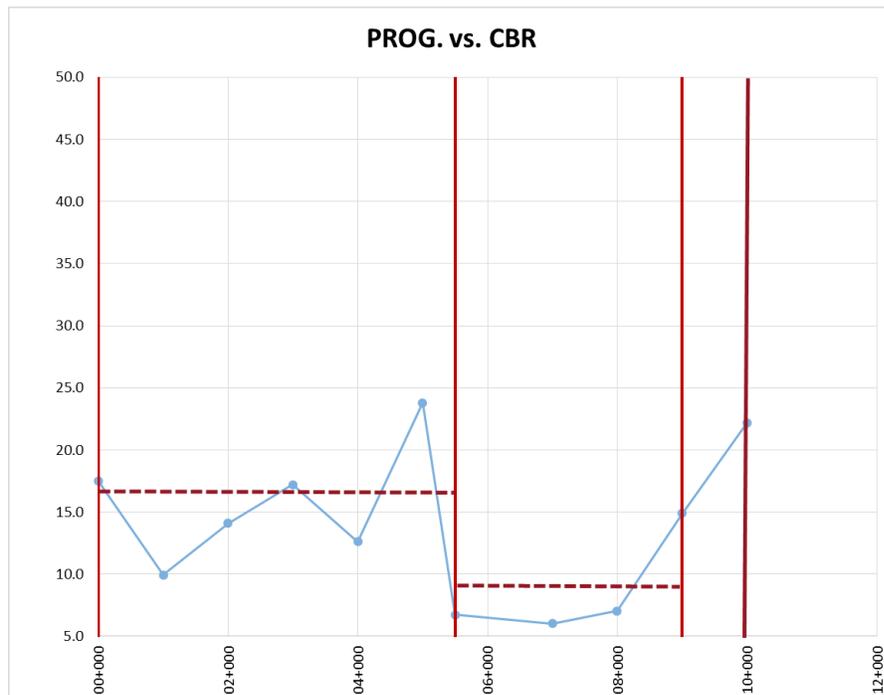
Fuente: Tesista

Gráfico N° 11: Progresiva vs Zx



Fuente: Tesista

Gráfico N° 12: Progresiva vs CBR



Fuente: Tesista

### 2.3.3 Diseño del pavimento flexible por el método del MTC

La metodología del Ministerio de Transporte y Comunicaciones es basada en cuadros y ábacos proporcionados por el manual de suelos y pavimentos. Para las siguientes características de tráfico y CBR de la carretera se va obtener un tipo de espesores del pavimento de acuerdo a la metodología.

**Tipo de tráfico:** se basa a los ejes equivalentes proporcionados por el conteo de vehículos y proyectados a la vida útil del proyecto.

Cuadro N° 8: tipo de tráfico pesado de acuerdo a los ejes equivalentes

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T <sub>P0</sub>	> 75,000 EE ≤ 150,000 EE
T <sub>P1</sub>	> 150,000 EE ≤ 300,000 EE
T <sub>P2</sub>	> 300,000 EE ≤ 500,000 EE
T <sub>P3</sub>	> 500,000 EE ≤ 750,000 EE
T <sub>P4</sub>	> 750,000 EE ≤ 1'000,000 EE

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

**Categoría de la Subrasante:** de acuerdo al CBR obtenidos por las calicatas y a las uniformando (homogenizando) se obtuvo 8.7% el más desfavorable. Donde se obtiene un sub rasante de categoría buena.

Cuadro N° 9: Categoría de la Subrasante

CATEGORÍAS DE SUB RASANTE	CBR
S <sub>0</sub> : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S <sub>1</sub> : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Sub rasante excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

**Módulo de Resiliencia:** es una relación con el CBR, donde el CBR es un ensayo estático y mientras el módulo de Resiliencia es un ensayo dinámico, pero tiene una relación con el CBR.

$$Mr \text{ (psi)} = 2555 \times CBR^{0.64}$$

$$Mr = 2555 \times (8.7)^{0.64} = 10201.95 \text{ psi}$$

**Confiabilidad:** producto del tráfico proyectado y los ejes equivalentes te recomienda un nivel de confiabilidad al 70%.

Cuadro N° 10: valores de nivel de confiabilidad

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P0</sub>	75,000	150,000	65%
	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	70%
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	75%
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	80%
	T <sub>P4</sub>	750,001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	85%
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	85%
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	85%
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	90%
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	90%
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	90%
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	90%
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	95%
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	95%
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	95%
	T <sub>P15</sub>	>30'000,000		95%

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

**Desviación estándar:** el valor de desviación estándar es producto del grado de confiabilidad para el diseño y de acuerdo al tiempo de vida del pavimento

Cuadro N° 11: valores de desviación estándar

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P0</sub>	75,000	150,000	-0.385
	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	-0.524
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	-0.674
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	-0.842
	T <sub>P4</sub>	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	-1.282
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	-1.282
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	-1.282
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	-1.645
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	-1.645
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	-1.645
	T <sub>P15</sub>	>30'000,000		-1.645

**Variación de la serviciabilidad:** el máximo valor admisible para que pueda recuperar la serviciabilidad de la carretera mediante una conservación.

Cuadro N° 12: variación de la serviciabilidad

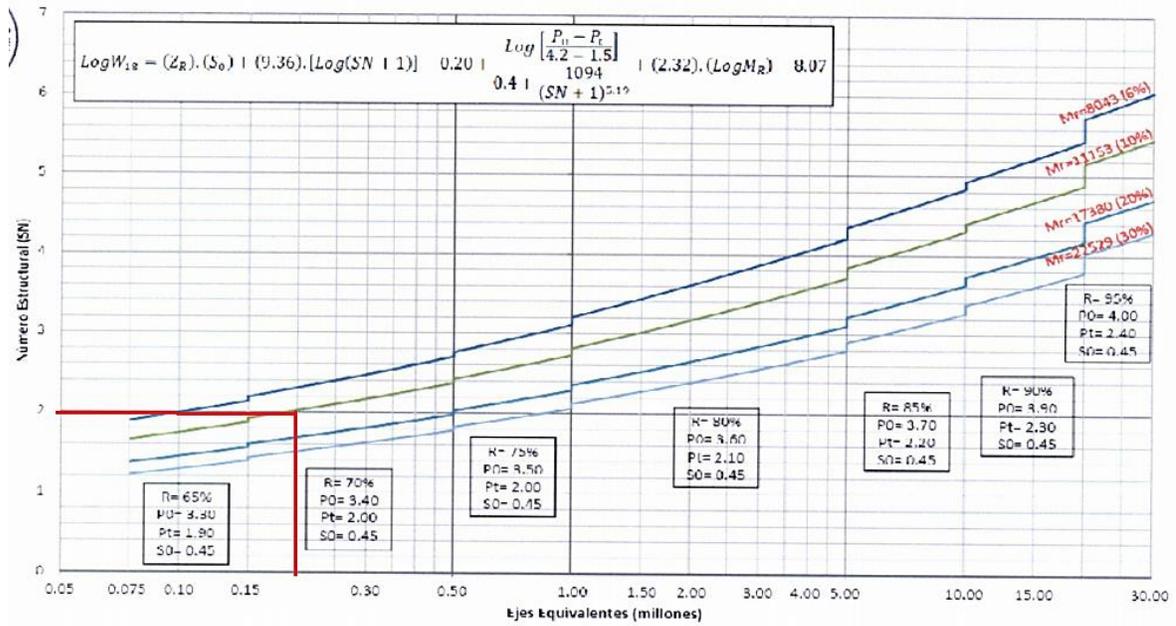
TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD ( $\Delta$ PSI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	1.80
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	1.80
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	1.80
	T <sub>P4</sub>	750,001	1,000,000	1.80
Resto de Caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	1.50
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	1.50
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	1.50
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	1.50
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	1.50
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	1.50
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	1.50
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	1.20
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	1.20
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	1.20
	T <sub>P15</sub>		>30'000,000	1.20

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

**Calculo del número estructural requerido:** el cálculo está sometido a los coeficientes de la base, subbase y carpeta asfáltica.

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

Gráfico N° 13: numero estructural del pavimento flexible



Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

**SN = 1.90**

**Coefficientes estructurales:** valor de los coeficientes producto del CBR y la calidad del asfalto.

Cuadro N° 13: Valor de coeficiente de las capas del pavimento

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL a <sub>i</sub> (cm)	OBSERVACIÓN
<b>CAPA SUPERFICIAL</b>			
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 oC (68 oF)	a <sub>1</sub>	0.170 / cm	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico
Carpeta Asfáltica en Frio, mezcla asfáltica con emulsión.	a <sub>1</sub>	0.125 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 1'000,000 EE
Micropavimento 25mm	a <sub>1</sub>	0.130 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 1'000,000 EE
Tratamiento Superficial Bicapa.	a <sub>1</sub>	0.250 (*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 500,000EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%; y, en vías con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12mm.	a <sub>1</sub>	0.150 (*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 500,000EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
(*) Valor Global (no se considera el espesor)			
<b>BASE</b>			
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	a <sub>2</sub>	0.052 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico ≤ 5'000,000 EE
Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	a <sub>2</sub>	0.054 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico > 5'000,000 EE
Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall = 1500 lb)	a <sub>2a</sub>	0.115 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35 kg/cm <sup>2</sup> )	a <sub>2b</sub>	0.070 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días = 12 kg/cm <sup>2</sup> )	a <sub>2c</sub>	0.080 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
<b>SUBBASE</b>			
Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	a <sub>3</sub>	0.047 / cm	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico ≤ 15'000,000 EE
Sub Base Granular CBR 60%, compactada al 100% de la MDS	a <sub>3</sub>	0.050 / cm	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico > 15'000,000 EE

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

**Drenaje:** son valores obtenidos de acuerdo a las obras de arte o las obras complementarias al pavimento para que pueda drenar rápidamente.

Cuadro N° 14: valores del tiempo de drenaje

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO EN QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	El agua no evacua

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

Cuadro N° 15: valores del drenaje para base y sub base

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA SATURACIÓN.			
	MENOR QUE 1%	1% - 5%	5% - 25%	MAYOR QUE 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 - 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

**Espesores mínimos:** son valores mínimos recomendados por el manual del MTC de suelos y pavimentos de acuerdo al trafico, CBR, la calidad del CAP PEN.

Cuadro N° 16: espesores mínimos de la capa asfáltica y de la base

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS	CAPA SUPERFICIAL	BASE GRANULAR	
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	TSB, o Lechada Asfáltica (Slurry seal): 12mm, o Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 50mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 50mm	150 mm
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	TSB, o Lechada Asfáltica (Slurry seal): 12mm, o Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 60mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 60mm	150 mm
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 60mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 70mm	150 mm
	T <sub>P4</sub>	750 001	1,000,000	Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 70mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

Espesor de la Carpeta asfáltica: 50 mm = 5 cm = 2 pulg

Espesor de la base: 150 mm = 15 cm = 6 pulg

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

$$1.90 = 0.17 \times 5 + 0.052 \times 15 \times 1 + 0.047 \times d_3 \times 1$$

$$d_3 = 10 \text{ cm} = 4 \text{ pulg}$$

#### Comentario N°1:

En esta metodología de diseño para pavimento flexible se establece de igual forma que el diseño para pavimento rígido, la determinación de una estructura de pavimento en este caso con asfalto, que soporte un número determinado de ejes equivalente manteniendo unas condiciones de serviciabilidad, con unos materiales

de características específicas. Para el desarrollo de esta metodología se tienen en cuenta los siguientes parámetros: la desviación estándar ( $S_o = 0.45$ ), la confiabilidad (70%), Índice de serviciabilidad ( $\Delta\text{Psi} = 1.8$ ), el módulo resiliente de la Subrasante, el número de ejes equivalentes, Contemplados estos parámetros y siguiendo la metodología de diseño se obtiene la estructura del pavimento:



Figura N° 18: Estructura del pavimento flexible – método MTC

#### 2.3.4 Identificación del tramo crítico en la carretera:



**Tramo Crítico: Km 5+200 al Km 5+230**

Fuente: Tesista

## DATOS RECOPIRADOS:

### ❖ Escorrentía Superficial:

Se determina usando la ecuación de la intensidad de precipitación, mostrado en páginas anteriores. Usando la ecuación del Manual de Hidrología, Hidráulica y drenaje – MTC, donde indica que se puede usar el Método Racional para áreas de influencia menor a 10 km<sup>2</sup>, tomando como base se tiene el siguiente resultado:

$$Q = 0.278 CIA$$

Donde:

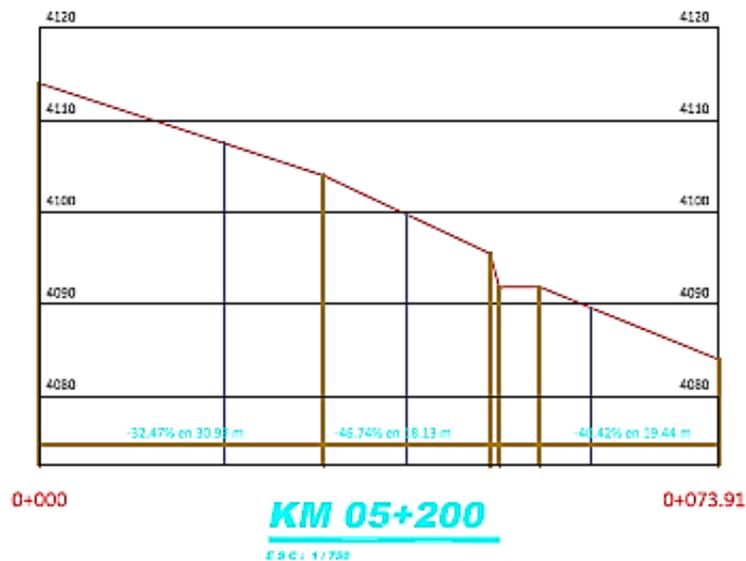
- Coeficiente de escorrentía (C) = 0.45 (pendiente media y ligera vegetación con condición semipermeable)
- Intensidad de precipitación máxima horaria (I) = 67.904 mm/h
- Área de análisis (A) = 0.002 km<sup>2</sup>

Entonces

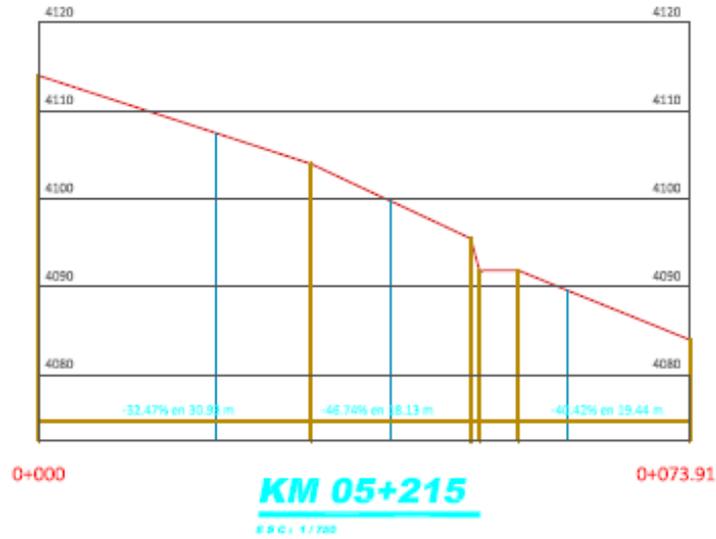
- Escorrentía superficial:  $Q = 0.017 \text{ m}^3/\text{s} = 17 \text{ lts/s}$
- Escorrentía que infiltra:  $Q = 0.021 \text{ m}^3/\text{s} = 21 \text{ lts/s}$

### ❖ Pendiente:

✓ **Perfil del terreno: Km 5+200**

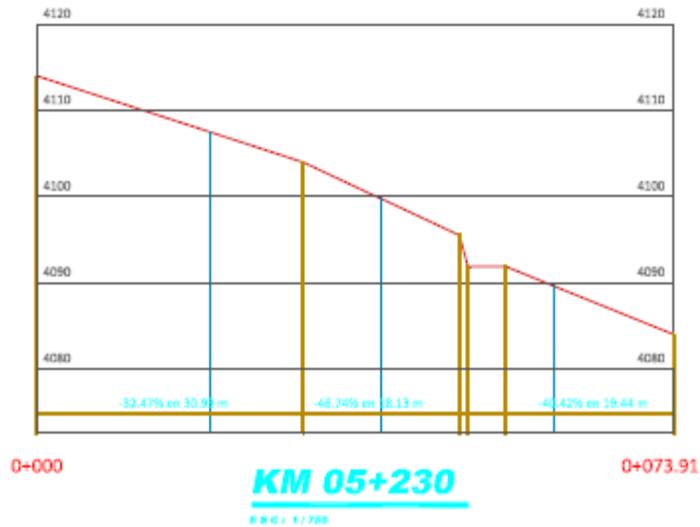


✓ **Perfil del terreno: Km 5+215**



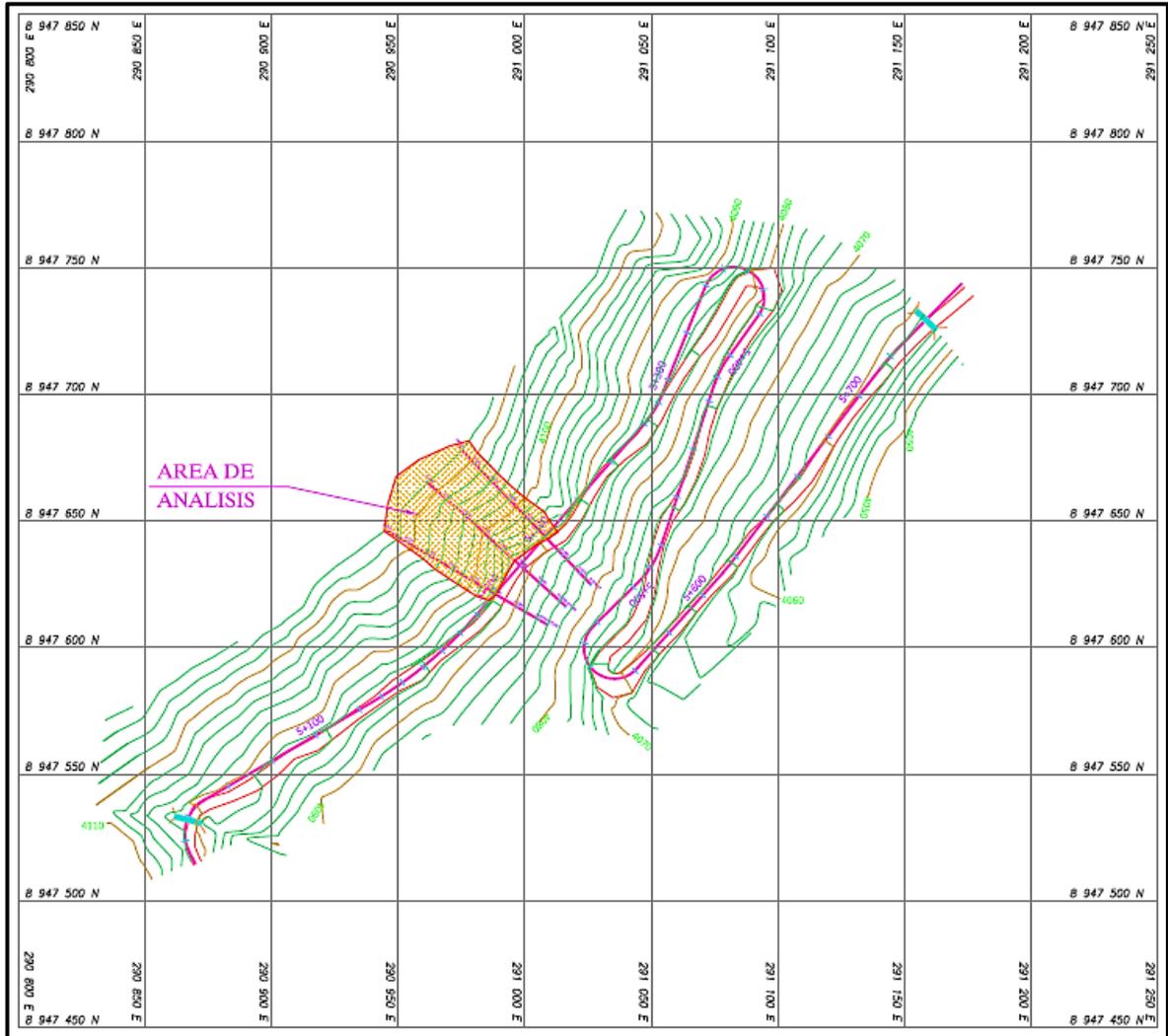
Fuente: Tesista

✓ **Perfil del terreno: Km 5+230**



El terreno cuenta con pendiente que va de 32.50% a 56.00%, resultando una pendiente media de 40% (Ver plano topográfico), el cual reafirma la existencia de material suelto y parcialmente compactado. Haciendo que al ingresar agua por los poros de la misma generen deslizamiento.

## ❖ Geomorfología:



**Colina ligeramente empinada.-** Podemos apreciar estas pequeñas colinas desde la cota 05+200 hasta la progresiva 05+230, esta constituye a una pequeña quebrada, la cual es de proporciones pequeñas. Comprende altitudes que van desde 4,015 a los 3,820 m.s.n.m. aproximadamente. Corresponde a zonas que se distribuyen de manera dispersa, Litológicamente existe afloramiento de esquistos fuertemente alterados, estos presentan desprendimientos, el relleno de fisuras se encuentran con material arenoso de coloración marrón claro con una delgada capa orgánica que se manifiesta a lo largo del tramo crítico; La pendiente dominante es de 40%.

## ❖ **Geología:**

### **Litología local**

**Km 5+200 al 5+230:** Afloramiento de esquistos fuertemente alterados con Rumbo N 15° W, Bz S 45 E, estos presentan desprendimientos, el relleno de fisuras se encuentran con material arenoso de coloración marrón claro con una delgada capa orgánica que se manifiesta a lo largo del tramo crítico.

### **Aspectos de geodinámica externa**

El tramo crítico presenta huella de deslizamiento al momento de realizar esta tesis, puede incrementar su actividad a raíz de una intensa lluvia (noviembre - abril), el cual puede realizar la apertura de fracturas o agrietamientos.

Se han diferenciado rocas metamórficas del Complejo Marañón, que están formadas por esquistos y lutitas de colores marrones a grises; el substrato rocoso se encuentra muy meteorizado, es de calidad geotécnica mala, susceptible a los movimientos en masa.

Donde se sitúa el tramo crítico formado por secuencias de conglomerados y areniscas semiconsolidadas en matriz limo arcillosa, se encuentran en depresiones topográficas en la parte central del tramo crítico. Se consideran suelos no consolidados, saturados, de calidad geotecnia mala, susceptibles a movimientos en masa.

### **Aspectos de geodinámica interna**

Según los estudios realizados por el Ing Jorge Alva Hurtado en el año 1984 y que son vigentes en la norma E-50 del Reglamento Nacional de Edificaciones. Según estos estudios el distrito de Puños se ubica en la zona 3, factor de zona  $Z_g$  igual a 0.35 de aceleración máxima, lo que indica que la ocurrencia de sismos en la escala de Mercalli modificada podría

producirse hasta un grado VII, correspondiente a la categoría de sismos Altos.

El mapa de zonificación Sísmica del Perú el que se basa en isosistas de sismos peruanos y datos de intensidades puntuales de sismos históricos y sismos recientes, se concluye que el área de influencia del estudio camino vecinal Emp. PE. R14 (Poque) – Emp. R25 (Puños); se ubica en la zona sísmica 3.

✓ **Parámetros de diseños sísmicos**

ZONA SÍSMICA	COEFICIENTE DE ACELERACIÓN	PERFIL DE SUELO	COEFICIENTE DE SITIO
3	0,35 g	Tipo II	1,4

ELABORADO: TESISISTA

De acuerdo a los resultados obtenidos el peligro sísmico, indica que el mayor nivel de demanda sísmica es generado por la actividad sísmica de subducción de interplaca cuyo coeficiente de aceleración máxima es de 0,35 g. para suelos existentes, que corresponde a un periodo de retorno de 475 años asociados a un 10 % de probabilidad de excedencia en 50 años de periodo de exposición.

❖ **Geotecnia:**

Se usa el método del corte directo para determinar las propiedades geotécnicas del talud, obteniendo el siguiente resultado:

PROGRESIVA	CLASIFICACIÓN	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
5+200	GM	18.848	0	34.00
5+215	GM	18.593	0	33.00
5+230	GM	18.603	0	32.00

Fuente: TESISISTA

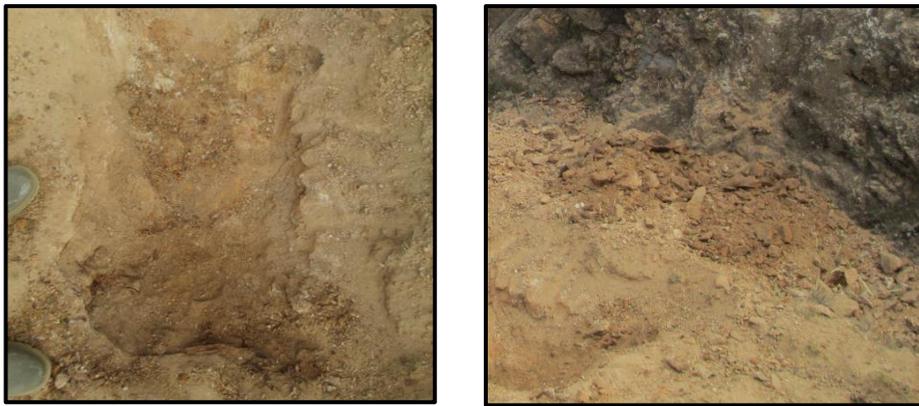
Además, se obtiene el perfil estratigráfico a partir de las calicatas realizadas, como se muestra:

✓ **Calicata y recojo de muestra: Km 5+200**



Fuente: Tesista

✓ **Calicata y recojo de muestra: Km 5+215**



Fuente: Tesista

✓ **Calicata y recojo de muestra: Km 5+230**



Fuente: Tesista

## ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD:

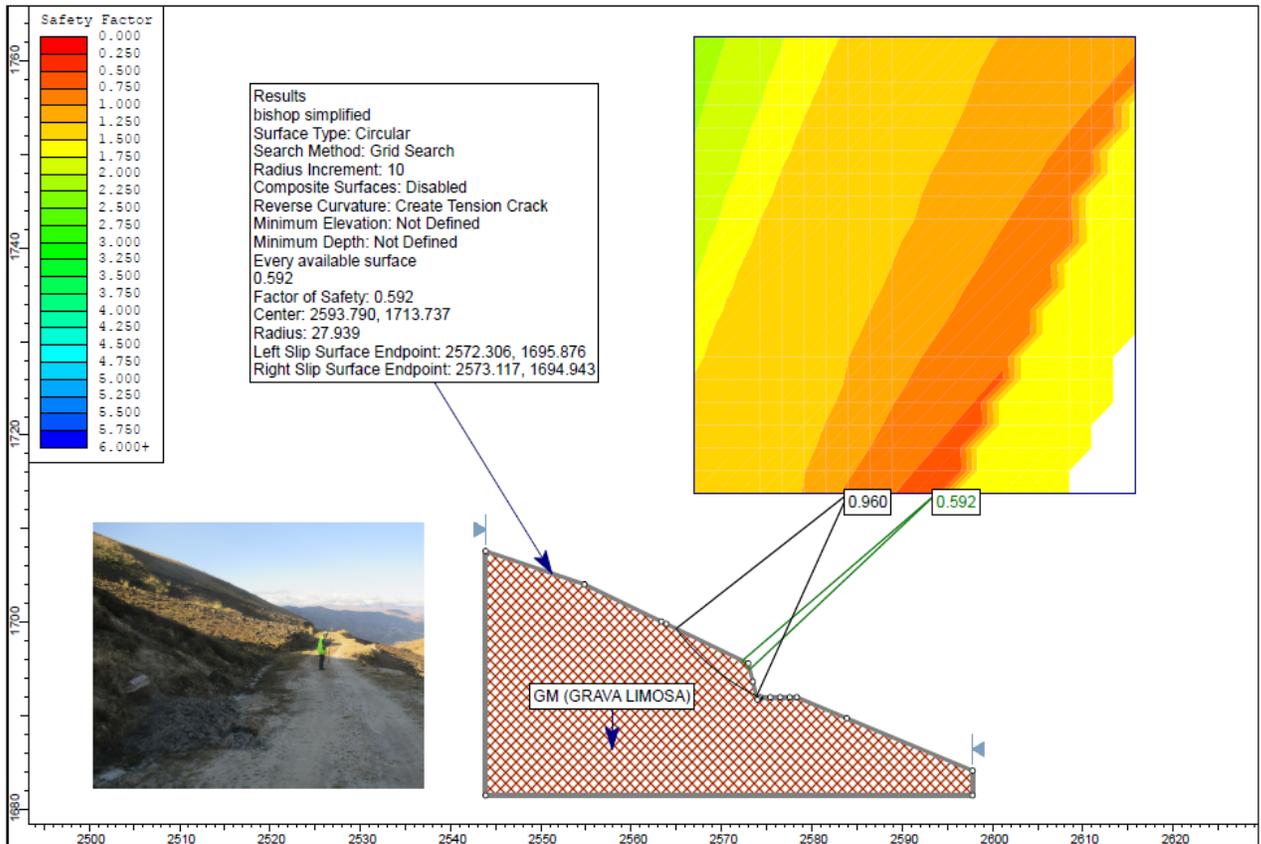
Usando el software SLIDE V6.0, se analiza el tramo crítico del km. 5+200 a Km. 5+220, de manera que se corrobore el nivel alto de vulnerabilidad a riesgos naturales.

### Modelamiento y resultado

#### Punto de análisis Km 5+200

##### 1. Análisis estático del terreno

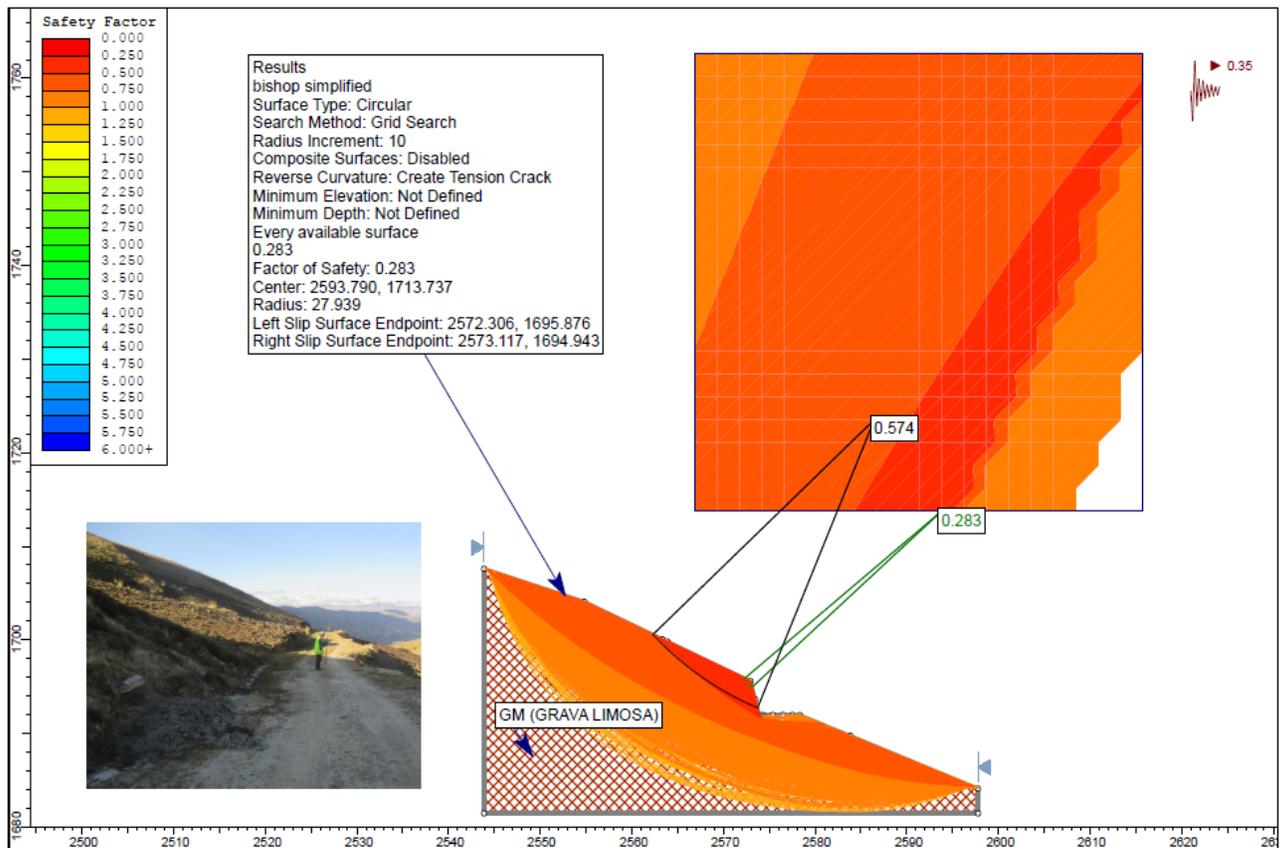
Análisis de estabilidad del talud, teniendo la relación H:V de 1:4 encontrado en campo al respecto del hombro de talud, en condición estática, en el Km. 5+200; obteniéndose un FS=0.960 y un factor crítico de FS=0.592. Haciendo que exista una vulnerabilidad MUY ALTO de riesgos naturales a deslizamiento de masas, como ya se mostró en el análisis de peligrosidad, deslizando un volumen de 175.65m<sup>3</sup>.



Elaboración: Tesista

## 2. Análisis Pseudoestático del terreno

Análisis de estabilidad del talud, teniendo la relación H:V de 1:4 encontrado en campo al respecto del hombro de talud y coeficiente sísmico de 0.35, en condición Pseudoestático, en el Km. 5+200, obteniéndose un  $FS=0.574$  y un factor crítico de  $FS=0.283$ . Haciendo que exista un peligro MUY ALTO, como ya se mostró en el análisis de peligrosidad, deslizando un volumen de  $175.65m^3$ .



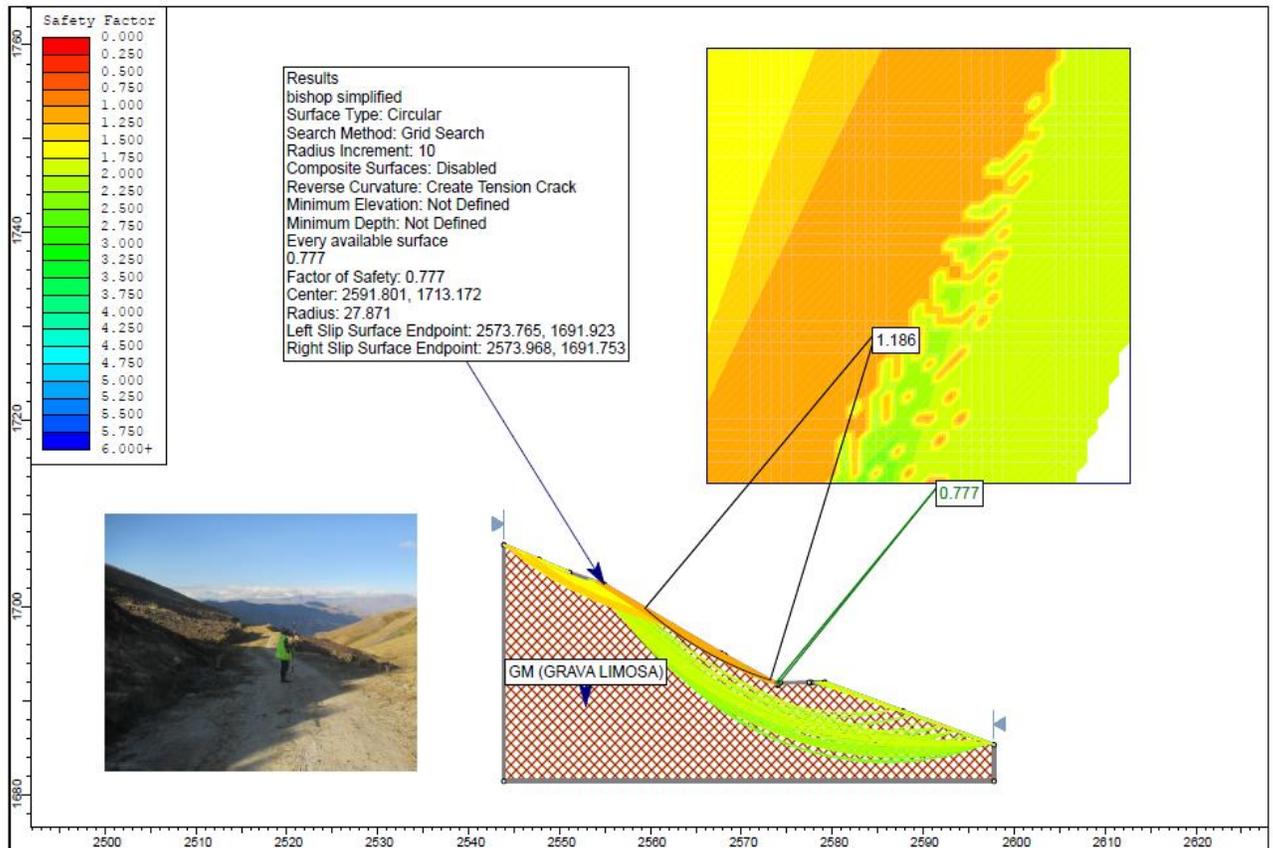
Elaboración: Tesista

### Punto de análisis Km 5+215

#### 1. Análisis estático del terreno

Análisis de estabilidad del talud, teniendo la relación H:V de 1:1 encontrado en campo al respecto del hombro de talud, en condición estática, en el Km. 5+215; obteniéndose un  $FS=1.186$  y un factor crítico de

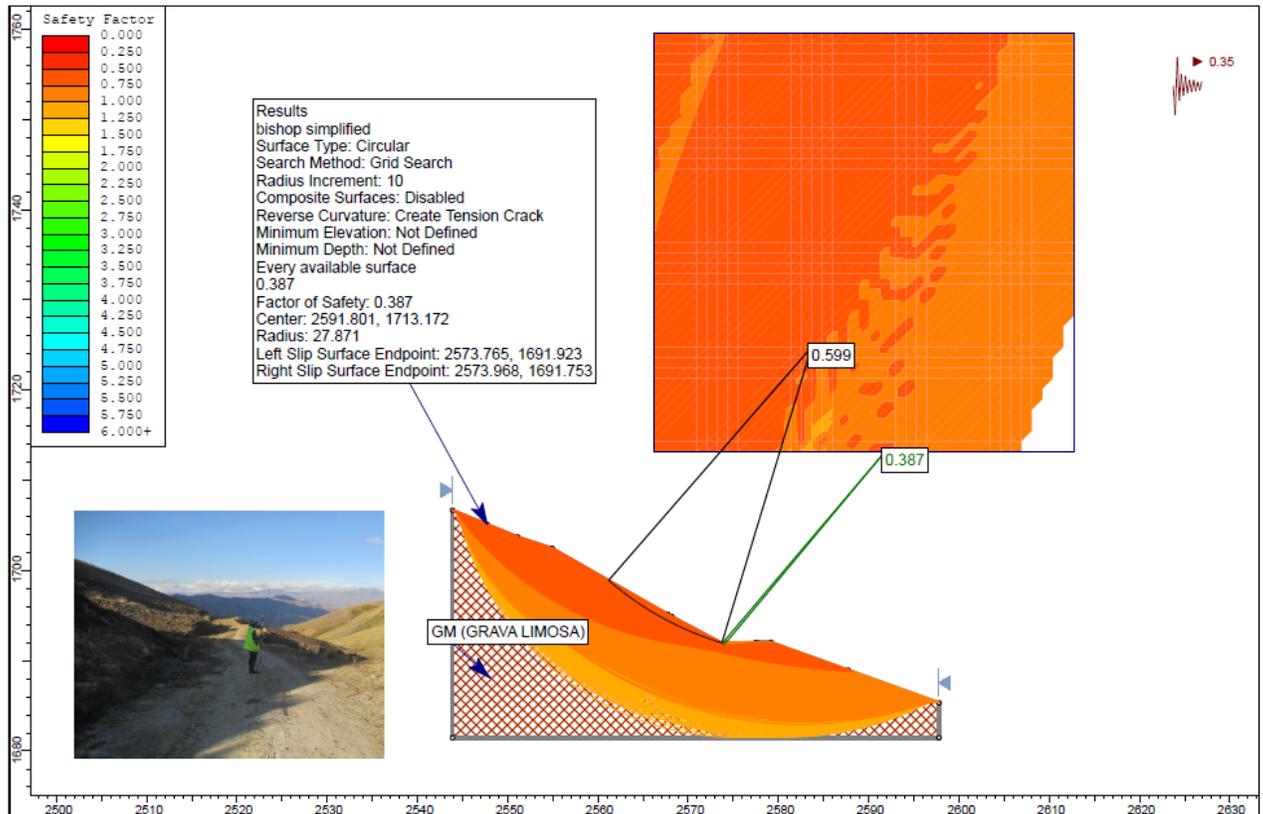
FS=0.777. Haciendo que exista una vulnerabilidad BAJA de riesgos naturales a deslizamiento de masas, debido a que es una pequeña quebrada.



Elaboración: Tesista

## 2. Análisis Pseudoestático del terreno

Análisis de estabilidad del talud, teniendo la relación H:V de 1:1 encontrado en campo al respecto del hombro de talud y coeficiente sísmico de 0.35, en condición Pseudoestático, en el Km. 5+200, obteniéndose un FS=0.599 y un factor crítico de FS=0.387. Haciendo que exista un peligro MUY ALTO, como ya se mostró en el análisis de peligrosidad, deslizando un volumen de 135.65m<sup>3</sup>.

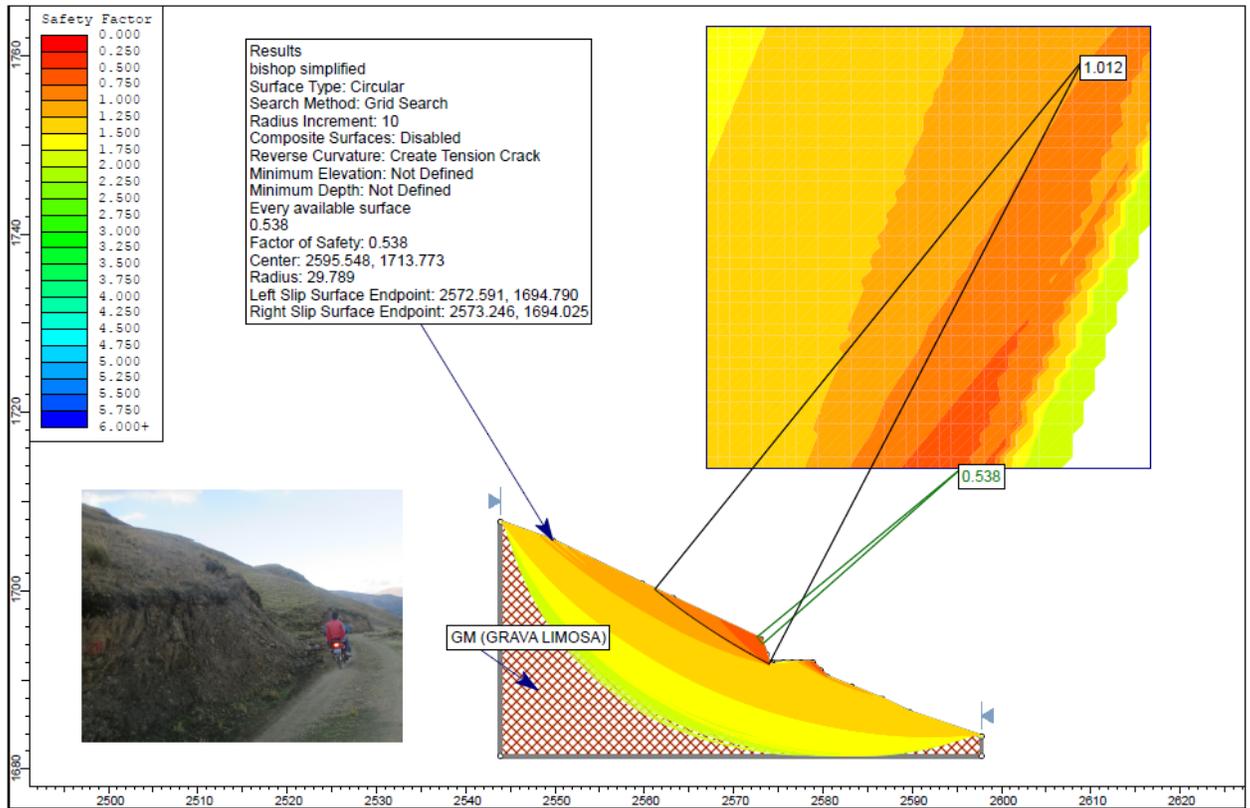


Elaboración: Tesista

## Punto de análisis Km 5+230

### 1. Análisis estático del terreno

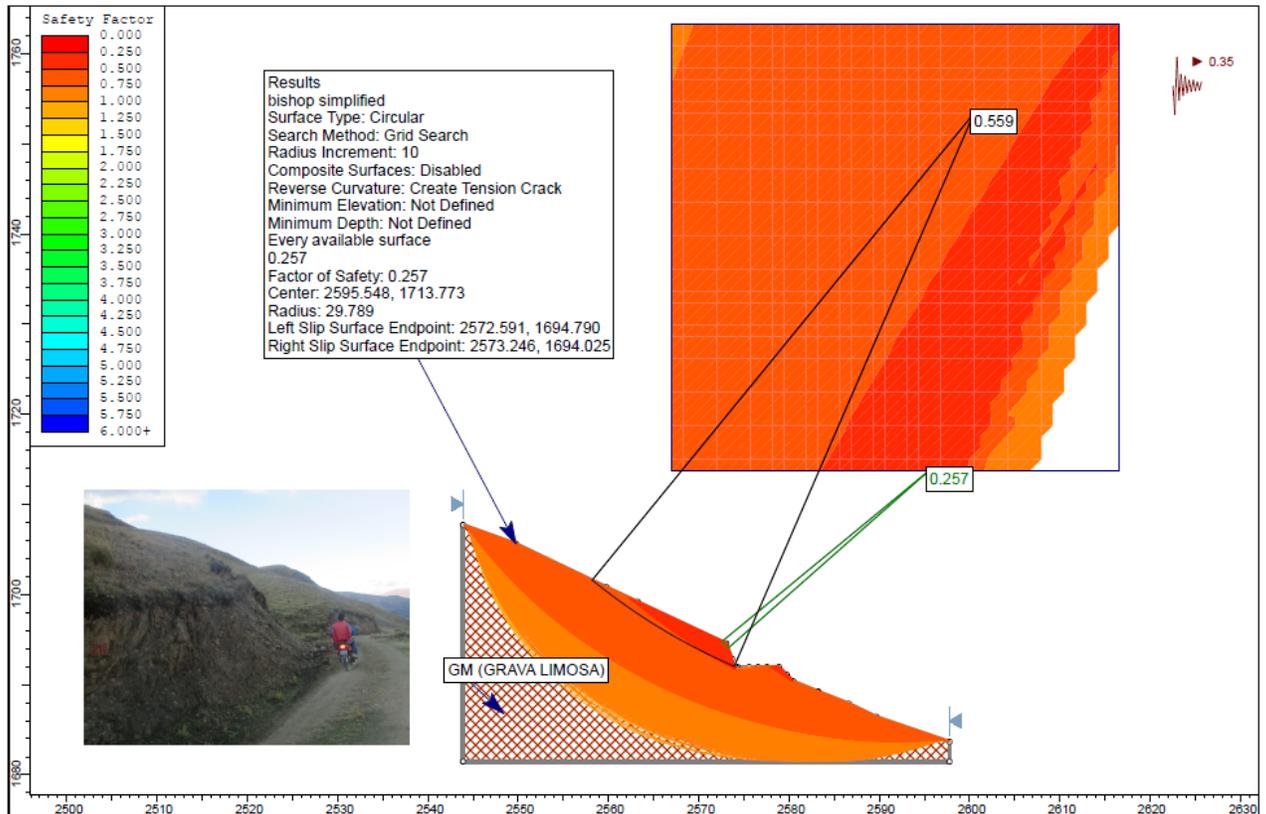
Análisis de estabilidad del talud, teniendo la relación H:V de 1:3 encontrado en campo al respecto del hombro de talud, en condición estática, en el Km. 5+215; obteniéndose un FS=1.012 y un factor crítico de FS=0.538. Haciendo que exista una vulnerabilidad ALTA de riesgos naturales a deslizamiento de masas, deslizando un volumen de 155.65m<sup>3</sup>.



Elaboración: Tesista

## 2. Análisis Pseudoestático del terreno

Análisis de estabilidad del talud, teniendo la relación H:V de 1:3 encontrado en campo al respecto del hombro de talud y coeficiente sísmico de 0.35, en condición Pseudoestático, en el Km. 5+200, obteniéndose un FS=0.599 y un factor crítico de FS=0.257. Haciendo que exista un peligro MUY ALTO, como ya se mostró en el análisis de peligrosidad, deslizando un volumen de 155.65m<sup>3</sup>.



Elaboración: Tesista

**Comentario N°2:** El muro de contención mejor que se acomoda al tramo crítico identificado es de Gaviones por ser económico y flexible en el tipo de protección a la carretera

**Muros de Gaviones:**

Son paralelepípedos rectangulares contruidos a base de un tejido de alambre de acero, el cual lleva tratamientos especiales de protección como la galvanización y la plastificación. Se colocan a pie de obra desarmados y luego de piedra de canto rodado o piedra chancada con determinado tamaño y peso específico, este material permite emplear sistemas constructivos sencillos, flexibles, versátiles, económicos y que puedan integrarse extremadamente valida desde el punto de vista técnico para construir muros de contención en cualquier ambiente, clima y estación. Tales estructuras son eficientes, no necesitando mano de obra especializada o medio

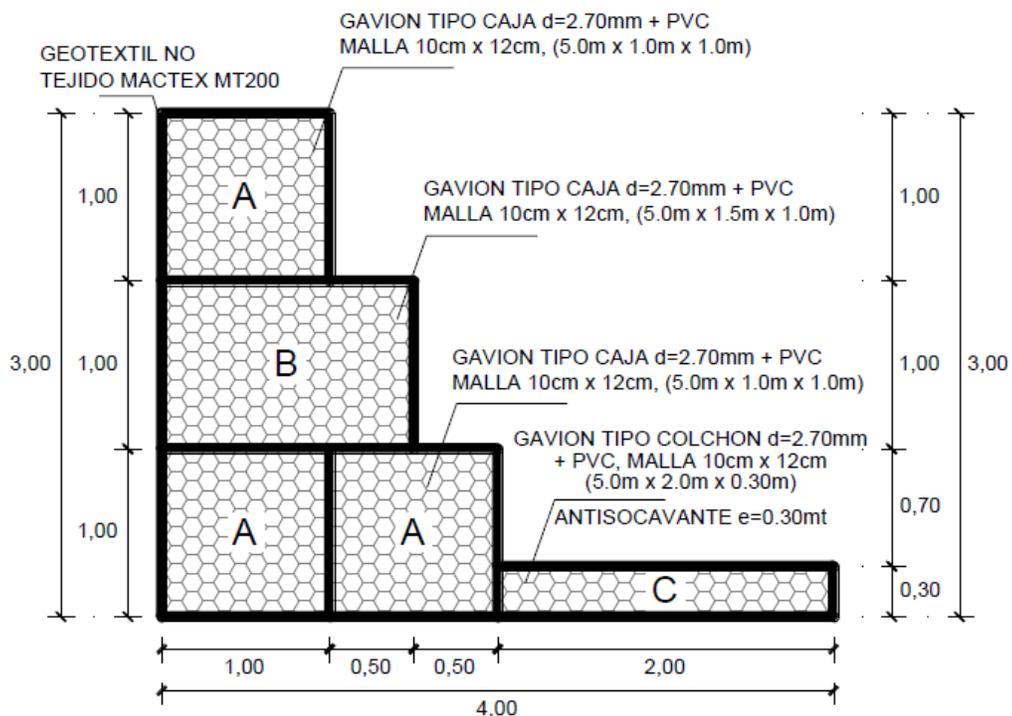
mecánicos particulares, a menudo las piedras para el relleno se encuentran en las cercanías. Tiene la ventaja de tolerar grandes deformaciones sin perder resistencia. Los muros de Gaviones están diseñados para mantener una diferencia en los niveles de suelo en su lado constituyendo un grupo importante de elementos de soporte y protección cuando se localiza en las quebradas

### Conservación de Suelos:

La erosión hídrica acelerada es considerada sumamente perjudicial para los suelos, pues debido a este fenómeno, grandes superficies de suelos fértiles se pierden; ya que el material sólido que se desprende en las partes media y alta de la quebrada provoca el azolvamiento de la infraestructura hidráulica, eléctrica, agrícola y de comunicaciones que existe en la parte baja.

**Gavión Tipo Caja:** Son paralelepípedos regulares de dimensiones variadas, pero con altura de 1.0 m a 0.50 m; conformados por una malla metálica tejida a doble torsión para ser rellenos en obra con piedra de dureza y peso apropiado.

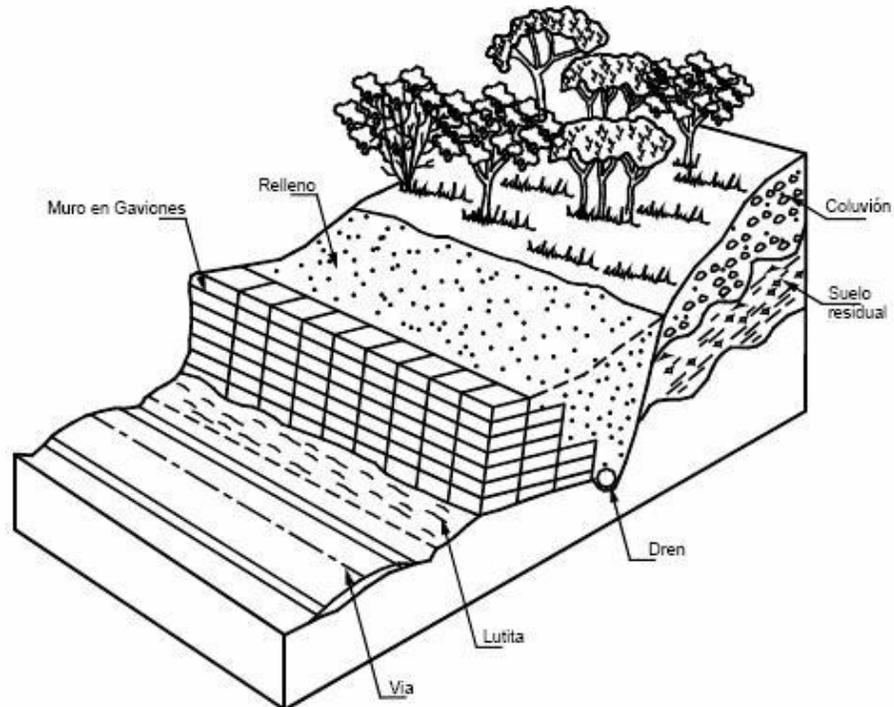
Gráfico N° 14: Muro con gaviones proyectado.



**Metodología de construcción:** Se debe construir después de extraer el ancho suficiente de encaje, haciendo rellenos con compactación por capas de 30 cm hasta conseguir un talud con relación H:V de 1:2. Posteriormente se pasara a la reforestación de la misma para mayor estabilidad.



Fuente: <http://www.insostal.com/wp-content/uploads/2014/05/insostal.pdf>



Fuente: Protección y estabilización de taludes para evitar deslizamientos – josept robert anyelo jhon soto (tesis – chile 2011)

## CONCLUSIONES

- La carretera Poque – Puños está expuesta a peligros naturales de la Geodinámica Externa, el peligro identificado es Movimiento en Masa que afecta el 80% de la carretera, con una PELIGROSIDAD DE NIVEL ALTO (ver mapa N°7), que se determinó con la metodología de CENEPRED, cálculo de matrices Saaty y con estudios de ingeniería del factor de evaluación: El Fenómeno El Niño, Factor Desencadenante: Precipitación y Factor Condicionante: Pendiente, Geomorfología y Geología.
- La infraestructura de la carretera se encuentra en expuesta por deslizamiento de masas, que perjudica el libre traslado entre el distrito Puños y su centro poblado Poque.
- Se identifica un tramo crítico con peligrosidad de nivel muy alto, que no cuenta con ningún plan de continuidad operativa, plan de emergencia para que la carretera pueda estar operativa, ni tampoco ningún proyecto de mejoramiento de la infraestructura por parte de la municipalidad, con ello se ve que la resiliencia es bajo donde perjudica a la vulnerabilidad de la carretera.
- Para mejorar la transitabilidad de la carretera se propone diseñar un pavimento flexible para tener más resiliencia, para ello se diseñó con la metodología del MTC con pavimento integral que consiste de desquinche de material suelto, estabilizar taludes, mejorar el trazo de carretera y el diseño: carpeta asfáltica de 2 pulgadas, una base de 6 pulgadas y una subbase de 4 pulgadas.
- Para mitigar la vulnerabilidad a los peligros naturales en el tramo crítico identificado por estudios geológicos, se propone colocar muros de gaviones paralelepípedos regulares de dimensiones variadas, pero con altura de 1.0 m a 0.50 m; conformados por una malla metálica tejida a doble torsión, ya que los muros de gaviones trabajan mejor en dichas condiciones, más económico y de rápido mantenimiento (ver gráfico N°14).

## SUGERENCIAS

- En cualquier proyecto de carretera se tiene que incorporar la gestión de riesgo de desastre para poder tomar las decisiones en el trazo de la misma, también nos ayudara en reducir costos y tener en cuenta que otras obras de arte se pueda implementar en la infraestructura. Con ello la carretera se hace sostenible y mantendrá su continuidad operativa sin perjudicar la actividad económica y sus medios de vida.
- En la municipalidad se tiene que implementar planes de contingencia, planes de continuidad operativa, planes de emergencia y plan de mantenimiento de la carretera. Para que pueda mejorar su resiliencia, reducir la vulnerabilidad y mejorar su transitabilidad.
- Reforestar los taludes con plantas nativas con raíces profundas para poder estabilizar o reducir el riesgo a deslizamiento de los materiales sueltos que se encuentra en la carretera.
- Para evitar la infiltración de agua al subsuelo perjudicando los taludes, es necesario construir un canal de coronación y/o canalizar los puquiales, y así evitar deslizamiento o derrumbes ocasionados por la misma.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, V. & Mendoza, D. (2002). Aproximación a un modelo de susceptibilidad a movimientos en masa en el eje cafetero, Colombia Tesis Ing. Civil Univ. Del Valle, Fac. Ingeniería, Cali, 214 p.
- Ayala, C. F. (2002) Una reflexión sobre los mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera, s naturaleza, funciones, problemáticas y límites. En F. J. Ayala-Carcedo y J Corominas, (eds). Mapas de Susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y Aplicaciones en España. Instituto Geológico Minero de España 7-20.
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH – Programa Desarrollo Rural Sostenible. (2011). Desarrollo rural reduciendo el riesgo en contextos de cambio climático. Sistematización de experiencias del programa de desarrollo Rural Sostenible (PDRS-GIZ) en el Perú. Lima: GIZ.
- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. (2005). Desarrollo Sostenible. Modelo de orientación de la GTZ. Eschborn: GTZ.
- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. (2002). Gestión del Riesgo. Concepto de trabajo. Eschborn: GTZ
- Elmes, M. (2006). *Análisis y Evaluación de Riesgos por Movimientos en Masa, Inundación y Sismicidad en el Piedmont de la comuna de Puente Alto*. (Tesis de Pregrado). Universidad de Chile.
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD) de las Naciones Unidas. (2009b). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Ginebra: EIRD-ONU.
- Flores, E. (2018). *Análisis de Riesgos de Desastres y Políticas de Mantenimiento en la carretera de Huaraz a Tingo María*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Jose Faustino Sánchez Carrión – Perú.
- Frias, J. (2013). *Planteamiento de Lineamientos Geotécnicos Útiles con Miras a la Adaptación Frente al Cambio Climático de la Red Vial Carretera Primaria Colombiana*. (Tesis de Posgrado). Universidad Nacional de Colombia - Colombia.

- Herrera, R. (2014). *Gestión de riesgos en proyectos de construcción en el área de infraestructura vial en sitios remotos del norte de Santander*. (Tesis de Pregrado). Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia.
- Ley 29664, Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) y su Reglamento DS N° 048-2011-PCM - RM N° 334-2012-PCM – Lineamientos técnicos del proceso de estimación del riesgo de desastres.*
- Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión. Publicado por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). Dirección de Gestión de Procesos (DGP) Subdirección de Normas y Lineamientos (SNL). CENEPRED, 2014
- Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), Dirección General de Programación Multianual, (DGPM). (2006). Conceptos asociados a la gestión del riesgo de desastres en la planificación e inversión para el desarrollo. Serie Sistema Nacional de Inversión Pública y la Gestión del Riesgo de Desastres. Lima: DGPM, MEF
- Mora, S & VARHSON, W. G (1993). Determinación a priori de amenazas de deslizamiento utilizando indicadores morfodinámicos, Rev. Tecnología ICE, 3(1): 32-42.
- Palma, J. (2012). *Análisis de Riesgo y Vulnerabilidad en Proyectos de Carreteras*. (Tesis de Pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Rosales, U & Centeno, Y. (2009). *Vulnerabilidad potencial de los suelos a deslizamientos de tierra en el Municipio de La Conquista, Carazo*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Agraria – Nicaragua
- Sosa, N (2016). *Análisis de Susceptibilidad a los peligros Geológicos por Movimiento en Masa – Poblados de Pampamarca y Acobamba, Región Huánuco*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano – Perú.
- Varnes, D. (1978). “Slope movements, types and processes”, Landslides: Analysis and control, transportation research board, Spec. Rep. 176, National Academy of Science, Washington. pp. 11-33.
- Villacorta C. S. (2007). Estudio de Riesgos Geológicos de la Cuenca del Río Mala Tesis de Ingeniero Geólogo Universidad Nacional Mayor de San Marcos.