

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROPUESTA DE GUÍA DE INTERVENCIÓN ANTE  
DESLIZAMIENTOS PARA ASEGURAR LA TRANSITABILIDAD  
EN CARRETERAS VECINALES**

**TESIS  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. POLO SARMIENTO, BRUNO ROLDÁN  
Bach. POLO SARMIENTO, LUIS RODRIGO**

**ASESOR: Mg. Ing. ARÉVALO LAY, VÍCTOR ELEUTERIO**

**LIMA - PERÚ**

**2020**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres, hermanos, y compañeros, quienes me brindaron apoyo, y compartieron experiencias y conocimientos a lo largo de mi carrera universitaria.

Bruno Polo Sarmiento

Esta tesis está dedicada a todos mis seres amados; quienes en conjunto, han sido el soporte perfecto para nunca decaer y siempre mantenerme firme en cada etapa del proceso del desarrollo de esta tesis.

Luis Polo Sarmiento

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a la Universidad Ricardo Palma por brindarnos conocimientos y la oportunidad de ser profesionales de esta gran carrera, además de algunos docentes y familiares que nos apoyaron en todo momento en el desarrollo de la tesis.

Bruno Polo y Luis Polo

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos. ....	2
1.1.1 Problema general .....	12
1.1.2 Problemas específicos.....	12
1.2 Objetivo general y específico.....	12
1.2.1 Objetivo General.....	12
1.2.2 Objetivos Específico .....	12
1.3 Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática.....	13
1.3.1 Delimitación Espacial .....	13
1.3.2 Delimitación Poblacional.....	13
1.3.3 Delimitación Temporal .....	13
1.4 Justificación e importancia .....	13
1.4.1 Importancia .....	13
1.4.2 Justificación .....	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	15
2.1 Antecedentes del estudio de investigación .....	15
2.2 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio .....	17
2.2.1 Investigaciones Nacionales.....	17
2.2.2 Investigaciones Internacionales .....	20
2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio .....	23
2.3.1 Carreteras vecinales .....	23
2.3.2 Deslizamientos (Movimientos en masa).....	32
2.3.3 Factores que intervienen en los Deslizamientos .....	47

2.3.4 Riesgo de deslizamientos.....	54
2.3.5 Medidas de mitigación del riesgo de deslizamientos.....	77
2.4 Definición de términos básicos.....	115
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....	116
3.1 Hipótesis .....	116
3.1.1 Hipótesis principal .....	116
3.1.2 Hipótesis secundarias.....	116
3.2 Variables .....	116
3.2.1 Definición conceptual de las variables .....	116
3.2.2 Operacionalización de las variables.....	117
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	118
4.1 Tipo y nivel.....	118
4.2 Diseño de investigación.....	118
4.3 Población y muestra.....	118
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	118
4.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos .....	118
4.4.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.....	118
4.4.3 Procedimientos para la recolección de datos .....	119
4.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	119
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	120
5.1 Diagnóstico y situación actual .....	120
5.1.1 Ubicación y área de estudio.....	121
5.2 PROPUESTA DE MODELO DEL INSTITUTO MEXICANO DE TRANSPORTE.....	126
5.2.1 Evaluación mediante el IGEcc.....	126
5.2.2 Expedientes.....	136

5.2.3 Determinación de política de gestión.....	144
5.3 APLICACIÓN DEL MODELO .....	146
5.3.1 Rehabilitación y mejoramiento de camino vecinal Pacobamba-Huironay- Ccerabamba- Abra Cuzqueña. Apurímac (AP-525).....	146
5.3.2 Mejoramiento y Rehabilitación del camino vecinal tramo Nogalpampa - Cotarma - Piscaya, Distrito Pichirhua (AP-654 y AP-655).....	161
5.3.3 Mejoramiento de la carretera Ilabaya – Cambaya, Tacna (TA-563) .....	167
5.3.4 Informe técnico de evaluación por deslizamiento en la carretera Chilete - San Pablo - CC.PP. Kuntur Wasi, Provincia San Pablo – Cajamarca (CA-103).....	172
5.3.5 Evaluación del deslizamiento del Km 38+700 de la carretera Cuñumbuque - Zapatero - San José de Sisa, San Martín (SM-102).....	174
5.3.6 Rehabilitación del camino vecinal tramo San Fernando – Trapiche – Arcay – Alpamarca– Distrito de Parcoy, Pataz, La Libertad. (LI-862).....	176
5.4 Presentación de Resultados.....	196
5.5 Análisis de resultados .....	202
5.6 Contrastación de Hipótesis .....	214
CONCLUSIONES .....	217
RECOMENDACIONES.....	218
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	219
ANEXOS .....	227

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Longitud de la red vial. ....	2
Tabla N° 2: Deslizamientos, Derrumbes y Reptación de suelos en el Perú. ....	3
Tabla N° 3: Daños en transportes y comunicaciones por Niño Costero Perú 2017. ....	4
Tabla N° 4: Incidencia de personas ante deslizamientos por año en el Perú.....	11
Tabla N° 5: Longitud de la Red Vial del Perú, según superficie de rodadura (km). ....	24
Tabla N° 6: Factores que intervienen en deslizamientos según autor. ....	48
Tabla N° 7: Matriz de Peligro y Vulnerabilidad.....	60
Tabla N° 8: Puntuaciones para Indicador General de Estabilidad (IGE). ....	60
Tabla N° 9: Puntuaciones para cada factor que interviene en los deslizamientos.....	61
Tabla N° 10: Riesgo del corte considerando Mantenimiento/Limpieza.....	63
Tabla N° 11: Rangos de puntuaciones IGE .....	76
Tabla N° 12: Sistemas de protección (modificada de Gray y Sotir, 1992).....	95
Tabla N° 13: Árboles de uso para cercas vivas y estabilización. (CDBM 1989). ....	96
Tabla N° 14: Diseño de gaviones. ....	108
Tabla N° 15: Diseño gaviones. ....	108
Tabla N° 16: Operación de la variable dependiente. ....	117
Tabla N° 17: Operación de la variable independiente. ....	117
Tabla N° 18: Riesgo del corte considerando Mantenimiento/Limpieza.....	127
Tabla N° 19: Acceso a zona del proyecto.....	137
Tabla N° 20: Vías de acceso carretera Chilote - San Pablo, Cajamarca. ....	141
Tabla N° 21: Coordenadas de ubicación de la zona evaluada .....	141
Tabla N° 22: Ruta de acceso a la zona de evaluación. ....	142
Tabla N° 23: Rangos de puntuaciones IGEcc.....	146
Tabla N° 24: Influencia del factor clima en Deslizamientos.....	198
Tabla N° 25: Casos en los que influye el Clima en el nivel de riesgo.....	199
Tabla N° 26: Casos de factor infiltración mitigado con zanjas de coronación.....	200
Tabla N° 27: Factor Formación de surcos, mitigado con rastrillado y trinchos. ....	201
Tabla N° 28: Resumen de puntaje por factor para nivel de riesgo. ....	202
Tabla N° 29: Resumen de puntaje por factor para nivel de riesgo. ....	203
Tabla N° 30: Resumen de puntaje por factor para nivel de riesgo. ....	204
Tabla N° 31: Resumen de puntaje por factor de caso con menor nivel de riesgo. ....	204
Tabla N° 32: Factores de Características del talud vs. deslizamientos.....	206

Tabla N° 33: Factores de Clima y Geología vs. deslizamiento. ....	207
Tabla N° 34: Deslizamientos traslacionales en los casos evaluados y sus factores. ....	209
Tabla N° 35: Deslizamientos rotacionales en los casos evaluados y sus factores. ....	210
Tabla N° 36: Casos con Nivel de Riesgo Alto y sus factores. ....	211
Tabla N° 37: Factores de Características del talud y sus soluciones. ....	212
Tabla N° 38: Factores de Clima y Geología con sus soluciones. ....	213
Tabla N° 39: Hoja de cálculo de análisis de nivel de riesgo a los 40 casos evaluados.	227
Tabla N° 40: Hoja de cálculo de Características del talud, en los 40 casos evaluados. .	228
Tabla N° 41: Hoja de cálculo de Clima y Geología, en los 40 casos evaluados. ....	229
Tabla N° 42: Nivel de riesgo y mitigación de cada caso evaluado. ....	230

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Deslizamiento interrumpe vía por más de 15 días en Carretera Central. ....	3
Figura N° 2: Congestión vehicular en la Carretera Central por deslizamientos (2017). ..	4
Figura N° 3: El Niño y la Niña en la historia, grandes eventos y su impacto probable. ..	5
Figura N° 4: Hidráulica Inca.....	6
Figura N° 5: Muro de contención en andenes incas en Sector Alto de Choquequirao.....	6
Figura N° 6: Qolqas protegidos por andenes construidas sobre muros de contención.....	7
Figura N° 7: Conjunto de andenes que estabiliza el deslizamiento en Choquequirao. ....	7
Figura N° 8: Andenes del Chaqraanden con drenaje de grandes dimensiones.....	8
Figura N° 9: Tránsito interrumpido por deslizamientos en Pisco (2017). .....	8
Figura N° 10: Derrumbes mantienen bloqueadas 8 carreteras en el país (2019).....	9
Figura N° 11: Deslizamiento en carretera de territorio peruano (2019). .....	10
Figura N° 12: Total de incidencias fenomenológicas por mes y año en el Perú. ....	11
Figura N° 13: Deslizamiento de rocas en carretera Juliaca-Paucartambo (2017). ....	16
Figura N° 14: Elementos de un camino. ....	24
Figura N° 15: 1.Talud inferior, 2.Talud superior, 3.Vía, 4.Ondulaciones, 5. Enrocado.	27
Figura N° 16: Deslizamiento en carretera de bajo volumen en Huarney. ....	29
Figura N° 17: Condición de la vía sin mantenimiento. ....	30
Figura N° 18: Carretera vecinal. ....	32
Figura N° 19: Deslizamiento de talud. ....	33
Figura N° 20: Ladera Natural. ....	34
Figura N° 21: Partes de un deslizamiento.....	35
Figura N° 22: Movimientos en masa en el Perú en los últimos 10 años. ....	37
Figura N° 23: Caídos en un proceso de erosión.....	38
Figura N° 24: Los derrumbes ocurren con frecuencia en carreteras.....	39
Figura N° 25: Volcamiento.....	39
Figura N° 26: Deslizamiento en camino vecinal en Chinchao y Pillao (2019). ....	40
Figura N° 27: Movimiento de Rotación. ....	41
Figura N° 28: Deslizamiento Traslacional.....	42
Figura N° 29: Caída de huaico en Aplao, Arequipa (2019).....	43
Figura N° 30: Esquema de circulación del agua en una ladera. ....	43
Figura N° 31: Bloqueo en carretera vecinal por flujo en Huánuco (2019).....	44
Figura N° 32: Deslizamiento en carretera vecinal en Pozuzo, Oxapampa (2015). ....	44

Figura N° 33: Reptación de suelos en Sihuas, Ancash. (2014). .....	45
Figura N° 34: Esquema de un bloque en una pendiente. ....	51
Figura N° 35: Niveles de riesgo.....	59
Figura N° 36: Medición de la altura con clinómetro. ....	62
Figura N° 37: Puntuación para caídos de roca según ángulo del talud.....	64
Figura N° 38: Sección típica de una vía en corte de talud. ....	65
Figura N° 39: Forma de caer de las rocas. ....	65
Figura N° 40: Criterio de Whiteside (1986) para el diseño de área de captación.....	66
Figura N° 41: Dimensionamiento de área de captación. ....	66
Figura N° 42: Puntuaciones Dimensiones en campo VS Dimensiones ideales.....	67
Figura N° 43: Efecto de la vegetación en un talud. ....	67
Figura N° 44: Presentación de discontinuidades en un macizo rocoso. ....	71
Figura N° 45: Perfiles de rugosidad.....	73
Figura N° 46: Perfiles de meteorización.....	74
Figura N° 47: Perfil teórico del suelo. ....	75
Figura N° 48: Soluciones a deslizamientos en carreteras vecinales. ....	80
Figura N° 49: Talud en carretera vecinal.....	81
Figura N° 50: Trincheras para el control de deslizamientos, o flujos.....	82
Figura N° 51: Mallas con postes flexibles, que permite detener rocas.....	83
Figura N° 52: Control de rocas con mallas ancladas. ....	83
Figura N° 53: Muro alcancía. ....	84
Figura N° 54: Muro “Alcancía” para protección contra caídos.....	84
Figura N° 55: Muro alcancía de tierra armada con geotextiles. ....	85
Figura N° 56: Cubierta de protección contra deslizamientos. ....	85
Figura N° 57: Estructuras de detención (diques) de roca. ....	86
Figura N° 58: Vista lateral de la estructura de detención. ....	86
Figura N° 59: Vista frontal de la estructura de detención.....	87
Figura N° 60: Detalles de separación entre estructuras de control quebradas.....	87
Figura N° 61: Detalles de separación entre estructuras de control quebradas.....	87
Figura N° 62: Estructuras de estabilización de quebradas.....	88
Figura N° 63: Geotextil como respaldo de un contrafuerte de talud. ....	90
Figura N° 64: Uso de pasto Vetiver para estabilizar el talud y control de erosión.....	92
Figura N° 65: Hileras de pasto para estabilización y control de erosión. ....	92

Figura N° 66: Arbustos siguiendo el contorno para estabilización de taludes. ....	93
Figura N° 67: Capas de maleza para estabilización de quebradas y deslizamientos.....	93
Figura N° 68: Muros de retención vivos con rocas o gaviones y vegetación.....	94
Figura N° 69: Detalle de zanjas de coronación.....	98
Figura N° 70: Abaco para el diseño rápido de canales de drenaje en taludes. ....	98
Figura N° 71: Dimensiones estándar para zanjas revestidas con piedra.....	99
Figura N° 72: Subdren de pantalla con enrocado. ....	100
Figura N° 73: Subdren de pantalla con relleno.....	100
Figura N° 74: Subdren de pantalla con muro de gaviones. ....	101
Figura N° 75: Contrapeso para estabilización de un deslizamiento activo.....	102
Figura N° 76: Contrapeso de contrafuerte de roca permeable.....	103
Figura N° 77: Muro de roca. ....	103
Figura N° 78: Configuración para muro alto de roca. ....	104
Figura N° 79: Configuración para muro bajo de roca. ....	104
Figura N° 80: Ladrillo o mampostería. ....	105
Figura N° 81: Contrafuerte. ....	105
Figura N° 82: Métodos de estabilización en taludes.....	106
Figura N° 83: Estructuras de gaviones de baja altura. ....	107
Figura N° 84: Fachada plana. ....	107
Figura N° 85: Fachada escalonada.....	108
Figura N° 86: Proceso constructivo de muro de gaviones.....	109
Figura N° 87: Vista frontal de apilado de llantas de forma piramidal.....	110
Figura N° 88: Vista seccional de apilado de llantas. ....	110
Figura N° 89: Nudo para el amarre de neumáticos con polipropileno. ....	111
Figura N° 90: Ganchos metálicos para amarre de neumáticos. ....	111
Figura N° 91: Colocación de rocas dentro de las llantas. ....	112
Figura N° 92: Compactación manual de rocas del suelo-cemento. ....	112
Figura N° 93: Talud estabilizado con muro de llantas.....	113
Figura N° 94: Anclaje de barras de acero. ....	113
Figura N° 95: Caída de rocas en la vía Cusco-Paucartambo. ....	120
Figura N° 96: Mapa de inventario de peligros geológicos del Perú. ....	122
Figura N° 97: Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Perú. ....	123
Figura N° 98: Mapa de peligros del Perú. ....	125

Figura N° 99: Puntuación para caídos de roca según ángulo del talud.....	127
Figura N° 100: Sección típica de una vía en corte de talud.....	128
Figura N° 101: Criterio de Whiteside (1986) para el diseño de área de captación.....	129
Figura N° 102: Perfiles de rugosidad.....	134
Figura N° 103: Perfil teórico del suelo.....	135
Figura N° 104: Provincia de Andahuaylas y zona crítica de la carretera.....	137
Figura N° 105: Provincia de Abancay y zona de Ruta AP-654 y AP-655.....	138
Figura N° 106: Tacna y zona de la carretera.....	139
Figura N° 107: Ubicación de zona crítica de la carretera.....	140
Figura N° 108: Mapa de ubicación del área de la zona de estudio.....	142
Figura N° 109: Departamento de la Libertad.....	143
Figura N° 110: Provincia y zona de la carretera.....	143
Figura N° 111: Zona donde se ubica la carretera.....	144
Figura N° 112: Sector crítico km 5+680.....	147
Figura N° 113: Sector crítico km 13+860.....	149
Figura N° 114: Sector crítico km 16+640.....	150
Figura N° 115: Sector crítico km 23+860.....	151
Figura N° 116: Sector crítico km 24+740.....	153
Figura N° 117: Sector crítico km 24+800.....	154
Figura N° 118: Sector crítico km 25+060.....	155
Figura N° 119: Sector crítico km 25+640.....	157
Figura N° 120: Sector crítico km 26+450.....	158
Figura N° 121: Sector crítico km 28+240.....	159
Figura N° 122: Nivel de riesgo en zonas críticas de la carretera.....	161
Figura N° 123: Cunetas obstruidas por deslizamiento en la progresiva 01+210.....	161
Figura N° 124: Rehabilitación de muro de piedra en la progresiva 02+210.....	165
Figura N° 125: Nivel de riesgo en zonas críticas de la carretera.....	167
Figura N° 126: Progresiva 6+170.....	167
Figura N° 127: Progresiva 13+790.....	169
Figura N° 128: Zona crítica progresiva 17+320.....	170
Figura N° 129: Nivel de riesgo en zonas críticas de la carretera.....	171
Figura N° 130: Progresiva 24+520.....	172
Figura N° 131: Nivel de riesgo en zonas críticas de la carretera.....	174

Figura N° 132: Progresiva 38+700. ....	175
Figura N° 133: Nivel de riesgo en zonas críticas de la carretera. ....	176
Figura N° 134: Zona crítica progresiva 1+039. ....	176
Figura N° 135: Zona crítica progresiva 2+060. ....	179
Figura N° 136: Zona crítica progresiva 2+180. ....	181
Figura N° 137: Zona crítica progresiva 3+240. ....	183
Figura N° 138: Nivel de riesgo en zonas críticas de la carretera. ....	195
Figura N° 139: Nivel de riesgo en carreteras vecinales estudiadas. ....	196
Figura N° 140: Nivel de riesgo en carreteras vecinales por deslizamiento. ....	197
Figura N° 141: Porcentaje de los deslizamientos presentes en los casos evaluados. ...	197

## **RESUMEN**

La presente tesis titulada “Propuesta de guía de intervención ante deslizamientos para asegurar la transitabilidad en carreteras vecinales” tiene como objetivo desarrollar una guía de intervención para prevenir o mitigar deslizamientos para evitar la interrupción del tránsito en las carreteras vecinales. En nuestro estudio se evaluaron 40 casos de 6 carreteras vecinales que se encuentran ubicadas en diferentes regiones del Perú, donde sus principales actividades económicas son la agricultura. El enfoque de la investigación fue cualitativo con tipo de investigación descriptiva, ya que se tomó los datos de los deslizamientos mediante expedientes técnicos. El diseño fue transversal descriptivo, porque se observó las características. Luego, para nuestra investigación se utilizó la propuesta de la guía aplicando la metodología del Índice General de Estabilidad de Cortes Carreteros del Instituto Mexicano de Transporte, y se obtuvo los factores más influyentes en deslizamientos, los factores con niveles de riesgo más críticos, y medidas de mitigación para cada caso evaluado, concluyendo que la guía del Instituto Mexicano del Transporte nos permite minimizar la paralización del tránsito en un 80%.

Palabras clave: deslizamientos, talud, mitigación, carreteras vecinales.

## **ABSTRACT**

The present thesis entitled “Proposal of intervention guide against landslides to ensure transit on local roads” aims to develop an intervention guide to prevent or mitigate landslides to avoid the interruption of traffic on local roads. In our study, 40 cases were evaluated on 6 local roads that are located in different regions of Peru highlands, where their main economic activities are agriculture. The research approach was qualitative with a descriptive type of research, because the landslide data was collected through technical files. The design was descriptive transversal, because characteristics were observed. Then, for our research, the proposal of the guide was used, applying the methodology of the General Index of Stability of Highway Cuts of the Mexican Institute of Transportation, obtaining factors with the most critical risk levels, the most influential factors in landslides, and mitigation measures for each, concluding that the guide of the Mexican Institute of Transportation allows us to minimize traffic disruption by 80%.

Keywords: landslides, slope, mitigation, local roads.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como objetivo proponer una guía de intervención ante deslizamientos para asegurar la transitabilidad en carreteras vecinales, consta inicialmente de la propuesta de la guía con las metodologías empleadas; en segundo lugar, la aplicación en casos de deslizamientos a partir de expedientes técnicos y finalmente el análisis de los resultados, concluyendo que la guía permitirá asegurar la transitabilidad de carreteras vecinales, minimizando la paralización del tránsito en un 80%.

Logrando el objetivo se determinó que, en el Perú, el factor clima es el más influyente en la ocurrencia de deslizamientos en carreteras vecinales.

El desarrollo de esta investigación se resume en seis capítulos:

En el capítulo 1 se presenta el planteamiento del problema y objetivos, A su vez se describe la justificación e importancia y finalmente las limitaciones de la investigación.

En el capítulo 2 se presenta información de tesis, manuales, libros relacionados con el tema asimismo se desarrolló las bases teóricas y la definición de términos básicos.

En el capítulo 3 se realiza las hipótesis de la investigación.

En el capítulo 4 se investiga la metodología mediante 4 pasos: la recopilación de información, estudio de campo, análisis de resultados y resultados.

En el capítulo 5 se presenta el diagnóstico de la zona de estudio y la propuesta de la guía de intervención, donde se aplica en casos de expedientes técnicos, se obtiene los resultados de la investigación y el análisis de interpretación de los resultados obtenidos de los casos evaluados y la contrastación de la hipótesis.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones.

## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos.

La red de carreteras vecinales es esencial para el crecimiento económico y social de las comunidades pequeñas. Generalmente están situadas en lugares montañosos o rurales, un poco alejados de los centros políticos y económicos, donde el acceso a los servicios básicos de educación, salud, así como a los mercados y administrativos es difícil. Los caminos necesitan mantenimiento constante para estar en estado óptimo durante todo el año, garantizando la seguridad del tránsito, del entorno ambiental y del transeúnte, los mismos que se ven interrumpidos por fenómenos geotécnicos endógenos y exógenos.

Las carreteras vecinales en el Perú requieren ser intervenidos, ya que la Red Vial Vecinal conforma el 67.63% equivalente a 114,260.54 Km. del Sistema Nacional de Carreteras del Perú. Siendo estas carreteras las que se interconectan con zonas alejadas y recónditas del país.

Tabla N° 1: Longitud de la red vial.

	Longitud (km)	Porcentaje (%)
<b>NACIONAL</b>	<b>27,053.72</b>	<b>16.01%</b>
<b>DEPARTAMENTAL</b>	<b>27,639.60</b>	<b>16.36%</b>
<b>VECINAL</b>	<b>114,260.54</b>	<b>67.63%</b>
<b>TOTAL</b>	<b>168,953.86</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: Gob.pe (MTC) – 2019

La geografía en el Perú trae consigo diversos fenómenos exógenos y endógenos, que generan con frecuencia variaciones en la superficie dando lugar a deslizamientos. El tema de deslizamientos como fenómeno geotécnico exógeno en las carreteras vecinales de los lugares más alejados en el Perú es de gran interés debido a las condiciones ambientales en la que se encuentran expuestas. Esto es un problema para las obras viales en los acantilados y laderas.

En los últimos años los deslizamientos vienen ocurriendo con un ritmo constante, y se puede observar la cantidad por año desde el 2015 según INDECI:

Tabla N° 2: Deslizamientos, Derrumbes y Reptación de suelos en el Perú.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020 (hasta agosto)
<b>Deslizamientos, Derrumbes, Reptación</b>	313	102	537	324	1227	671

Fuente: INDECI

Los deslizamientos, derrumbes, reptación de suelos, sismos, etc, interrumpen el tránsito en las carreteras, generando que cientos de vehículos queden varados, como es el caso de la Carretera Central en Huánuco, afectado por un deslizamiento que interrumpió el tránsito vehicular hasta 15 días, en la zona de Tantamayo el año 2014.



Figura N° 1: Deslizamiento interrumpe vía por más de 15 días en Carretera Central.

Fuente: RPP Noticias

Después de 20 años de la presencia del último Fenómeno el Niño de carácter extraordinario en el Perú se presentó otra vez el Niño Costero, con la ocurrencia de lluvias que se inició en la cuarta semana del mes de diciembre de 2016 y se prolongó hasta el 31 de mayo de 2017, las cuales tuvieron como consecuencia huaicos, inundaciones, deslizamientos, derrumbes, así como plagas y epidemias, causaron diversos daños tanto a la vida y salud como daños que afectaron a la infraestructura pública.

Según datos estadísticos del INDECI, con respecto a los caminos rurales en el año 2017, fueron destruidos 12 832km y fueron afectados 221 219km a causa de deslizamientos provocados por el Niño Costero.

Tabla N° 3: Daños en transportes y comunicaciones por Niño Costero Perú 2017.

DPTO	CAMINOS RURALES DESTRUIDOS (Km)	CAMINOS RURALES AFECTADOS (Km)	CARRETERAS DESTRUIDAS (Km)	CARRETERAS AFECTADAS (Km)	PUENTES DESTRUIDOS
<b>TOTAL PERU</b>	<b>12,832</b>	<b>221,219</b>	<b>4,778</b>	<b>13,311</b>	<b>449</b>
ANCASH	235	1,311	462	1,321	116
AREQUIPA	185	532	738	514	18
AYACUCHO	534	3,931	210	869	14
CAJAMARCA	102	198	103	517	23
HUANCAVELICA	33	8,461	160	916	21
ICA	132	89	112	529	5
JUNIN	7	18	5	210	
LA LIBERTAD	369	22,338	1,038	701	38
LAMBAYEQUE	346	705	98	122	63
LIMA	3,742	707	1,498	6,471	124
LORETO		68	0	13	
PIURA	7,099	182,691	345	1,032	27
TUMBES	49	169	10	96	

Fuente: INDECI



Figura N° 2: Congestión vehicular en la Carretera Central por deslizamientos (2017).

Fuente: RPP Noticias

Según L. E. Wells (1987) en el libro de Peter Kaulicke (1993), los deslizamientos más remotos registrados en el Perú son de hace 3 200 años ( $1\ 233 \pm 61$  a.C.), y describe un aluvión en el valle del río Casma en el departamento de Ancash. Además, Rebeca Carrión (1948) señala que la Civilización Chavín (1200 a. C. – 400 a. C.) fue colapsado producto de fenómenos naturales.

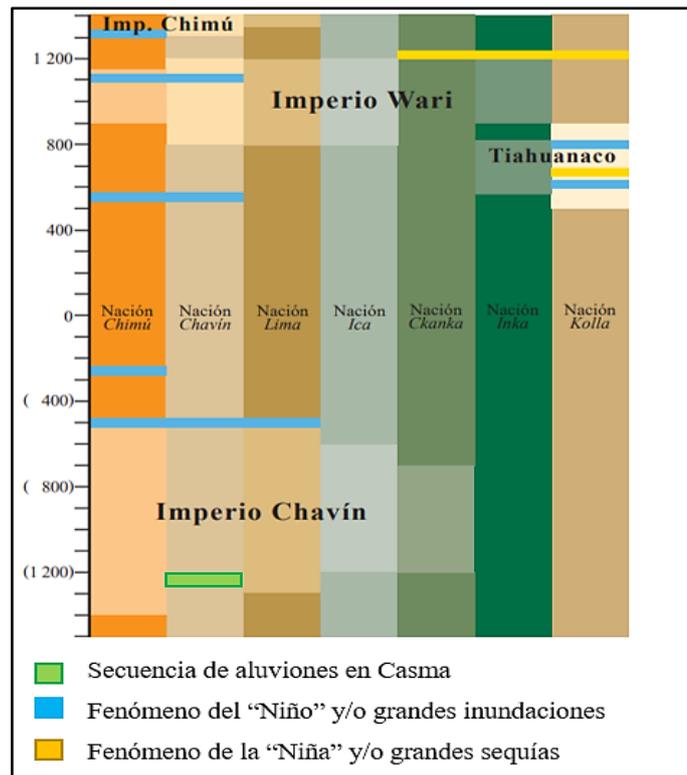


Figura N° 3: El Niño y la Niña en la historia, grandes eventos y su impacto probable.

Fuente: El mundo pre-inka: Los abismos del cóndor (Alfonso Klauer, 2000)

Esto fue calculado con el fechado radiocarbónico por los investigadores; sin embargo, la validez de la precisión de la cronología en estos casos depende también del contexto histórico en el que se encuentra, su ubicación, y su relación temporal entre el evento geomorfológico y la secuencia de eventos estratigráficos.

Según Klauer (2000), desde el inicio del desarrollo de la agricultura, los pueblos pre inkas, en función a las características de sus territorios, venían enfrentando problemas, entre ellos, neutralizar los peligros de la naturaleza, y así adoptaron soluciones propias a esos problemas. De esta manera, cada pueblo iba formando su sistema cultural. Empezaban a experimentar líneas de evolución, pero no todos los pueblos contaban con la misma suerte, existía diferencias en riqueza agrícola, forestal, ganadera y pesquera o minera conllevando a diferentes destinos. Las condiciones climáticas favorecían a unos y perjudicaban a otros, generando nuevas formas de inversión productiva: más canales de regadío, más y mejores caminos, nuevos almacenes y/o nuevos muros de defensa contra la naturaleza.

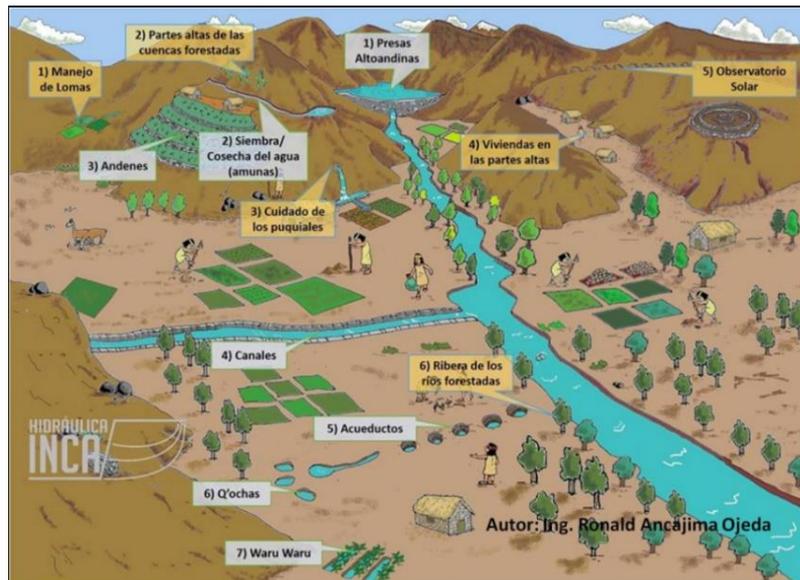


Figura N° 4: Hidráulica Inca.

Fuente: Ing. Ronald Ancájlma Ojeda

Algunas de sus estructuras siguen en buen estado de conservación hasta la actualidad, otras; con señales de agrietamientos. En Pachacamac (Lima) construyeron un muro de 7 metros de alto por 6 de ancho, y de 700 metros de largo, especialistas presumen que estaba destinado a reducir los efectos de los deslizamientos que generan las fuertes lluvias. En el cerro de Choquequirao (3,075 msnm) los incas desarrollaron obras estructurales: muros de contención, grandes andenes (Chaqraanden), obras hidráulicas (drenajes), canales de regadíos y escalinatas de acceso pegados al muro, con el fin de estabilizar un deslizamiento rotacional antiguo (pre-inca).



Figura N° 5: Muro de contención en andenes incas en Sector Alto de Choquequirao.

Fuente: INGEMMET



Figura N° 6: Qolqas protegidos por andenes construidas sobre muros de contención.

Fuente: INGEMMET



Figura N° 7: Conjunto de andenes que estabiliza el deslizamiento en Choquequirao.

Fuente: INGEMMET



Figura N° 8: Andenes del Chaqraanden con drenaje de grandes dimensiones.

Fuente: INGEMMET

Los deslizamientos ocurren en cualquier talud y ladera natural inestables. En el Perú, es uno de los principales problemas, es común a causa del relieve, geografía y climatología, sobre todo en la Sierra. Los deslizamientos en carreteras producidos por precipitaciones en marzo del 2017 a causa del fenómeno del niño en varios puntos de la Costa y de la Sierra, ocasionaron interrupciones en las carreteras en varios casos.



Figura N° 9: Tránsito interrumpido por deslizamientos en Pisco (2017).

Fuente: RPP Noticias

Según de El Comercio, a inicios del año 2019, de forma casi simultánea, se presentaron deslizamientos en las carreteras siguientes:

- Junín: Túnel Yanango en tramo Tarma – La Merced Ruta Pe 22B km77+100, otro en el Puente Antachacra en el km 0.03 en el distrito de Llocllapampa.
- Cusco: Tramo Quillabamba-Huacarpay km 502 en distrito de Huayopata.
- Ayacucho: Tramo Challhuamayo – San Francisco en distrito de Ayna.
- Amazonas: Tramo Selva Alegre – Nueva Galilea.
- Huánuco: Tramo Chaglla – Monopampa.



Figura N° 10: Derrumbes mantienen bloqueadas 8 carreteras en el país (2019).

Fuente: El Comercio

Las primeras investigaciones sobre deslizamientos fueron en el siglo XVIII, por Charles Augustín de Coulomb (1736 – 1806) destacando un documento de título “Ensayo sobre una aplicación de reglas de Máximos y Mínimos a algunos problemas de estática relacionados a la Arquitectura” (1773) en el cual presenta la “teoría de la cuña” para determinar la presión de tierras para suelos cohesivos y friccionantes, además de la determinación del empuje lateral del terreno sobre estructuras de contención. Además de Coulomb, diversos autores han realizado estudios sobre el tema con progresos técnicos hasta la actualidad.

En las últimas décadas, tenemos como referencia autores como: 1) Jaime Suárez (1998), en su libro “Deslizamiento y estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales”, donde se analizó la inestabilidad de laderas o taludes en los Andes Colombianos, sobre todo en suelos residuales de zona tropical, no obstante, también comprende información común a materiales no tropicales. En la última década diferentes autores se basan en este libro

como referencia para sus tesis; 2) Instituto Mexicano del Transporte (2012) en la publicación técnica “Metodología para la Gestión de Cortes Carreteros”, que propone un Índice General de Estabilidad de Cortes Carreteros (IGECC), definido como el grado de la estabilidad de un talud de corte con respecto a su riesgo. 3) Hernán Aguirre Castro (2007) en su tesis “Estudio Geotécnico y solución a nivel de Ingeniería básica en el km.48 Oleoducto Nor-peruano” habla sobre la problemática geodinámica de la ladera en el sector y un drenaje superficial como alternativa de solución; 4) Rivera Sisneros (2009) que utiliza 3 métodos de estabilización de taludes analizando el aspecto económico y diseño.



Figura N° 11: Deslizamiento en carretera de territorio peruano (2019).

Fuente: Diario Correo

El Perú y su variada geomorfología estimulan las condiciones en las que se encuentran los taludes. El riesgo sísmico, clima, geología y actividades del hombre como deforestación, obras de construcción, sobrecargas, etc son algunos factores que ocasionan estos fenómenos, y producen un desequilibrio en las fuerzas internas de las masas de suelo del talud como la disminución de fuerzas de resistencia al corte o saturación de las partículas afectando de forma directa a la estabilidad de un talud o ladera natural.

El factor más frecuente que interviene en los deslizamientos en el Perú son las intensas precipitaciones en la cordillera de los Andes. La temporada de lluvias se extiende desde octubre hasta mayo, presentando mayor intensidad entre diciembre y marzo. Las carreteras vecinales más afectadas por los deslizamientos son las que se encuentran en zona de alto riesgo.

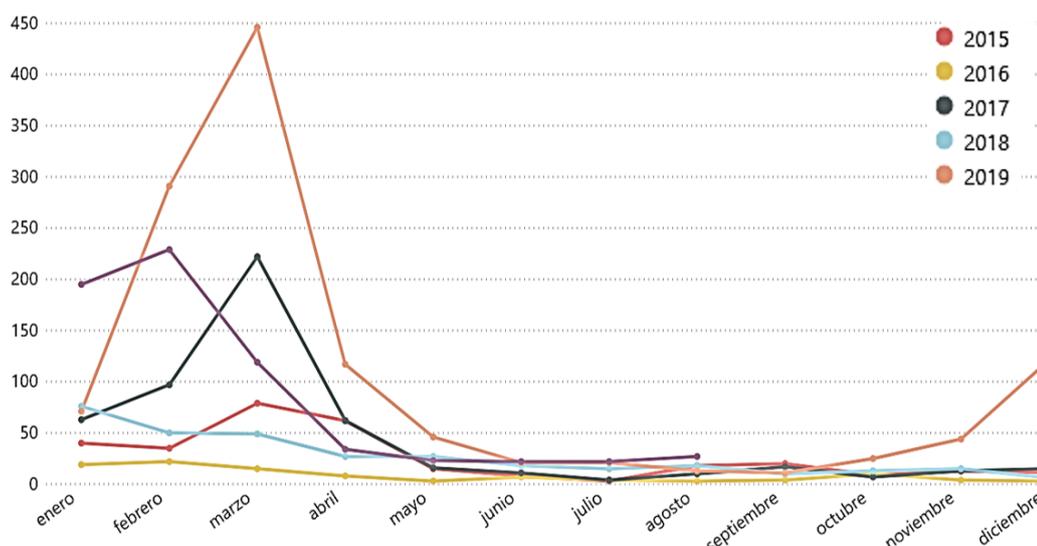


Figura N° 12: Total de incidencias fenomenológicas por mes y año en el Perú.

Fuente: INDECI

Los deslizamientos pueden ocasionar la paralización de la actividad socio-económica, daños directos a los cultivos, viviendas, servicios básicos, y víctimas mortales. La interrupción de la transitabilidad en las carreteras produce incomunicación de las comunidades locales y zonas alejadas. Las entidades generalmente no intervienen al instante, y las comunidades locales actúan de forma empírica ya que no existen medidas de prevención. Entre las personas afectadas se encuentran casos de comerciantes que no pueden movilizar su mercadería, niños sin poder transportarse a los colegios, y enfermos sin poder trasladarse a los centros de salud, siendo estos los principales problemas que ocasionan los deslizamientos en las carreteras vecinales. Se puede apreciar los datos estadísticos según INDECI:

Tabla N° 4: Incidencia de personas ante deslizamientos por año en el Perú.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020 (hasta agosto)
<b>AFECTADOS</b>	28 474	2 991	7 271	3 207	4 300	1 879
<b>DAMNIFICADOS</b>	7 421	323	2 636	1 063	1 244	762
<b>LESIONADOS</b>	196	21	43	10	47	8
<b>FALLECIDOS</b>	32	7	21	13	16	9

Fuente: INDECI

Además, se puede generar un aumento de costos en viajes, tiempo de viaje, y accidentes al tomar caminos no transitables. Es un problema para las comunidades locales que

transitan en estas carreteras. Siendo ellos mismos los que a veces usan técnicas tradicionales temporales para intentar darle solución a los deslizamientos.

En el seguimiento por evitar futuras tragedias y reducir el tiempo de interrupción al tránsito vial, se busca determinar los factores que intervienen en los deslizamientos en carreteras vecinales, identificar los niveles de riesgo de deslizamientos en las carreteras para estudiar sus medidas de mitigación a fin de proponer la realización de una guía de intervención antes los deslizamientos para asegurar la transitabilidad en carreteras vecinales. Se plantean las siguientes alternativas de solución: Sistemas de alarma como medida de prevención, y medidas físicas como: modificación de topografía, construcción de pirkas, mejoramiento del suelo, vegetación o reforestación, muros de gaviones, y estructuras de retención.

#### 1.1.1 Problema general

¿Cuáles son las alternativas de solución a los deslizamientos que aseguren la transitabilidad en carreteras vecinales?

#### 1.1.2 Problemas específicos

a) ¿Cuáles son los factores que intervienen en los deslizamientos en carreteras vecinales?

b) ¿Cuáles son los niveles de riesgo de deslizamiento en carreteras vecinales?

c) ¿Cuáles son las medidas de mitigación para los deslizamientos en carreteras vecinales?

### 1.2 Objetivo general y específico

#### 1.2.1 Objetivo General

Proponer una guía de intervención ante deslizamientos para asegurar la transitabilidad en carreteras vecinales.

#### 1.2.2 Objetivos Específico

a) Identificar los factores que intervienen en los deslizamientos en carreteras vecinales para determinar los niveles de riesgo.

b) Analizar los niveles de riesgo de deslizamientos en carreteras vecinales para definir las medidas de mitigación adecuadas.

c) Definir las medidas de mitigación para los deslizamientos en carreteras vecinales para proponer una guía de intervención.

### 1.3 Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática

Para la elaboración de la siguiente investigación se consideraron algunas limitaciones como la verificación de datos actuales sobre deslizamientos en carreteras vecinales ya que se tomó como guías expedientes técnicos recientes, mas no datos obtenidos en campo, debido a la pandemia por la Covid-19.

#### 1.3.1 Delimitación Espacial

Esta investigación se realizará a partir de expedientes técnicos de carreteras vecinales del Perú.

#### 1.3.2 Delimitación Poblacional

Esta investigación estudiará las carreteras vecinales del Perú que presenten problemas de deslizamientos en algunos de sus sectores a partir de la información de expedientes técnicos.

#### 1.3.3 Delimitación Temporal

Para validar la información se utilizará expedientes técnicos de los últimos 6 años.

### 1.4 Justificación e importancia

#### 1.4.1 Importancia

La importancia de esta tesis es determinar los factores de los deslizamientos en carreteras vecinales y evaluar diversas alternativas de solución para proponer una guía de intervención en carreteras vecinales que nos permita tomar medidas de prevención y mitigación para que en futuros proyectos se pueda actuar rápidamente ante la interrupción de las vías, corroborándolo en casos específicos para evaluar la aplicación de la teoría en la realidad del Perú y contribuir al desarrollo de las comunidades locales.

#### 1.4.2 Justificación

##### Justificación Social

Garantizar un tránsito vehicular adecuado en la carretera todo el año, y prosperar la calidad de vida de los ciudadanos en estas comunidades. Mitigación de problemas de transitabilidad. Disminución de accidentes en la vía.

#### Justificación Económica

Esta investigación busca soluciones con bajo costo de inversión, y pretende desarrollar un crecimiento socioeconómico en las comunidades alejadas.

#### Justificación Práctica

Proponer medidas de mitigación para intervenir ante deslizamientos a fin de que los pobladores actúen con mayor conocimiento y pueda mejorar la seguridad de circulación vehicular en carreteras vecinales. Reducir las debilidades de la Red Vial Vecinal.

#### Justificación Metodológica

El uso de la guía de intervención accesible al usuario y gobiernos locales, que permita evaluar los deslizamientos y solucionarlos.

#### Justificación Teórica:

El conocimiento adquirido conforma un aspecto importante para la comprensión de los tipos de deslizamientos que se acontecen en las carreteras vecinales, así como alternativas de solución.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes del estudio de investigación

Los antecedentes de esta investigación se refieren a las investigaciones realizadas sobre deslizamientos en carreteras, con el fin de elaborar una exposición corta del tema. Con los años, se han destacado investigaciones respecto a una línea de estudio, las cuales evidencian diferentes metodologías a seguir para deslizamientos en carreteras vecinales, situando este problema en zonas geográficas distintas, con diferentes alteraciones en parámetros y orientaciones particulares de cada investigación.

Los fundamentos de los taludes vienen desde el siglo XIX según Suarez-Burgoa (2016). Una referencia destacable para ese período es el libro del ingeniero Alexander Collin en el año 1846 “Investigación experimental de deslizamientos espontáneos en suelos arcillosos, tomando en cuenta algunos principios de mecánica terrestre”

Los cálculos para evaluar la estabilidad de un talud se elaboraban a mano. Posteriormente tuvo lugar el Método Sueco, designado también Método de Fellenius o Método ordinario. A partir de ello, se comenzó a plantear esta técnica en diferentes países. Taylor (1937) propone ábacos de estabilidad. A mediados del siglo XX Bishop y Janbu presentan el Método simplificado de dovelas.

Las investigaciones sobre deslizamientos en el Perú se remontan al siglo XIX. En “El Mundo Pre-Inka: Los abismos del cóndor” (Alfonso Kleuer, 2000), se recopila estudios del fenómeno del Niño y de La Niña en la historia peruana de los siguientes autores: L. E. Wells (1987) en “An Aluvial Record on the El Niño Events from Northern Coastal Peru”, que menciona que los deslizamientos más remotos registrados en el Perú son de hace 3 200 años ( $1\ 233 \pm 61$  a.C.), y describe un aluvión en el valle del río Casma en el departamento de Ancash.

La arqueóloga Rebeca Carrión (1948) que describe en su libro “La cultura Chavín. Dos nuevas colonias: Kuntur Wasi y Ancón” que la Civilización Chavín (1200 a. C. – 400 a. C.) fue colapsado producto de fenómenos naturales. También Peter Kaulicke (1993), cuyo artículo, “Evidencias Paleoclimáticas en asentamientos del alto Piura durante el periodo del Intermedio Temprano”, recopila evidencias geomorfológicas observadas en estudios

arqueológicos, señala que determinar fechas exactas de deslizamientos naturales depende de muchos factores cronológicos.

Los fenómenos naturales ocurren desde tiempos remotos, y tuvieron que ser afrontados por nuestros antepasados. Kleuer (1948) detalla que los inkas tenían respeto por la naturaleza, y cuando se manifestaban derrumbes, para ellos era un “mensaje de la tierra”. Ellos podían adaptarse de la mejor manera, o simplemente cedían a las fuerzas naturales por temor.

El análisis del desarrollo de la geotecnia nos proporciona obtención de datos esenciales para la solución de problemas y validación de técnicas ajustables en la actualidad. No obstante, es conveniente enfatizar que en sí conforma una ciencia que nos proporciona la extensión de conocimientos y desarrollar el entendimiento de taludes antiguos.



Figura N° 13: Deslizamiento de rocas en carretera Juliaca-Paucartambo (2017).

Fuete: RPP Noticias

## 2.2 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio

### 2.2.1 Investigaciones Nacionales

Para la realización de esta investigación, se consideraron artículos y tesis enlazados al tema, originarios de la Universidad Ricardo Palma (URP), la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), la Universidad Cesar Vallejo (UCV) y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM).

Sackschewski 2017 (UNMSM): En su tesis tiene como objetivo investigar soluciones que sean económicamente viables y seguras en la parte geotécnica, y que así garanticen la estabilidad de taludes en la carretera Canta – Huayllay por las amenazas de fenómenos de geodinámica externa entre los sectores del Km 102 al Km 110. De los resultados se puede concluir que: Los cortes elaborados, las discontinuidades con condiciones desfavorables, y las filtraciones de agua, provocaron la inestabilidad en el talud del sector de la carretera del km 102 al km 110. Además, se demostró mediante análisis geológicos geotécnicos que la colocación de cunetas y el sellado de las grietas mejorarán la estabilidad del talud, ya que presenta un adecuado factor de seguridad, así como el manejo de filtraciones de agua, la construcción de banquetas y la inclinación del talud. El autor recomienda que las empresas contratistas deben tomar en cuenta el monitoreo continuo de agrietamientos y desplazamientos, y hacer estudios de hidrología y geología para controlar problemas de filtración; y por último recomienda hacer el sellado de grietas con material de suelo arcilloso, cunetas de coronación, y un proceso de revegetación en toda la zona del talud, que deberá tener, para ese caso, una inclinación de  $H:V = 1:1$ .

Iberico 2015 (URP): En su tesis busca determinar los tipos de fallas y causas posibles de los problemas geotécnicos de los taludes en una carretera, y propone alternativas de solución. De los resultados se concluye que: la actividad humana puede influir mucho y modificar la estabilidad del talud, así como los factores sísmicos, hidrológicos y condiciones geológicas, que son determinadas por las características físicas de un talud, además del agua que actúa como el principal agente erosivo. También se concluyó que la velocidad

de deslizamiento en los taludes se relaciona de forma directa con el tipo de suelo y el factor que lo provoca, como reptación, caídas, deslizamientos rotacionales y traslacionales, avalancha y flujo. Se recomienda un monitoreo constante en sectores de la carretera adyacentes a zonas de taludes, y tomar medidas preventivas para evitar amenazas y exposición a ellas de las personas, las carreteras y viviendas, y de esa manera reducir el riesgo.

Norabuena 2015 (UNI): En su tesis busca obtener el modelo geológico-geotécnico del deslizamiento precisando las características geológico-geotécnico que lo conforman, y sus parámetros geológicos que los representan; además, determinar los factores geológicos, geotécnicos y antrópicos que pueden producir la reactivación del deslizamiento. Busca también conocer la influencia de los parámetros hidrológicos y su respuesta en el tiempo, así como evaluar y proponer métodos para estabilización del deslizamiento. Como conclusión obtiene que: el factor principal para la reactivación del deslizamiento fue la actividad antrópica con respecto al agua de riego y su concentración no controlada. Las recomendaciones según el autor son: Usar inclinómetros para definir volumen de deslizamiento y fiabilidad del plano, los métodos más importantes de estabilización son la captación de aguas superficiales con canales de coronación y cunetas en la superficie de deslizamiento, reforzamiento en la base del talud con estructuras de contención como contrafuertes, y finalmente el sembrado de árboles de eucalipto, ya que favorece la estabilidad del deslizamiento.

Espinoza 2018 (UCV): en su tesis busca proponer dos tipos de sistema de estabilidad de taludes con respecto a sus costos, sistema constructivo y duración en el km 90+000 al 100+000 de la carretera Huancayo-Huancavelica, 2018, haciendo cálculo de muro de contención en gaviones y muro de contención de gravedad. El autor concluye que: aunque los sistemas de estabilización de taludes propuestos son seguros, sus costos y puesta en operación varían siendo el muro de gavión el más económico. Se recomienda que: se debe seleccionar con cuidado las piedras y cantos rodados para garantizar la durabilidad, se debe hacer un estudio de ubicación para determinar

costos y duración de materiales en el caso del sistema de muros de contención, se debe realizar con la presencia de un personal técnico para garantizar las especificaciones técnicas en base a la investigación realizada.

Torres 2007 (URP): En su tesis tiene como objetivo el estudio de metodologías para cuantificar el grado de riesgo a deslizamientos en taludes en el Perú mediante nuevos conceptos de análisis de estabilidad, aplicando estas metodologías, que se desarrollan en casos reales, en la práctica diaria profesional. Se tiene como conclusiones que: es importante obtener la curva de confiabilidad sobre taludes de la zona en estudio, representando gráficamente su nivel de riesgo y confiabilidad; también que existe una correlación entre el factor de seguridad, índice de confiabilidad, pendiente e índice de vulnerabilidad, e indica que la pendiente debe ser menor a  $36^\circ$  con un factor de seguridad estático mínimo de 1.25, para obtener un buen nivel de confiabilidad; que a mayores valores de confiabilidad, se obtiene menor índice de vulnerabilidad; que no hay metodologías de riesgo definidas, sino pautas teóricas para realizar un análisis de riesgo, y el estudio de la metodología a usar depende de su tipo y la cantidad de información obtenida.

Zamora 2019 (UNC): en su tesis busca determinar el nivel de riesgo geotécnico de deslizamiento en taludes del terreno en estudio, estimando el peligro, tomando en cuenta el Factor de Seguridad de los taludes tanto estático como pseudoestático, y la vulnerabilidad a la que se encuentran sometidas las zonas adyacentes al terreno de estudio. También tiene como objetivo proponer alternativas de mitigación a dicho riesgo. Se concluye que: Se realizó la división y elección de secciones estratigráficas. Se determinó las propiedades de los suelos, y estimó el peligro geotécnico y vulnerabilidad de las zonas adyacentes al terreno, finalmente se propuso alternativas de solución como anclajes, claves y refuerzos. El autor recomienda: no construir viviendas y edificaciones en la zona de taludes para evitar sobrecargas, capacitar a la población respecto a Peligro, Vulnerabilidad y Riesgos, y, por último, aplicar medidas de mitigación como anclajes, clavos y refuerzos.

### 2.2.2 Investigaciones Internacionales

Severino 2015 (Universidad Politécnica de Madrid): En su tesis busca dar a entender la importancia de tener conocimiento de los riesgos de obras lineales a los proyectistas de dichas obras y empresas aseguradoras que se encargan de su financiamiento. Además, propone una herramienta de valoración de los riesgos que proporcione conocimientos a los ingenieros sobre la estabilidad de un talud de una obra lineal en cuestión, y poder prevenir amenazas o mitigarlas. De los resultados se concluye que: el conocimiento y la prevención reducen riesgos y nos hacen menos vulnerables. Según el autor, se podría describir a la República Dominicana como un lugar mal preparado ya que las instituciones encargadas de la gestión de riesgos tienen limitaciones de evaluar y procesar la información que tienen a su disposición. En el país, las metodologías existentes son escasas para el análisis de riesgo y tienen un pobre desarrollo, además que los instrumentos disponibles se enfocan en la amenaza y no en los factores que vulneran los taludes. Las condiciones de riesgo deben tener un monitoreo continuo ya que los escenarios de riesgo en los taludes son cambiantes y dinámicos. Por último, los seres humanos tienen una gran capacidad originar un incremento de amenazas naturales, por lo tanto, de la misma forma, pueden reducirlas.

Barrantes 2012 (Universidad de Costa Rica): En su tesis busca definir un plan de manejo del riesgo y un sistema de alerta temprana para la etapa de operación en la carretera San José - Caldera. Se concluye que, por la variación constante en las condiciones geológicas y geotécnicas en los proyectos y obras civiles (carreteras principalmente), se necesita establecer herramientas que permitan manejar posibles consecuencias. La evaluación de riesgos presentes en proyectos viales y su manejo en la etapa de operación permite que se pueda prevenir diferentes eventos y reducir las consecuencias. Todos los proyectos tienen la incertidumbre de contar con riesgos, a partir de la variabilidad de las condiciones geológicas y geotécnicas. Los tramos que tienen mayor riesgo y es producto de las lluvias, son las zonas de Poncho Mora y Dantas, con una extensión de 5km. Las zonas que cuentan con menor riesgo requieren de

soluciones a largo plazo. Se elaboró la propuesta de un sistema de alerta temprana utilizando registros históricos a fin de prevenir amenazas y riesgos. El autor recomienda que las bases de datos y estudios deben contar con información actual para alcanzar efectividad en las soluciones, ya que los estudios encontrados tuvieron que repetirse porque no correspondía a las condiciones actuales.

Palma 2012 (Universidad de San Carlos de Guatemala): En su tesis busca brindar a estudiantes y profesionales de Ingeniería Civil un documento como apoyo que nos permita incluir análisis de vulnerabilidad y riesgo en futuros proyectos de ingeniería vial; además de orientar a los planificadores de proyectos de carreteras para diseñar obras de ingeniería a fin de reducir riesgos de desastres empleando especificaciones con estándares internacionales (norma ISO 9001, y Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes Edición 2001). Se concluye que: los métodos de mitigación incrementan la capacidad de respuesta de la carretera y reducen desastres, pero su efectividad se mide respecto a los costos para disminuir la vulnerabilidad; y también concluye que al omitir un análisis de riesgo en la programación de proyectos de carreteras podría generar elevados costos en destrucción y reconstrucción. El autor recomienda que se para este tipo de proyectos se realice un detallado estudio de suelos considerando su tipo de material a fin de evaluar sus medidas adecuadas y viables de mitigación. Por último, toda estructura de carretera debe contar con dichas medidas desde la planificación y no posteriormente, ya que es costoso.

Ojeda 2014 (Universidad Internacional del Ecuador) describe los riesgos para obras geotécnicas en taludes que se presentan en las diferentes infraestructuras de obras civiles. Además, busca identificar los potenciales riesgos en la estabilidad de taludes y describir las causas que generan los deslizamientos. Concluyendo que, quien deba proyectar estructuras al interior de un macizo rocoso, debe tener en cuenta tres factores: funcionalidad, seguridad y economía. Y señala que una óptima gestión de riesgos en deslizamientos se debe enfocar en la reducción de fuerzas desestabilizadoras al talud cuyo

objetivo es aumentar las fuerzas resistentes al movimiento. Una de las técnicas de mitigación más necesarias es el sistema de drenaje ya que el factor hidrología es el más importante en los deslizamientos; y el monitoreo como sistema de alerta temprana (SAT) para prevenir pérdidas humanas.

Morales & Valiente 2017 (Universidad de Cartagena): en su tesis plantean evaluar geotécnicamente la estabilidad de taludes de la zona de estudio mediante el análisis de factor de seguridad por métodos de equilibrio límite utilizando el software Slide v.5.014, para determinar el nivel de riesgo de la zona y diseñar conceptualmente obras de mitigación y control. Además, buscan identificar causas y mecanismos de falla en los taludes de la zona de estudio. Y evaluar las condiciones de estabilidad de taludes de acuerdo al monitoreo. Se concluye que la sobrecarga de una institución de la zona de estudio provocó procesos erosivos y efectos antrópicos en el talud. Con la instrumentación instalada (piezómetros, inclinómetros, estaciones pluviométricas) se determinó la disminución del esfuerzo efectivo y resistencia cortante del suelo. Las obras de mitigación que más se ajustan a la estabilidad del talud en estudio, son un muro voladizo con cimentación profunda y un geomanto en flexocreto, a fin de controlar efectos del suelo, recuperar la capa vegetal y disminuir la erosión. En presencia de altísima inestabilidad, se debe llevar un control desde que se generó la falla hasta su intervención para precisar una adecuada mitigación.

Alberti, Canales & Elizabeth 2006 (Universidad del Salvador) en su tesis buscan describir diferentes técnicas de mitigación de deslizamientos de taludes para tener un control y aplicarlas a la solución de un problema específico, estudiar los tipos y causas de deslizamientos en taludes, así como los procesos constructivos de técnicas de mitigación. También plantean elaborar una herramienta sencilla para diagnosticar la estabilidad del talud y evaluar qué técnica de mitigación es la más adecuada, y finalmente elaborar una carpeta técnica con distintas alternativas de medidas de mitigación para ponerlo a disposición de la Alcaldía Municipal de Cuscatancingo y evalúe su viabilidad. Se concluye que: Las medidas de mitigación para deslizamientos que más se usan en el país se clasifican en las que buscan disminuir fuerzas desequilibrantes del talud y las que aumentan fuerzas resistentes al

movimiento. Es importante tomar en cuenta que, para la mitigación de deslizamientos, los problemas pueden tener tanto una solución sencilla como compleja, por lo que se debe tener un amplio conocimiento sobre técnicas existentes teniendo presente los recursos económicos. Los problemas de estabilidad no pueden eliminarse totalmente, pero se puede reducir los daños que producen los deslizamientos. Se debe estudiar los parámetros geotécnicos de la zona ya que cada medida de mitigación depende de la estabilidad geotécnica del talud y no se puede generalizar soluciones. La erosión y el agua son los factores más importantes en los deslizamientos. La técnica de recubrimiento con mortero resulta más económica, pero requiere mayor tiempo de ejecución. Los autores recomiendan: que se debe tomar en cuenta todos los factores del entorno como: geotécnicos, geográficos, económicos y humanos. Se debe garantizar la estabilidad del talud en los trabajos de mitigación, con implementación de bermas o pendientes. Con un bajo grado de amenazas, será suficiente implementar medidas de protección superficiales.

## 2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

### 2.3.1 Carreteras vecinales

Caminos pavimentados o no pavimentados, generalmente con acceso a pequeñas localidades rurales, que se caracterizan por tener bajo volumen de tránsito. Según el Manual de Diseño de Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito (2008), pavimentadas y no pavimentadas, el IMD para carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito es menor a 200 vehículos por día y para carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito es menor a 350 vehículos por día. Según la norma AASHTO, una carretera de bajo volumen de tránsito se caracteriza por tener tráfico hasta 400 veh/día, y está definido como caminos vecinales o locales, los cuales proveen acceso a propiedades aledañas a su derecho de vía, etc. A nivel nacional e internacional la mayoría de manuales toma como base a la norma AASHTO.

Tabla N° 5: Longitud de la Red Vial del Perú, según superficie de rodadura (km).

SUPERFICIE DE RODADURA	SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS			TOTAL
	NACIONAL	DEPARTAMENTAL	VECINAL	
RED VIAL EXISTENTE	27,053.70	27,639.60	114,260.54	168,953.84
Pavimentada	22,172.50	4,261.32	2,335.83	28,769.65
No pavimentada	4,881.20	23,378.28	111,924.71	140,184.19

Fuente: Gob.pe (MTC 2019)

Dependiendo de la región, topografía, clima, los elementos de la vía varían. Los elementos principales que conforman un camino son:

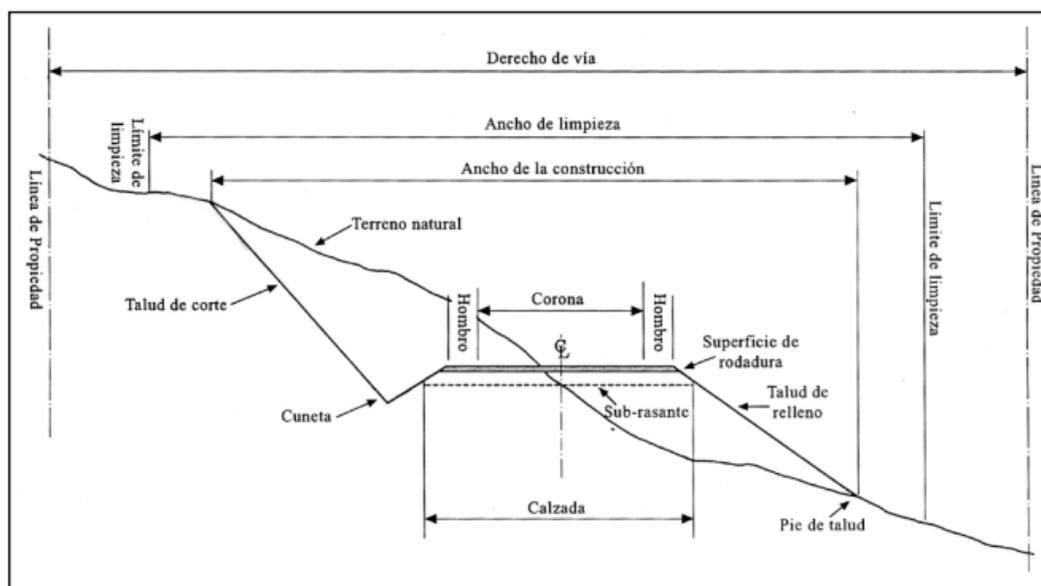


Figura N° 14: Elementos de un camino.

Fuente: Manual Revestimiento y mantenimiento de caminos con uso intensivo de mano de obra.

Plataforma: Consiste en la franja donde circulan los vehículos (superficie de rodadura) y, en algunos casos, las franjas laterales (bermas) las cuales sirven para estacionamiento del vehículo en caso se requiera. La plataforma es el principal elemento, es fundamental para el tránsito vehicular y es necesario conservarlo en buen estado. Ante el gradual deterioro de las plataformas en caminos rurales, se presentan fallas como deformaciones, baches, encalaminado; las cuales, según su grado de daños y magnitud, se intervienen en los mantenimientos (rutinarios o periódicos) con las siguientes actividades: Reconformación de la plataforma, Perfilado del camino, Reposición de afirmado.

Obras de drenaje: Es un sistema de encauzamiento de agua para sacarla rápidamente afuera del camino, de lo contrario, la vía no pavimentada puede deteriorarse de forma prematura, pues el paso del agua de las lluvias arrastra la superficie, pudiendo ocasionar deslizamientos, inestabilidades de taludes, socavación de obras de arte, erosión del terreno y daños adicionales.

Es importante la limpieza para asegurar que las obras de drenaje mantengan sus características originales y para el eficiente funcionamiento de los caminos. Las obras de drenaje se conforman por: Drenaje Superficial (que toma en cuenta el bombeo, las cunetas, zanjas de coronación, alcantarillas, canales, disipadores de energía), y Subdrenaje (filtros longitudinales).

Bombeo: se define como la inclinación transversal que tiene la superficie de la carretera para que el agua de la lluvia escurra hacia las cunetas o terreno natural. Generalmente, según el Manual Técnico de Mantenimiento Periódico para la Red Vial No Pavimentada, se considera 3% en este tipo de caminos. En el mantenimiento periódico se pretende mantener esta pendiente.

Cunetas: Elementos de drenaje en forma de zanjas que se ubican en los laterales del camino al pie del talud y tiene como función recibir y posibilitar la evacuación de forma eficiente del agua superficial presente en las plataformas o taludes hacia las alcantarillas o puntos de desfogue. Las cunetas pueden ser de forma triangular o trapezoidal y debe tener una pendiente longitudinal mayor a 2%.

Zanjas de coronación: Las zanjas de coronación vienen a ser elementos de drenaje constituidos por excavaciones en el terreno natural en la zona superior de los taludes, con la finalidad de encauzar las aguas superficiales de las lluvias que viene desde mayores alturas y escurra ladera abajo, para evitar el relleno de las cunetas, material de arrastre, posibles erosiones de taludes y afectar el camino.

Alcantarillas: Son estructuras de concreto, piedra o metálicas que se encargan de posibilitar el flujo del agua proveniente de las cunetas de un lado del camino

al otro. Sus dimensiones dependen de la cantidad de agua que circulará a través de ellas; y pueden ser de forma cuadrada o circular (tubo o cajón). Se ubican por debajo de la plataforma.

**Canales:** Los canales son zanjas que son construidas con el fin de recibir y encauzar el agua proveniente de obras de drenaje o de cauces naturales. Por lo general, son estructuras con revestimiento natural, piedra, o concreto. Se ubican en zonas donde las aguas se concentran. Y pueden ser de diferentes dimensiones.

**Disipadores de energía:** Generalmente es la vegetación que cubre los taludes y sirven para encauzar el agua superficial en taludes empinados y extensos recorridos.

**Filtros longitudinales:** Controlan la excesiva humedad y evacúan el agua presente en la plataforma. Permite evitar erosiones y reducir la presión hidrostática.

**Derecho de vía:** Está constituido por la plataforma y sus franjas laterales, faja de terreno de ancho variable donde está la carretera, sus obras complementarias, servicios, áreas previstas para próximas obras, y zonas de seguridad para el usuario. La mínima distancia absoluta entre un elemento exterior (obras de contención o pie de taludes) y la plataforma será de 2.00 m. La mínima deseable es de 5.00 m.

#### Obras de arte

**Puentes o pontones:** Estructuras de más de 10 metros de longitud (puentes) o menos de 10 metros de longitud (pontones) que se construyen con el fin de cruzar un río o quebrada. Esencialmente son construidos de concreto, de acero y de piedra. Tiene gran valor como patrimonio vial, por eso deben cuidarse mediante mantenimientos rigurosos para que siempre estén estables estructuralmente para una circulación vehicular segura.

Badenes: Estructuras de concreto o mampostería de piedra encima de un cruce de quebrada o cauce con la plataforma al mismo nivel con flujo de agua estacional. Su construcción depende de la dimensión del cauce y cantidad de agua que pasa. Sirven como continuación de la plataforma a la carretera.

Muros: Estructuras de concreto ciclópeo, mampostería de piedra; que sirven para brindarle estabilidad a los taludes de corte o terreno natural, sostener y a su vez proteger la plataforma.

Señalización: Son elementos colocados en el camino para la contribución a prevenir accidentes de tránsito y riesgos mediante advertencias, avisos de detalles de la vía, prohibiciones, en el camino y siempre deben estar visibles y colocados correctamente para los conductores.

Vados: Estructura de roca que se construye a través del fondo de un lecho de un arroyo que está generalmente seco, para poder mejorar el paso de vehículos durante periodos de estiaje o de sequía.

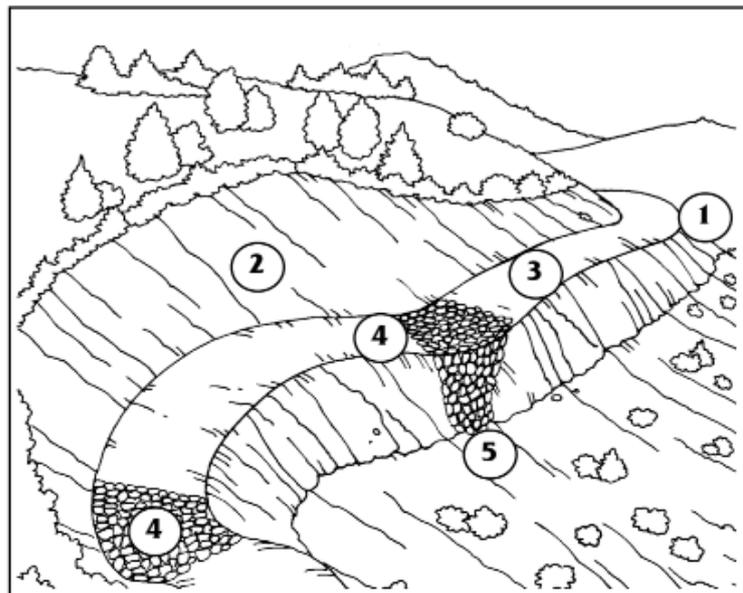


Figura N° 15: 1.Talud inferior, 2.Talud superior, 3.Vía, 4.Ondulaciones, 5. Enrocado.

Fuente: Manual Gordon Keller (2008)

Conservación vial de caminos: Se define, en general, como la conformación de actividades que se ejecutan por determinado periodo de tiempo para conservar la vía y sus componentes en buenas condiciones de transitabilidad o que las

interrupciones para su movilización sean mínimas, garantizando comodidad y seguridad. Así como preservar las inversiones efectuadas en el camino evitando su pronto deterioro.

**Mantenimiento rutinario:** Actividades permanentes que se ejecutan a diario en distintos sectores de la carretera con el fin de conservar sus niveles de servicio. Generalmente estas actividades son: bacheo, limpieza, perfilado, remoción de pequeños derrumbes.

**Mantenimiento periódico:** Actividades que se ejecutan en la carretera cada cierto periodo de tiempo para conservar sus niveles de servicio y evitar que aparezcan mayores defectos. Generalmente estas actividades son: reconstrucción o reparación de puentes y obras de arte, perfilado, desencalaminado, reposición de material granular, nivelación.

**Rehabilitación vial:** Realización de obras para restablecer sus características originales a la vía tomando en cuenta el nuevo periodo de servicio.

**Mejoramiento:** Realización de obras con el fin de aumentar el estándar de la carretera. Generalmente consiste en la modificación de la geometría de la vía (curvatura, alineamiento, pendiente y convertir a un camino de tierra a una carretera de afirmado).

**Atención de emergencias viales:** Pueden ser provocadas por la naturaleza, como lluvias y sequías prolongadas, deslizamientos, inundaciones, etc., los cuales pueden ocasionar afecciones graves en la carretera. También pueden presentarse por intervención del hombre como accidentes, protestas sociales, bloqueos, etc. En estos casos, los responsables del mantenimiento vial deben intervenir de acuerdo al Procedimiento para el Manejo de Emergencias Viales, y las condiciones que se hayan acordado contractualmente.

**Ciclo de vida de los caminos:**

Los caminos de bajo volumen experimentan un permanente deterioro debido a los diferentes elementos actuantes sobre ellos, como: el tránsito, el agua,

deslizamientos, etc. Estos agentes dañan al camino, en diferentes medidas, pero su participación es constante y acaba deteriorándolo hasta volverlo intransitable.

El desgaste de un camino es una transformación que presenta diversas fases, desde una etapa inicial, posteriormente por una etapa crítica donde su condición ya no es buena, para después desgastarse rápidamente, hasta su descomposición absoluta. Por ello, el mantenimiento no es una intervención que se realiza en cualquier momento, al contrario, es permanente en el tiempo, dirigida a extender su vida útil al mayor tiempo y reducir las inversiones a largo plazo.

En la práctica se observa que las entidades encargadas del mantenimiento o conservación de la vía sólo se ocupan en reparar los daños o fallas más graves en base a su presupuesto que generalmente son escasos. Esto conlleva al amontonamiento de proyectos atrasados y, a la necesidad de rehabilitación o reconstrucción total de las carreteras, generando mayor costo y que los países continúen subdesarrollados.



Figura N° 16: Deslizamiento en carretera de bajo volumen en Huarney.

Fuente: El Comercio

En efecto de esto es que en Latinoamérica los caminos están oprimidos a un ciclo que ha alcanzado un estado fatal. Este ciclo consiste en cuatro fases:

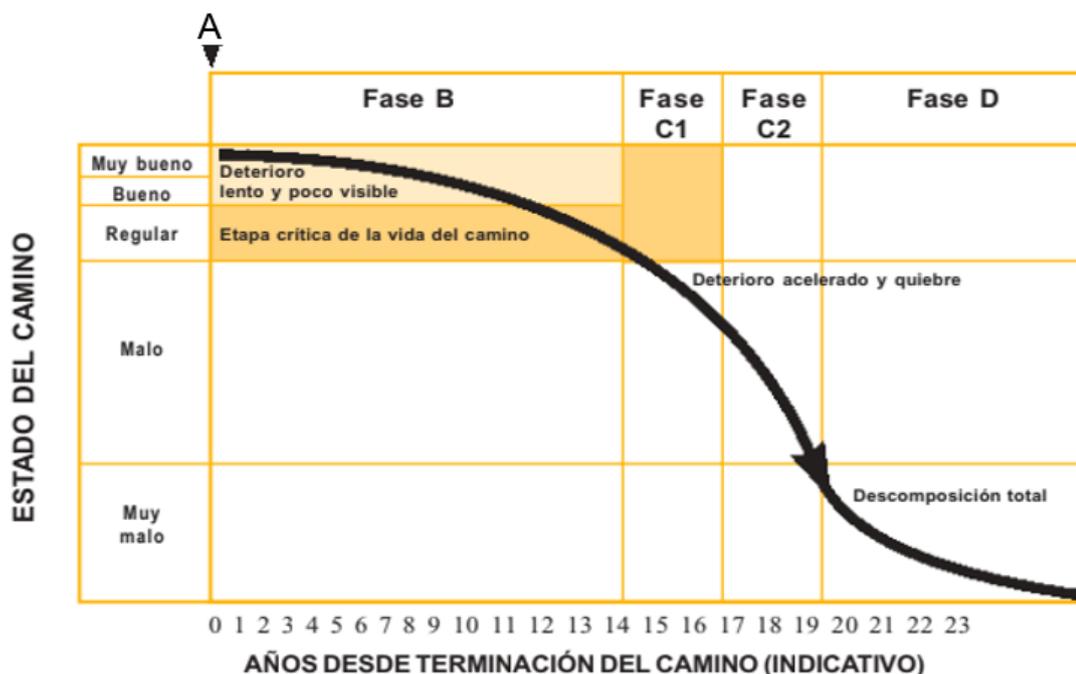


Figura N° 17: Condición de la vía sin mantenimiento.

Fuente: Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas: manual técnico.

#### Fase A: Construcción

Un camino puede tener una construcción sólida con ciertos imperfectos. Aun así, entra en servicio el mismo día en que se inaugura.

En ese momento el camino está en perfectas condiciones para saciar completamente las necesidades de los transeúntes. (Punto A de la figura N°1).

#### Fase B: Deterioro lento y poco visible

Mientras pasan los años, el camino sufre deterioros y desgaste lento, especialmente en la superficie de rodadura, y en mínimas medidas, en el resto de su estructura. Este debilitamiento se genera proporcionalmente a la cantidad de vehículos pesados y livianos que transitan en él, también influye el clima, el agua superficial de las lluvias y otros factores. La velocidad del deterioro también depende de la calidad de la construcción original. Para reducir la evolución del deterioro y desgaste, es necesario asignar, regularmente, medidas de mantenimiento, además de ejecutar las operaciones rutinarias de mantenimiento. Si no se realizan, la vida útil de la carretera se acorta considerablemente.

#### Fase C: Deterioro acelerado

Con el pasar del tiempo, los componentes del camino se consumen cada vez más y entra en una etapa de desgaste acelerado, soportando cada vez menos el tránsito vehicular (ver Figura N°4). Comenzando esta fase, la estructura básica del camino sigue ileso y a simple vista parece aún sólido; pero, no. Cada vez se observan más daños en la superficie y empieza a desgastarse la estructura básica, que al principio no es notorio a simple vista, pero mientras más se deteriora, se hace más evidente. Los daños pasan de ser puntuales a afectar gran parte de la vía de manera rápida.

#### Fase D: Descomposición total

Conforma la etapa final de su vida y puede durar muchos años. En esta etapa el tránsito vehicular se complica, la velocidad de circulación disminuye de manera brusca y la capacidad de la carretera queda limitada a sólo una parte de la inicial. Los vehículos empiezan a sufrir daños en los amortiguadores, ruedas, ejes y chasis. Los costos de operación de los vehículos aumentan considerablemente y el número de accidentes también. La vía se vuelve intransitable y solo circulan algunos camiones y vehículos.

En Latinoamérica existen casos de carreteras que llegaron a la etapa final de descomposición, al deterioro total de caminos que son esenciales para la vida socioeconómica del país. Su reconstrucción demanda una inversión costosa pudiendo haberse evitado si se hubiera intervenido en mantenimiento carretero. Se trata ahora de confrontar la lección e impedir que con el transcurso del tiempo sea abandonada.



Figura N° 18: Carretera vecinal.

Fuente: Mg. Ing. Víctor Arévalo Lay.

### 2.3.2 Deslizamientos (Movimientos en masa)

Los movimientos de tierra producidos en los taludes están englobados bajo el término general de “deslizamientos” o “movimientos en masa” según Cruden (1991) (en PMA-GCA, 2007), aclarando que “talud” es usado para identificar una superficie con relieve inclinado y “deslizamiento” para los movimientos de laderas. Para esta investigación se utilizará el término de “deslizamiento”.

Según Suárez (1998), los deslizamientos consisten en movimientos de masas de roca, residuos o tierra hacia el pie de un talud (Cruden, 1991), producidos por la acción de fuerzas gravitacionales, hidráulicas, y otros. González (2002) define los deslizamientos como reajustes del terreno para alcanzar un equilibrio ante cambios de condiciones, como consecuencia de adaptación ante los procesos geológicos y climáticos constantes. El Instituto Mexicano de Transporte (IMT, 2012), señala que los deslizamientos describen movimientos de taludes a través de una o más superficies de rotura.

Las áreas más propensas a sufrir deslizamientos son las montañosas zonas de relieve con procesos erosivos, zonas con materiales blandos y sueltos, zonas sísmicas y zonas precipitación elevada (Gonzales, 2002). Los fenómenos de

inestabilidad incluyen una combinación de procesos de erosión y denudación interrelacionados y mezclados entre sí (Suárez, 1998).



Figura N° 19: Deslizamiento de talud.

Fuente: Andina.pe

Taludes:

Según Rico & Del Castillo (1976), los taludes son superficies inclinadas con respecto a la horizontal que tomarán las masas de tierra de forma permanente. Se le llama ladera cuando el talud se produce de forma natural, y talud artificial cuando son hechos por el hombre.

Las laderas naturales tienen diferencias con los taludes artificiales en cuanto a problemas de estabilidad, sobre todo de terraplenes y de cortes, pero las más importantes están, por un lado, en los materiales involucrados que contienen, su naturaleza, su estructura, estratigrafía, condiciones de su meteorización, y por otro, situaciones que dependen de la historia geológica y formación del talud, condiciones climáticas, topografía, vegetación y la influencia que el ser humano haya tenido en ella. Con ello, mediante los estudios geológicos respectivos, se define la configuración de suelos y rocas, o el flujo de aguas subterráneas que forma el talud e influye directamente en su condición de estabilidad.

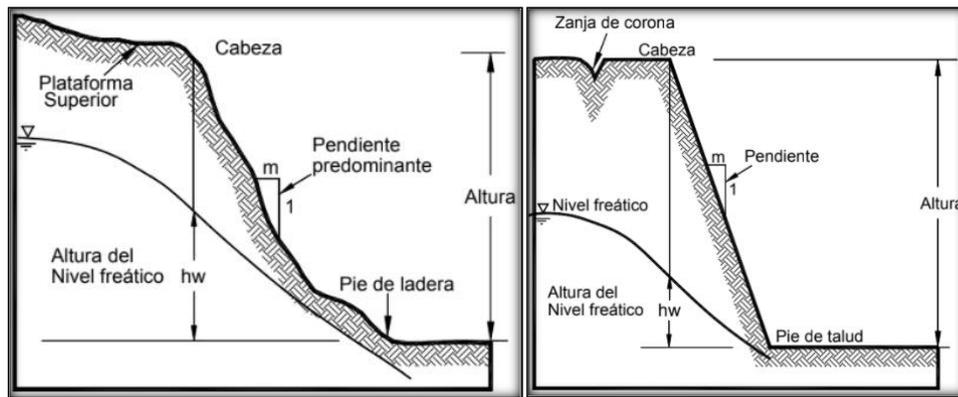


Figura N° 20: Ladera Natural.

Fuente: Suárez (1998)

Es importante la relación entre la resistencia del terreno y la gravedad, ya que ésta actúa como un factor desequilibrante y debe ser compensada con las fuerzas resistentes del talud, caso contrario, el desequilibrio producirá inestabilidad y desastres como deslizamientos, avalanchas, derrumbes, etc. El estudio de la estabilidad de taludes, es importante para tratar con fallas, así como con diseños de presas de tierra, diques, terraplenes y rellenos que, junto con excavaciones o cortes, aplicados para obra de ingeniería, forman taludes artificiales, ya que su naturaleza ha sido sometida por la influencia del hombre. Es importante conocer las partes que conforman un deslizamiento típico en un talud. Según Cruden (1991) en Suárez (1998), se toma en cuenta las zonas de desprendimiento y zona de acumulación, así como las siguientes partes:

- a) Superficie original: Es el área del terreno antes de la ocurrencia deslizamiento.
- b) Corona: Es la parte que está encima de la cabeza que no sufre alteraciones en el deslizamiento.
- c) Cima: Es la línea que divide la corona del escarpe principal.

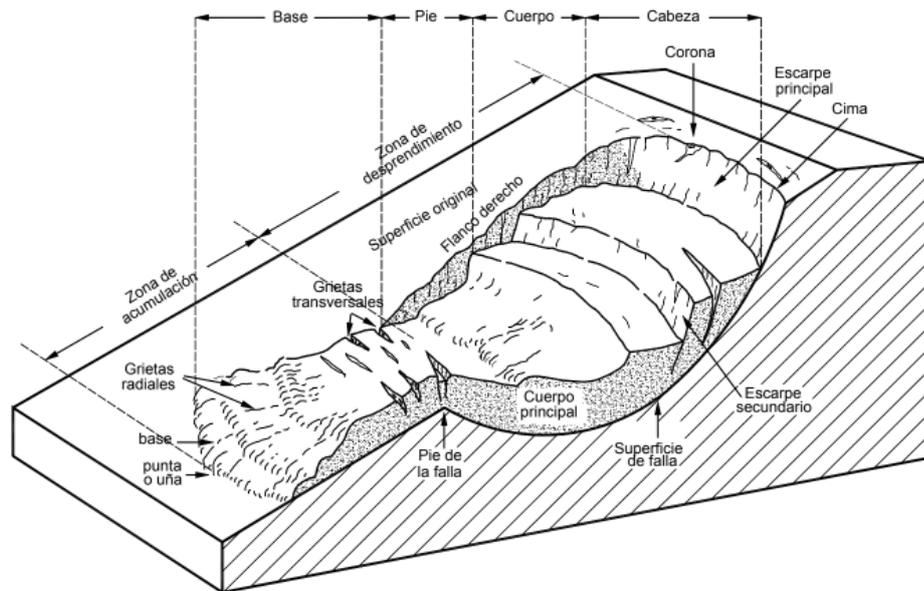


Figura N° 21: Partes de un deslizamiento.

Fuente: Varnes (1988) en Suárez (1998).

Zona de desprendimiento:

- d) Cabeza: es la parte superior de la masa desplazada.
- e) Escarpe principal: es el área más inclinada a lo largo de la superficie de falla generada por el deslizamiento.
- f) Superficie de falla: área que divide el volumen desplazado del terreno con el suelo que no se mueve.
- g) Cuerpo: Se refiere al material desplazado encima de la superficie de falla.
- h) Escarpe secundario: Es el área más inclinada de la masa desplazada diferencial dentro del volumen desplazado generado por el deslizamiento. Pueden existir varios escarpes secundarios en un deslizamiento.
- i) Flanco: perfil lateral del deslizamiento. Puede ser flanco izquierdo o flanco derecho, observado desde la corona hasta el pie.
- j) Pie: es la parte inferior del volumen desplazado por el deslizamiento sobre la superficie de falla en la zona de desprendimiento.

Zona de acumulación:

- k) Pie de la falla: es la línea que divide la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
- l) Base: área cubierta por material caído en la superficie original del terreno.

m) Punta o uña: El punto de la base, más alejado de la cima.

### 2.3.2.2 Tipos de deslizamiento

Los tipos de deslizamiento son tomados de diferente manera por varios autores.

Por ejemplo, Suárez (1998), con Varnes (1978) como referencia, incluye:

- Caídos
- Volcamiento
- Reptación
- Deslizamientos (rotacional y traslacional)
- Extensión lateral
- Flujos,
- Hundimientos
- Avalanchas.

Según Gonzales (2002):

- Deslizamientos (rotacional y traslacional)
- Flujos
- Desprendimientos o Vuelco
- Avalanchas rocosas
- Desplazamientos Laterales

Instituto Mexicano de Transportes (2012):

- Desprendimientos o Caídas de roca
- Vuelcos
- Extensiones laterales
- Flujos
- Deslizamientos (Rotacional y traslacional)

Rico & Del Castillo (1976)

- Caídas: Caídos de Rocas y Caída de suelos (Derrumbes)
- Deslizamiento
- Flujos

Según INDECI recopilamos datos de los mayores desastres del Perú en los últimos 10 años, obteniendo 2747 deslizamientos, 1765 huaycos, 1402 derrumbes, 29 reptaciones.

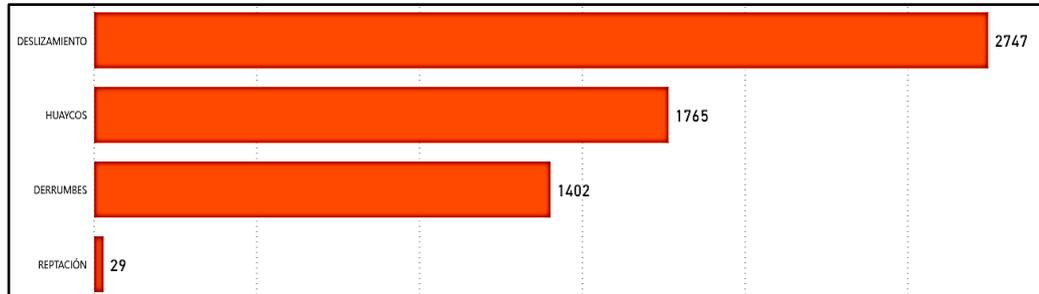


Figura N° 22: Movimientos en masa en el Perú en los últimos 10 años.

Fuente: INDECI

Para esta investigación, seleccionaremos los tipos de movimiento correspondientes a los estudios realizados por Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). En su base de datos de “Peligros Geológicos y Geohidrológicos del Perú”, se reconocieron 15 procesos de Movimientos en masa:

- Caída de rocas
- Derrumbes
- Vuelcos
- Deslizamientos
- Huaicos
- Avalanchas
- Reptación
- Erosión de laderas
- Inundación fluvial
- Arenamiento
- Erosión fluvial
- Aluvión
- Erosión marina
- Hundimiento
- Movimiento complejo

Las cuales se tomarán en cuenta para esta tesis, cuyos conceptos definiremos a continuación:

a) Caída de rocas

Desprendimiento de bloques de rocas de una ladera en caída libre, rodados o saltos, ocasionado por la gravedad terrestre, y se recomienda un control con mallas metálicas, anclajes, barras dinámicas, fijar bloques de roca inestable y eliminar rocas sueltas (INGEMMET).

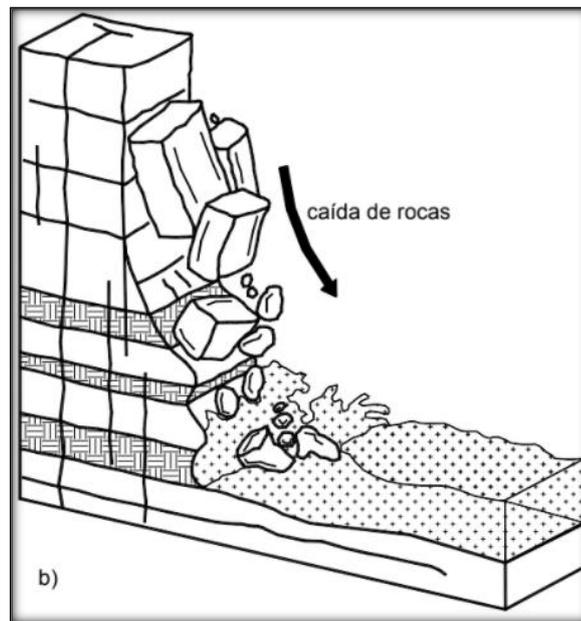


Figura N° 23: Caídos en un proceso de erosión.

Fuente: Suárez (1998).

b) Derrumbes

Caídas de masa de suelo o de rocas. Son fenómenos asociados a la inestabilidad de laderas en los cerros. Consisten en el desprendimiento, desplome o colapso de una masa de roca, suelo o ambos, por efecto de la gravedad, sobre una superficie de rotura, lluvias intensas, saturación, actividad humana y erosión fluvial (INGEMMET). El material removido puede ser desde partículas pequeñas hasta grandes bloques de suelo, y van a gran velocidad. Suárez (1998) señala que los derrumbes o caídos ocurren en taludes de gran inclinación, y que, por lo general, ocurren en depósitos aluviales y suelos residuales, y en zonas con un tipo de geología que alterna entre sedimentos de capas resistentes y débiles.

Según INGEMMET, hacer estructuras al borde de una ladera puede ocasionar que algunas partes se fracturen y caigan junto con el material rocoso; y si se realizan estructuras bajo el talud, podrían caer grandes rocas desde la parte superior. Sin embargo, la institución recomienda verificar la pendiente donde se encuentra la estructura y reubicarla si es muy alta, y evaluar con un experto las siguientes medidas de mitigación: mallado de acero cubierto con cemento, con tubos de drenaje, o proteger con muros de contención y presas de gavión.



Figura N° 24: Los derrumbes ocurren con frecuencia en carreteras.  
Fuente: CENAPRED (2008).

### c) Vuelcos

Es un movimiento de rotación de un gran cuerpo de un talud hacia adelante sobre un punto de giro por debajo de su centro de gravedad, y se produce generalmente por la inclusión de fluidos en discontinuidades, por fuerzas de gravedad y empuje de cuerpos adyacentes, y ocurre mayormente en suelos rocosos (Varnes, 1978 en Suárez, 1998).

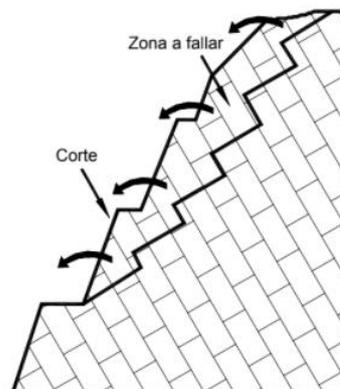


Figura N° 25: Volcamiento.  
Fuente Suárez (1998).

Según INGEMMET, se puede tomar como recomendaciones modificar la geometría del talud, controlar la saturación de la ladera, reubicar las estructuras (vivienda), y como solución se toma colocar enmallado de acero y barreras dinámicas.

#### d) Deslizamientos rotacionales y traslacionales

Es un movimiento de masas de tierra, las cuales se deslizan a lo largo de una superficie de falla en el talud o ladera. Se genera en un proceso gradual, produciendo cambios volumétricos (Suárez, 1998). Tiene una velocidad variable y puede ocupar varios miles de metros cúbicos de masas de suelo (González, 2000). Sucede por las características del suelo como la dureza, humedad, pendiente o filtración (INGEMMET). Se dividen en rotacionales y traslacionales.



Figura N° 26: Deslizamiento en camino vecinal en Chinchao y Pillao (2019).

Fuente: Info región.pe.

#### Deslizamientos Rotacionales

Según Rico & Del Castillo (1976), se produce cuando en la zona interior del talud actúan esfuerzos cortantes que superan su resistencia y vencen a los esfuerzos cortantes del suelo, formando una superficie curva de deslizamiento. La superficie de falla puede ser cilíndricas o concoidales, o de diversas formas, dependiendo de la naturaleza del material.

Ocurren usualmente en suelos que son homogéneos, pero en zonas tropicales, aunque el movimiento es curvo, no es necesariamente circular (Suárez, 1998). En el caso de fallas rotacionales circulares, producen distorsión de los materiales, y ocurren de forma más frecuente en materiales arcillosos. En caso de fallas rotacionales de otras formas no circulares, es común en arcillas sobreconsolidadas, que se presentan en taludes diferentes, ya sea por estratificación, por meteorización, o causas de desorden en la estructura del talud (Rico & Del Castillo, 1976).



Figura N° 27: Movimiento de Rotación.

Fuente: Deslizamientos: Análisis Geotécnico (1998).

### Deslizamientos Traslacionales

Consisten en un desplazamiento traslacional del talud sobre superficies de falla plana, que se desarrolla en paralelo al estrato débil, que son generalmente de arcillas blandas, arena fina, o limos no plásticos sueltos. Esto ocurre debido a acuíferos o elevadas presiones de poro al interior de las arcillas, por lo que se presume que está relacionada con las temporadas de lluvias, (Rico & Del Castillo, 1976). Las masas de suelo se rompen y pueden convertirse en flujo, dependiendo también de las inclinaciones altas, así como la influencia de su estructura, que pueden ocurrir sobre una, dos, o varios niveles de discontinuidades (llamados, respectivamente, deslizamientos de bloque, de cuña y falla en escalera) (Suárez, 1998).



Figura N° 28: Deslizamiento Traslacional.

Fuente: Deslizamiento: Análisis Geotécnico (1998)

e) Huaico

Es un término quechua y, por definiciones de autores en nuestras referencias, es equivalente a flujos de detritos; por lo tanto, emplearemos los conceptos de este término para hablar de los huaicos. Se trata de un movimiento en masa canalizado y con alta pendiente; es decir, tiene una trayectoria ya definida (Proyecto Multinacional Andino de Colombia, 2007). Es un movimiento rápido de rocas, escombros y suelos saturados de agua, que ocurre en las laderas y cauces de quebradas con pendientes pronunciadas cuando ocurren lluvias intensas y prolongadas, desbordándose lateralmente depositándose en forma de abanico o cono en la parte final (INGEMMET).

Según Suárez (1998), se caracteriza por movimientos muy rápidos producidos principalmente por lluvias intensas que saturan los materiales subsuperficiales. Esto produce pérdida de resistencia de los cuerpos de suelo convirtiéndolos en fluidos viscosos. En su camino, los huaicos transportan suelos, rocas, lodo, árboles, escombros, vegetación, partículas de todo tamaño, y todo lo que esté a su paso.

Es uno de los desastres más destructivos y frecuentes en la costa del Perú, ocasionado por el Fenómeno del niño en los periodos entre diciembre y marzo, Tiene consecuencias catastróficas como daños materiales, grandes daños a infraestructuras, y víctimas mortales. No solo ocurre en zonas rurales, sino también en zonas urbanas.



Figura N° 29: Caída de huaico en Aplao, Arequipa (2019).

Fuente: Diario Andina

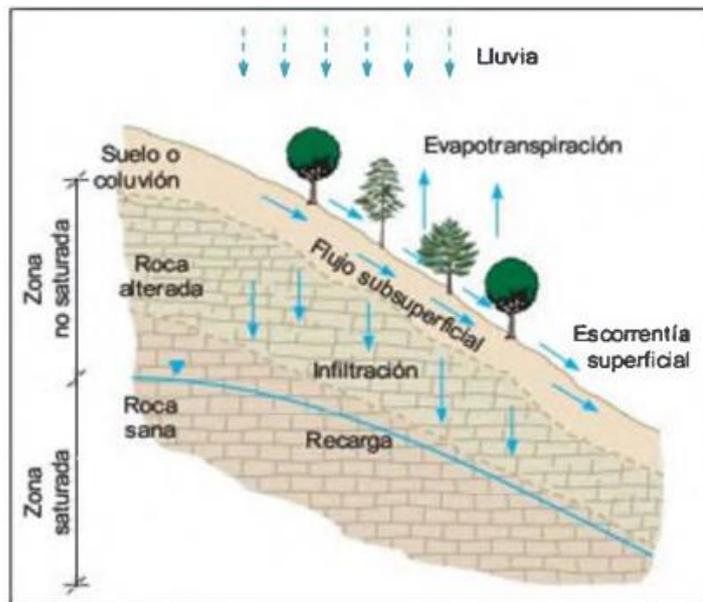


Figura N° 30: Esquema de circulación del agua en una ladera.

Fuente: Ingeniería geológica (González, Ferrer, Ortuño & Oteo)

#### f) Avalancha

Flujo no canalizado de detritos saturados superficiales o rocas muy fracturadas, muy rápidos, que se inician como deslizamientos o derrumbes (INGEMMET). A diferencia de los huaycos, este movimiento se desplaza sobre áreas abiertas en laderas muy inclinadas. Se generan a partir de flujos que pueden ser causados por deshielo de nevados, movimientos telúricos en zonas montañosas, y precipitaciones ocasionalmente altas. Esto genera deslizamientos progresivos

y una combinación de flujos que forma grandes masas de suelo con un comportamiento viscoso a velocidades de hasta 50 metros por segundo. La falta de vegetación también tiene una fuerte influencia en estos desastres, pero no es un factor principal. Las avalanchas generalmente corresponden a fenómenos regionales que se encuentran en una cuenca de drenaje. El movimiento toma lugar luego de una colisión de masas de cuerpos de tamaño de partículas o de grandes bloques se mueven. Se le relaciona también con “flujo turbulento de granos” Jaime Suárez (1998).



Figura N° 31: Bloqueo en carretera vecinal por flujo en Huánuco (2019).

Fuente: tudiariohuanuco.pe



Figura N° 32: Deslizamiento en carretera vecinal en Pozuzo, Oxapampa (2015).

Fuente: Diario Correo.

#### g) Reptación de suelos

Puede producirse por la dilatación y contracción a causa de la saturación de la superficie del suelo, y tiene como principal característica un movimiento

extremadamente lento. Presenta deformaciones continuas del suelo que van en dirección de su pendiente. Depende también del movimiento de otros materiales móviles subyacentes, y como solución se debe mejorar el drenaje y forestar (Suárez, 1998).



Figura N° 33: Reptación de suelos en Sihuas, Ancash. (2014).

Fuente: andina.pe

#### h) Erosión de laderas

Según INGEMMET, se presenta generalmente en masas de suelo no consolidadas como rocas o suelos muy meteorizados, ocasionada por las aguas de escorrentía por lluvias, sobre todo en zanjas, cárcavas, laminar y surcos. Los lugares carentes de vegetación como vertientes de climas áridos y zonas deforestadas, son las más propensas a este tipo de erosión (erosión en cárcavas). Cárcava tiene como definición el curso de agua en una ladera, sujeto a bruscas avenidas. Cuando llega a ser muy profundo y elimina la capa de suelo totalmente, dan lugar a tierras malas (“paisaje abarrancado”). Desencadenan huaicos, derrumbes y deslizamientos. Para laminar se recomienda mantener las coberturas vegetales, establecer surcos en el contorno, barreras vivas y tener una evacuación de aguas como zanjas y acequias; para cárcavas se recomienda la construcción de defensas con pequeños diques escalonados, o con materiales como rocas o troncos; y para surcos, eliminarlos si no sobrepasan el 20% de pendiente, y hacer barreras transversales surcos profundo para evitar que se conviertan en cárcavas.

i) Inundación Fluvial

Son acumulaciones de agua ocasionadas por un incremento inusual de los niveles de agua, generado por desbordes de ríos, lluvias torrenciales, ruptura de canales, insuficiente sistema de drenaje o actividades antrópicas (INGEMMET); y por consecuencia, todo esto puede afectar con daños a las estructuras, pérdidas humanas, áreas productivas, dejar aguas estancadas, problemas sanitarios para los pobladores, proliferación de insectos, y erosión sobre el borde del cauce modificando el curso. Según la Institución, se recomienda evitar situarse en los bordes del río, realizar estudios hidrológicos e hidráulicos e implementar un sistema de alarma.

j) Arenamiento

Es un fenómeno que se produce por acumulación de arena y migración, que invade los terrenos y puede obstruir carreteras e infraestructura que encuentre a su paso por efecto del viento (INGEMMET), y se recomienda la limpieza de arenas, reforestación, evitar acumulación de arenas.

k) Erosión fluvial

Consiste en un socavamiento de los bordes de un río por acción de las aguas, la cual es capaz de arrancar trozos de roca y suelo, y tiene como consecuencias el desprendimiento de casas, puentes, agrietamientos, y recomienda INGEMMET, no construir al borde los ríos y proporcionar defensas ribereñas.

l) Aluvión

Desplazamiento de gran volumen de lodo a gran velocidad. Movimientos con fragmentos depositados por una corriente natural de agua o por un movimiento tipo flujo canalizado, causado por la rotura de una presa o el desembalse de una laguna; y como consecuencia, ocasiona pérdidas humanas y devastación del medio natural; y se recomienda disponer de un plan de evacuación, situarse en zonas elevadas, y muro de contención (INGEMMET).

m) Erosión marina

Consiste en un desgaste producido por el oleaje y la corriente marina sobre el borde litoral, que trae como consecuencia, desgaste sobre el material rocoso, produciendo arcos marinos, acantilado, flechas marinas, derrumbes y caída de rocas (INGEMMET), y se recomienda no construir infraestructuras en la zona.

n) Hundimiento

Es un desplazamiento vertical brusco de las masas de suelo o roca tomando en cuenta su velocidad: si es un desplazamiento muy rápido, se le llama colapso, y si es lento, se le llama subsidencia; y tiene como consecuencia la destrucción de elementos materiales (INGEMMET).

o) Movimiento Complejo

Es la combinación de dos o más tipos de movimiento de masa, teniendo como recomendación implementar sistemas de alerta, reubicación y señalar rutas de evacuación.

### 2.3.3 Factores que intervienen en los Deslizamientos

Describe los comportamientos que afectan a la estabilidad de taludes. Los taludes siguen procesos complejos, y dependen de varios factores que interactúan entre sí y definen un comportamiento (Suárez, 1998). Gonzáles (2002) señala que los factores son capaces de modificar las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno, y pueden depender de su propia naturaleza, del terreno o de agentes externos.

Autores de libros sobre el tema, tienen diferentes consideraciones al enumerar cada uno de los factores que intervienen en los deslizamientos. A continuación, se presenta una tabla indicando qué factores de deslizamientos se ha tenido en cuenta por cada autor citado en el presente trabajo de investigación.

Tabla N° 6: Factores que intervienen en deslizamientos según autor.

	AUTOR		
	SUAREZ	GONZALES	RICO & DEL CASTILLO
<b>FACTORES QUE INTERVIENEN EN DESLIZAMIENTOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Litología o Formación geológica</li> <li>-Tectónica y la Fracturación</li> <li>- Geomorfología</li> <li>-Estado de Meteorización</li> <li>- El Clima y la Meteorología</li> <li>-Pendiente y relieve</li> <li>-Hidrogeología</li> <li>-Sismicidad</li> <li>-Cobertura vegetal</li> <li>-Efecto antrópico</li> <li>-Factor tiempo</li> </ul>	<p><b>FACTORES CONDICIONANTES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Relieve (pendientes, geometría)</li> <li>-Litología (Composición, textura)</li> <li>-Estructura geológica y estado tensional</li> <li>-Propiedades geomecánicas de los materiales</li> <li>-Deforestación</li> <li>-Meteorización</li> </ul> <p><b>FACTORES DESENCADENANTES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Precipitaciones</li> <li>-Condiciones hidrológicas</li> <li>-Aplicación de cargas estáticas o dinámicas</li> <li>-Cambios morfológicos de la geometría en las laderas</li> <li>-Erosión o socavación del pie</li> <li>-Acciones climáticas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Actividades antrópicas</li> <li>-Erosión y transporte</li> <li>-Esfuerzos tectónicos</li> <li>-Esfuerzos tectónicos o uso de explosivos</li> <li>-Peso del material que toma el talud</li> <li>-Agua</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

Para esta tesis nos basaremos en los factores que intervienen en deslizamientos nombrados por Suárez en su libro *Análisis geotécnico* (1998), porque sus estudios se realizan en Colombia, país vecino del Perú, y consideramos que tiene características similares a nuestro país en cuanto a geografía, relieves, sismos, climatología, etc.; y, además, comparte con nosotros la Cordillera de los Andes.

La evolución natural de la tierra tiene como parte fenómenos geodinámicos como inundaciones, huaicos, movimientos sísmicos, deslizamientos y esto logra someterla, directa o indirectamente, a procesos geomorfológicos constantes.

El Perú se caracteriza por tener una geología muy diversa, condiciones climáticas y geomorfológicas en su territorio, que causan un comportamiento geodinámico produciendo fenómenos naturales.

La geodinámica comprende procesos de transformación química o física que pueden ser endógenos o exógenos, y se producen sobre la corteza terrestre de forma interrumpida. Esto cambia su estructura y morfología. Estos fenómenos suceden en períodos de escala geocronológica y mantienen en transformación constante a la tierra. *Aguirre Castro (2007)*.

Los fenómenos de geodinámica externa se relacionan directamente con cualquier actividad ingenieril en zonas rurales; por ejemplo, en las obras viales un mal estudio de los fenómenos y el lugar pueden influir en la paralización

parcial o total de la obra y se tendrá que hacer mayores inversiones y gastos para rehabilitarse por completo.

a) Litología o Formación geológica:

Según Suárez (1998), cada litología o formación geológica de un talud tiene un patrón de comportamiento único, como por ejemplo un granito y una caliza que, aunque pueden estar bajo condiciones similares, presentan diferentes características de perfil geotécnico y desarrollan un comportamiento diferente de los taludes. Esto es debido a las propiedades de sus materiales, tales como erosividad, permeabilidad, potencial de meteorización, etcétera.

El autor indica que, si existe un material homogéneo conformando el talud, se puede interpretar un modelo conceptual de forma sencilla; pero si el talud se conforma de diferentes tipos de materiales, el comportamiento en conjunto es distinto al de cada material por separado. Esto ocurre en los suelos residuales. En un modelo conceptual se incluyen todos los materiales conformantes del talud, considerando sus características y comportamiento, tanto de cada material por separado como en conjunto, el cual define las características del deslizamiento.

Suárez (1998) señala que se debe tener en cuenta la microestructura de partículas (textura de materiales y ángulo de reposo de material) que conforma las rocas y suelos en los deslizamientos, así como su estructura geológica.

Para Suárez (1998), los deslizamientos ocurren sobre superficies de debilidad (que se pueden llamar “estructura geológica”) existentes en el suelo y roca, y está conformada por discontinuidades, fracturas, planos de estratificación o superficies de debilidad del macizo; y además señala que los elementos de estructura geológica que más influyen en los deslizamientos son los planos de estratificación (cambio de litología del material), planos de foliación o esquistosidad (microestructura con superficie de debilidad para ocurrencia de deslizamientos en esquistos), fracturas (planos de rotura en formaciones rocosas, relacionada a procesos tectónicos), y los slickensides o paleo-superficies de movimiento (superficies lisas con baja resistencia que han tenido un deslizamiento previo).

b) Tectónica y fracturación:

Es un factor que puede producir fallamiento y fracturación. Las discontinuidades generadas funcionan como conductores de agua y activadores de presión de poro cuando se abren, produciendo erosión en las paredes (Suárez, 1998). Según Gonzales (2002), los movimientos sísmicos, dependiendo de su magnitud y distancia desde el epicentro, puede ocasionar deslizamientos, flujos (huaicos), avalanchas, y desprendimientos, además de la reactivación de deslizamientos antiguos.

c) Geomorfología:

Es el estudio de las formas de la superficie de la tierra, origen, procesos de su desarrollo y propiedad de materiales, con lo cual puede predecirse el comportamiento y futuro estado del talud (Brusden, 2002 en Suárez, 1998).

Para evaluar el comportamiento de un talud mediante un modelo conceptual, se debe tomar en cuenta principalmente la geomorfología y su efecto sobre los procesos de inestabilidad (Suárez, 1998), apuntando a que los procesos pasados y presentes son la base para los procesos que ocurrirán en el futuro, además de su relación con la litología y otros elementos constitutivos, no solo en el talud sino en todo el sector.

d) Estado de meteorización:

Según Gidigasú (1972) en Suárez (1998), la meteorización de los materiales es fuerte en zonas tropicales donde abundan las altas y cambiantes temperaturas, y se caracteriza por la concentración de óxidos de hierro y aluminio, la descomposición de feldspatos y minerales ferromagnesianos, y la remoción de las bases de  $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$  y  $\text{MgO}$ .

La meteorización influye directamente en la susceptibilidad a los deslizamientos ya sea porque disminuye la resistencia al cortante o por cementar las partículas con óxidos o silicatos. En el análisis de los procesos de los taludes con respecto a la meteorización, se debe tomar en cuenta la profundidad, intensidad, y tipo de meteorización (Suárez, 1998).

e) Pendiente y Relieve:

Según Suárez (1998), los taludes con altas pendientes son vulnerables a derrumbes, vuelcos y flujos residuales. Suárez indica que cuando aumenta una pendiente, se incrementan las fuerzas actuantes que desestabilizan al talud, y disminuyen las fuerzas resistentes junto con los factores de seguridad al deslizamiento. A continuación, se muestra la imagen de cómo actúan las fuerzas sobre un bloque en una superficie inclinada cuando va aumentando su pendiente.

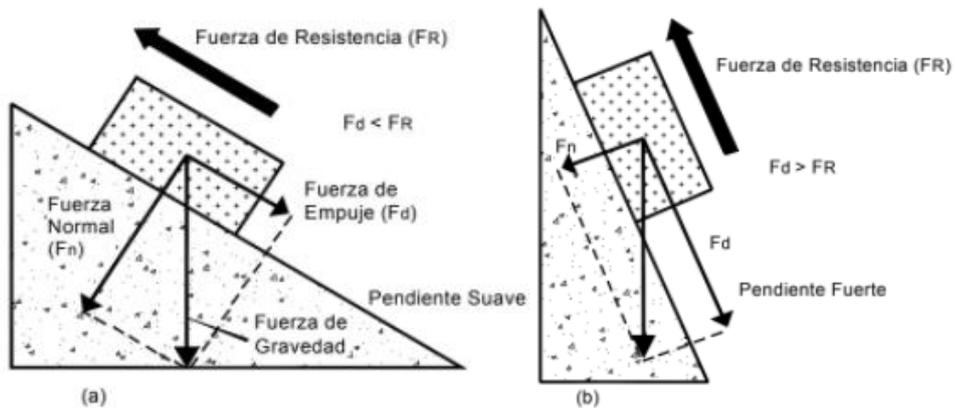


Figura N° 34: Esquema de un bloque en una pendiente.

Fuente: Suárez (1998)

Según Gonzales (2002), el relieve es importante en la estabilidad de un talud, considerando que se necesita al menos una pendiente, por baja que sea, para que un deslizamiento tome lugar, como los flujos de detritos (huaycos).

Por otro lado, Suárez indica que, aunque el relieve es un factor importante en la estabilidad de un talud, no necesariamente el talud será más inestable si tiene mayor pendiente.

f) Clima y la hidrología:

El clima, la temperatura y la precipitación son los principales influyentes en la inestabilidad de los taludes, ya que su presencia o ausencia pueden definir las condiciones para los procesos de meteorización ya sea física o química (Suárez, 1998). El autor señala que, bajo condiciones climáticas diferentes, los taludes forman perfiles diferentes de comportamiento diferente; incluso se modifican

sus fuerzas internas; como por ejemplo una lluvia torrencial en una zona árida puede provocar deslizamientos y avalanchas.

Según Gonzales (2002), los factores del clima se relacionan con la intensidad, volumen, distribución de precipitación, régimen de lluvias, y, sobre todo, la respuesta del talud a estas condiciones hidrológicas, que pueden modificar su estado de tensión, presión de poros y peso, erosión interna y externa, sobre todo la resistencia de las fuerzas cortantes. La cantidad de agua previa en el suelo, cantidad de agua filtrada, el nivel freático, topografía, permeabilidad, vegetación, grado de saturación, y más características del suelo del talud, son de las que depende la estabilidad del talud, siendo la falta de vegetación y presencia de materiales sueltos los más influyentes.

A causa de la precipitación se puede generar flujo de detritos (huaicos), deslizamientos (rotacionales o traslacionales), desprendimientos de bloques y reactivación de antiguos deslizamientos.

El autor explica que las precipitaciones son los principales causantes de fenómenos de inestabilidad y reactivaciones de deslizamientos afectando por lo general a largo plazo, como se registró en los años 1995-1996 en su país (España),

g) Hidrogeología:

Suárez (1998) señala que el modelo hidrológico es importante para analizar la estabilidad de taludes, y que se debe considerar las zonas de infiltración en las partes altas de los taludes, así como los que están a varios kilómetros tomando en cuenta si éstas afectan los niveles freáticos y presión de poros del talud. Indica también que debe tomarse en cuenta la permeabilidad (que facilita la llega de las corrientes de agua) y porosidad de materiales (que afecta la capacidad de almacenamiento del agua) del talud, además de la localización y características de niveles freáticos, las fuentes, las corrientes subterráneas y sus fluctuaciones.

h) Sismicidad:

Las zonas montañosas tienen alto nivel de sismicidad; además esas mismas se originan por procesos tectónicos, y para un deslizamiento, un movimiento tectónico es su principal causa de activación (Suárez, 1998).

Suárez indica que la onda sísmica se relaciona con el triple efecto de la reducción de resistencia por incremento de presión de poros, el incremento de esfuerzo cortante, y la deformación, y en suelos granulares saturados, se puede provocar la licuación, la falla y llegar a la cortante.

i) Cobertura vegetal

Suárez (1989) resalta que la vegetación cumple un papel importante en la condición hidrológica, evitando procesos de infiltración y evapotranspiración, y protegiendo contra la erosión en los taludes. Además, por producción de materia orgánica y por acción de las raíces, se cementan las partículas, generando un refuerzo del suelo y luego la estabilidad en el talud. El análisis del proceso de vegetación debe tomar en cuenta la flora, fauna, procesos ecológicos, etc., ya que influyen en el comportamiento de los taludes.

j) Efecto antrópico:

Las actividades humanas pueden influir en los cambios del medio ambiente de un talud y su comportamiento, incluso hasta activar un deslizamiento del propio (Suárez, 1998); estas actividades antrópicas pueden ser: agricultura, irrigación, construcción de carreteras, etc.

k) Factor Tiempo:

Un deslizamiento puede ocurrir luego de procesos que afectan al talud, que en su mayoría suceden en largos periodos de tiempo (Suárez, 1998). Por ejemplo, un talud puede aparentar estabilidad, pero posiblemente puede estar sufriendo procesos que con el tiempo producirán una falla. Según Suárez (1998), depende mucho de las condiciones ambientales y del clima, ya que varían con el tiempo; como en temporadas secas que un talud no presenta movimientos, en temporada de lluvias puede ser diferente. Esto es notable en una reptación de

suelos, que con el pasar del tiempo puede convertirse en otro tipo de deslizamiento como traslación.

#### 2.3.4 Riesgo de deslizamientos

Para desarrollar el presente capítulo, nos basamos en la Metodología de Gestión para Cortes Carreteros del Instituto Mexicano de Transporte.

Los deslizamientos se producen casi siempre en áreas con relieves topográficos grandes, que se caracterizan por tener rocas sedimentarias relativamente débiles (pizarras, lutitas y otras) o depósitos de suelo hasta cierto punto impermeables que contienen estratos portadores de agua intercalados. En estas circunstancias los deslizamientos que ocurrieron en el pasado geológico, sean o no activos en la actualidad, representan un riesgo importante para proyectos ubicados al pie de laderas. En general, es muy peligroso construir en áreas de deslizamientos potenciales y, si existen alternativas de reubicación o de estabilización, se debe adoptar alguna de estas.

Se requieren estudios geológicos detallados para evaluar el potencial de deslizamientos y se debe remarcar la detección de las áreas de antiguos deslizamientos.

Entre los procedimientos que tienden a estabilizar un deslizamiento activo, o a proveer una estabilidad continua a una zona de deslizamientos antiguos, se encuentran:

1. Disminuir los esfuerzos actuantes en el talud, se puede lograr modificando la geometría del talud, remoción de material suelto del talud.
2. Aumentar la resistencia del suelo, se aplica con el drenaje del subsuelo con el objeto de deprimir los niveles piezométricos a lo largo de la superficie del deslizamiento potencial o con el mejoramiento de suelos.
3. Aumentar los esfuerzos de confinamiento del talud, se puede lograr mediante construcción de muros de contención al pie de la masa del deslizamiento potencial que impida su movimiento.

En terrenos inclinados donde no se hayan detectado previamente deslizamientos, se debe tener cuidado de reducir la posibilidad de deslizamiento de los rellenos superpuestos al remover el material débil o

potencialmente inestable, al formar terrazas y enclavar los rellenos en materiales firmes y (lo más importante) al instalar sistemas efectivos de drenaje del subsuelo.

Las excavaciones que resultan en un incremento en la inclinación de las pendientes naturales son potencialmente dañinas y no se deben realizar. Se recomienda encauzar y colectar el agua superficial con el fin de evitar la erosión y la infiltración. Todo estudio geotécnico debe iniciarse con un reconocimiento detallado del terreno a cargo de personal experimentado. El objetivo de este reconocimiento es contar con antecedentes geotécnicos previos para el análisis de riesgo.

### Riesgo

Según el Instituto mexicano del transporte (IMT, 2012), se considera como un riesgo de talud de corte, aquel que pueda generar un deslizamiento de materiales o escombros de suelo y roca, que puedan causar afectación severa a la integridad de la población y/o al medio carretero. Según el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGRED), el riesgo de desastre es la probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro.

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad}$$

### Peligro

Según el IMT, el peligro, es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por la actividad del hombre, potencialmente nocivo, de una magnitud dada, en una zona o localidad conocida, que puede afectar un área poblada, infraestructura física y/o el medio ambiente. Según SINAGRED, el peligro es la probabilidad que un fenómeno físico, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, ocurra en un lugar específico, en un periodo inmediato y sustentado por una evidencia técnico científica que determinen las acciones inmediatas y necesarias para reducir sus efectos.

Se muestran algunas características a tomar en cuenta en la evaluación preliminar de acuerdo a las categorías de la tabla N°101:

1. Bajo. El corte presenta pequeños desprendimientos y desgranamientos, fácil limpieza. Altura menor a 5 m y ángulo de talud menor a 30°.
2. Medio. Los desprendimientos suelen ser entre 30 cm y 60 cm, existen irregularidades en la superficie de la cara. Altura entre 5 a 10 m y ángulo de talud entre 30° y 40°.
3. Alto. Desprendimientos y escombros, requiere acciones de mantenimiento considerables, no basta con simple limpieza. Erosión en la cara y corona del talud, entre 10 a 20 m y ángulo de talud entre 40° y 60°.
4. Muy alto. Desprendimientos mayores a 1.50 m, y presencia de escombros., requiere mantenimientos mayores y reparaciones en la vía. Presenta agua en cara del talud, variaciones estratigráficas y fuertes discontinuidades. Erosión en la cara y corona mayor a 20 m y ángulo de talud mayor a 60°.

#### Vulnerabilidad:

Según el IMT (2012), la vulnerabilidad, es el grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico de una magnitud dada. Es la facilidad de como un elemento (infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta y desarrollo político-institucional, entre otros) puede sufrir daños humanos y materiales. Según SINAGRED, La vulnerabilidad es la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas de sufrir daños por acción de un peligro.

Para su análisis, la vulnerabilidad debe promover la identificación y caracterización de los elementos que se encuentran expuestos, en una determinada área geográfica, a los efectos desfavorables de un peligro adverso. Se muestran algunas características a tomar en cuenta en la evaluación preliminar de acuerdo a las categorías de la Tabla N°60.

1. Baja. Tráfico vehicular bajo. Los conductores pasan desapercibidos ante las fallas.

2. Media. Tráfico vehicular considerable. El conductor debe desacelerar en presencia de la falla. Existen daños poco notables en las estructuras cercanas (puentes, superficie de rodamiento, guarniciones, tuberías, señalamientos, postes de luz/teléfono).

3. Alta. Tráfico vehicular considerable. El conductor debe desacelerar frecuentemente en presencia de la falla. Las estructuras cercanas presentan alteración en la verticalidad, así como en otras de sus características.

4. Muy alta. Tráfico vehicular mayor. El conductor frena totalmente en presencia de la falla. Existen daños muy notables en las estructuras cercanas (puentes, superficie de rodamiento, guarniciones, tuberías, señalamientos, postes de luz/teléfono).

Para la implementación de medidas de prevención y control es conveniente realizar un análisis de riesgo, y para esto es importante definir los tipos y procesos, sus parámetros de formación y progreso y la previsión de las consecuencias resultantes. A partir de este procedimiento es posible caracterizar las situaciones de riesgo incluyendo sus dimensiones.

En este sentido se puede concluir que se trata de varias situaciones de riesgo localizado, afectando solamente a algunos sitios específicos del área ocupada o una situación de riesgo generalizado que afecta a toda el área ocupada. Esta caracterización es fundamental para definir la mejor forma de enfrentar un problema de deslizamientos.

Según Centro Nacional de Estimación Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED, 2014), para la evaluación de riesgos provocados por fenómenos naturales, se identifican tres tipos de análisis:

#### Análisis cualitativo del riesgo

Esta es la forma más simple de realizar un estudio de riesgo a deslizamientos, el cual incluye el conocimiento de las amenazas, los elementos en riesgo y sus vulnerabilidades, pero expresando los resultados en forma cualitativa basado

en experiencia y observaciones de campo debido a la inexistencia de información sobre la zona de estudio. Los diversos atributos pueden clasificarse o calificarse en tal forma que se expresa el riesgo en una forma prácticamente verbal.

#### Análisis semi cuantitativo del riesgo

Implica el conocimiento de los peligros, de los elementos expuestos y de sus vulnerabilidades, basado en estudios técnicos anteriores (estudio de suelos, estudio de los ecosistemas, etc.) que tienen relación directa o indirecta con el fenómeno natural y/o el área geográfica de estudio, así como su escala de trabajo (no detallada) que pueden ser incorporados en el informe de evaluación de riesgos por su utilidad.

#### Análisis cuantitativo del riesgo

Para la evaluación de riesgos implica el conocimiento preciso de los peligros, de los elementos expuestos y de sus vulnerabilidades, basado en información del ámbito geográfico de estudio (escala de trabajo adecuada) debido a la ejecución de diversos estudios técnicos in situ (estudios de suelos, inventarios de fenómenos, estudios geológicos, estudios hidrometeorológicos, mediciones instrumentales de campo, etc.) que genera información actualizada (uso de análisis estadísticos y probabilísticos, etc.) que ayuda al conocimiento de los peligros, las vulnerabilidades y los riesgos. Esto con participación de las entidades técnico científicas y el gobierno local competente.

Según Suarez (1998), el análisis cuantitativo del Riesgo incluye las siguientes actividades:

##### a. Elementos en riesgo

El objetivo es determinar la distribución probable del número, la naturaleza y características de los elementos en riesgo (personas y propiedades). Debe tenerse en cuenta la localización de los elementos en riesgo con relación a la amenaza (por ejemplo, si se encuentran abajo del deslizamiento); si el elemento en riesgo está en una posición fija (ejemplo una casa) o es móvil (ejemplo

personas o automóviles) y la posibilidad de medidas de mitigación como sistemas de alarma, etc.

b. Análisis de vulnerabilidad

El objetivo es medir el grado de daño o probabilidad de pérdida de vidas debida a la interacción del elemento en riesgo cuando el deslizamiento.

c. Análisis de Riesgo

El objetivo es determinar la distribución probable de las consecuencias del deslizamiento. El cálculo primario es una operación matemática basada en la amenaza, elementos en riesgo y vulnerabilidad de esos elementos, utilizando álgebra probabilística o métodos de simulación. Un estudio completo de riesgo debe definir el número de personas amenazadas, así como las propiedades.

d. Niveles de riesgo

Representan por rangos los daños potenciales a lo que está expuesta a deslizamientos determinada zona en riesgo.



Figura N° 35: Niveles de riesgo.

Fuente: CENEPRED.

e. Matriz de riesgo

Una evaluación resulta muy útil para identificar y minimizar los problemas e idealmente, para reducir el impacto potencial de los fenómenos naturales a los caminos antes de que ocurran. Lleva consigo la importancia de obtener las alternativas de acción más convenientes.

Según el Instituto mexicano del transporte, se estima el riesgo de manera cualitativa estimando los niveles de peligro y vulnerabilidad en la matriz de peligro y vulnerabilidad del riesgo preliminar, que una vez obtenidos se buscará la intersección de ambos en la matriz de doble entrada y se determina el Nivel del Riesgo cualitativo.

Tabla N° 7: Matriz de Peligro y Vulnerabilidad.

		Riesgo			
		Muy alto	Alto	Alto	Muy alto
Peligro	Muy alto	Alto	Alto	Muy alto	Muy alto
	Alto	Medio	Medio	Alto	Muy alto
	Medio	Bajo	Medio	Medio	Alto
	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Alto
		Baja	Media	Alta	Muy alta
		Vulnerabilidad			

Fuente: Metodología para la gestión de cortes carreteros (IMT, 2012)

### Indicador General de Estabilidad (IGEcc)

El IMT presenta el Indicador general de estabilidad y lo define como grado de estabilidad de un talud de corte respecto al riesgo que representa, basado en la experiencia y juicio del ingeniero evaluador y nace de la necesidad de tener una herramienta capaz de identificar el nivel de riesgo de falla mediante la integración y asociación de los factores de una forma práctica, para posteriormente programar las intervenciones necesarias en el tiempo adecuado. El IGE es el resultado de la sumatoria de puntuaciones numéricas que se les otorga a cada uno de los factores responsables de la falla en un talud. El IGE supone la inestabilidad del talud mediante los siguientes rangos de puntuaciones:

Tabla N° 8: Puntuaciones para Indicador General de Estabilidad (IGE).

CATEGORÍA	FACTORES	PUNTUACIONES				
		3	9	27	81	
Características del talud	Altura	0 a 5 m	5 m a 10 m	>10 m a 20 m	> 20 m	
	Mantenimiento/limpieza	Menor	Moderado	Alto	Muy alto	
	ángulo	Suelo	< 30°	30° ≤ ángulo ≤ 40°	40° ≤ ángulo ≤ 60°	> 60°
		Roca	Categoría < 2	2 ≤ categoría ≤ 4	4 ≤ categoría ≤ 8	Categoría > 8
	Irregularidades	Ninguna	Menor	Moderada	Mayor	
	Tipo de sección del corte	Cajón	Cajón con fallas en pav.	Balcón	Balcón con fallas en pav.	
	Área de captación de caídos	Clase 1. 95 % al 100 %	Clase 2. 65 % al 94 %	Clase 3. 30 % al 64 %	Clase 4. < 30 %	
	Veget.	Cuerpo	Poblado/arbustivo	Poblado/herbáceo	Semidesnudo/herbáceo	Desnudo
		Corona	Poblado/arbóreo	Poblado/arbustivo, semidesnudo/arbóreo	Poblado/herbáceo, Semidesnudo/arbustivo	Desnudo, semidesnudo/herbáceo
	Clima	Precipitación media anual (mm)	≤ 200	200 < precipitación ≤ 500	500 < precipitación ≤ 850	> 850
Infiltración/agua presente		Sin humedad	Húmedo/mojado	Goteando	Agua escurriendo	

Geología	Rocas Sedimentarias	Socavación en el pie de cada capa		0 a 0.3	0.3 a 0.6	0.6 a 1.5	> 1.5
		Grado de interstratificación		1 a 2 interestratos débiles < 15 cm	1 a 2 interestratos débiles > 15 cm	Más de 2 interestratos débiles < 15 cm	Más de 2 interestratos débiles > 15 cm
		Formación de canales		Profundidad ≤ 5 cm	5 cm < profundidad ≤ 10 cm	10 cm < profundidad ≤ 20 cm	Profundidad > 20 cm
				Ancho ≤ 2 cm	2 cm < ancho ≤ 5 cm	5 cm < ancho ≤ 10 cm	ancho > 10 cm
	Muy separados			Muy continuos	Muy continuos	Muy continuos	
	Tipo de roca		Homogéneo/macizo	Pequeñas fallas/venas fuertes	Esquistos/zona de cizallamiento < 15 cm	Pegmatitas débiles/micas/zona de cizallamiento > 15 cm	
	Grado de salientes		0 a 0.30	0.30 a 0.60	0.60 a 1.20	> 1.20	
	Grado de erosión		Reciente	Desgastado/decolorado	Ligeramente alterado/atenuado	Alterado	
	Discontinuidades	Tamaño de bloques (m) <sup>3</sup> /volumen (m <sup>3</sup> )		< 0.30 / < 0.5	0.30 a 0.60 / < 0.5 a 2	0.60 a 1.50 / < 2 a 6	> 1.50 / > 6
		Grupo de discontinuidades		1	1 aleatorio	2	> 2
		Persistencia/orientación		< 3 m/buzamiento hacia adentro del talud	> 3 m/buzamiento hacia adentro del talud	< 3 m/orientación hacia la carretera	> 3 m/orientación hacia la carretera
		Abertura (mm)		Cerradas	0.1 a 1	1 a 5	> 5
		Condiciones de erosión		Reciente	Desgastado/decolorado	Aberturas llenas de material granular	Aberturas llenas de material arcilloso
		Fricción		Rugosa	Ondulada	Planar	Planar lisa
	Bloques en matriz	Tamaño del bloque (m)		< 0.30	0.30 a 0.60	0.60 a 1.50	> 1.50
		Forma del bloque		Tabulares	Cúbicos	Cúbicos angulares	Redondas lisas/planas con inclinación hacia la vía
		Deslizamientos/desplazamientos		Agrietamientos en la corona del talud	Agrietamientos y hundimientos notables	Acumulación del material en el pie del talud	Deformación en forma de gradas
	Suelos residuales	Perfil de meteorización		Horizonte B-C	Horizonte B	Horizonte A-B	Horizonte A
		Escurrimiento superficial		Formación de torrentes pequeños	Menos de 1/2 corte presenta torrentes y canales	Más de 1/2 corte presenta torrentes y canales	Desprendimientos y concentración de sólidos de arrastre en el pie
Contacto suelo sobre roca		Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud	Salientes de roca cúbica con tamaños de 30 a 60 cm	Rocas con superficie de fricción onduladas	Rocas con superficie de fricción planar lisa		

Fuente: IMT (2012)

El sistema de puntuaciones de los factores en esta metodología se basa en una escala de 1 a 4 en una función exponencial ( $y = 3^x$ ) para que exista más diferencia entre niveles de riesgo y se aprecie de una mejor manera.

Tabla N° 9: Puntuaciones para cada factor que interviene en los deslizamientos.

Puntuaciones	Nivel
3	Bajo
9	Medio
27	Alto
81	Muy alto

Fuente: Instituto mexicano del transporte (2012)

El IMT considera que el cálculo del IGEcc tiene tres categorías para los factores de riesgo de falla de rocas, y son: características del talud, clima, y geología.

#### a) Características del talud

Los cortes de taludes son el problema principal en las carreteras, ya que estas manipulaciones modifican la estabilidad de laderas naturales en pendientes,

altura y superficie. Para el cálculo del IGEcc las características tomarán en cuenta la altura del talud, mantenimiento/limpieza, ángulo del talud, irregularidades, tipo de sección, área de captación y vegetación.

#### Altura del talud:

Las dimensiones de los cortes influyen mucho en el riesgo de desprendimiento, sobre todo en la altura, ya que, de tener grandes masas de suelo con un corte alto, su puntuación puede ser mayor a tener un corte más pequeño.

La altura del talud que se considera es la que abarca desde la superficie de la vía hasta el punto más alto del talud de donde se espera el desastre, independientemente del corte.

Para tener una medida aproximada de la altura, es recomendable el uso del clinómetro.

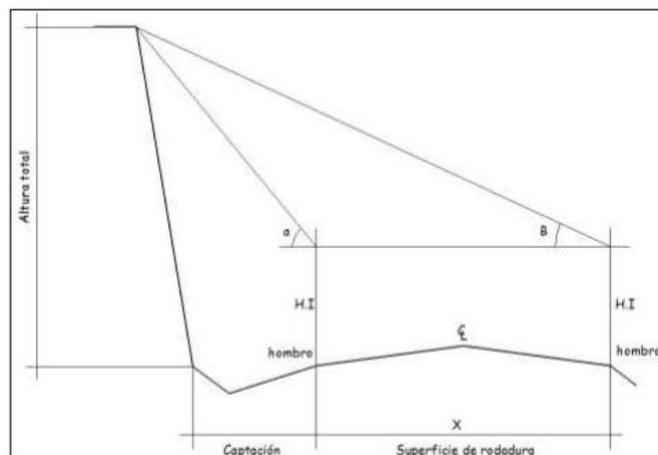


Figura N° 36: Medición de la altura con clinómetro.

Fuente: Instituto Mexicano del Transporte

#### Mantenimiento/Limpieza:

La parte de mantenimiento y limpieza es un indicador muy importante, ya que define que algo no está bien con el corte del talud, dependiendo de la frecuencia con que se realice estos procedimientos, y de la magnitud de la remoción con que se deba lidiar, se puntuará el riesgo.

Tabla N° 10: Riesgo del corte considerando Mantenimiento/Limpieza.

FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO	LIMPIEZA			
	Menor Barrido de escombros, limpieza de cunetas	Moderado Algunas cargas y acarreos	Mayor Cargas y acarreos significantes	Trabajo extenso
No tan frecuente	Menor	Menor	Menor	Moderado
Anualmente (1 vez por año)	Menor	Menor	Moderado	Alto
Estacional (1 a 3 veces por año)	Menor	Moderado	Alto	Muy alto
Mas de 3 veces por año	Moderado	Alto	Muy alto	Muy alto

Fuente: Instituto Mexicano del Transporte

### Ángulo del talud:

Las fallas en los taludes de corte están ligadas a su apariencia geométrica, tomando en cuenta la inclinación del talud y el material que tenga. El ángulo del talud puede variar con el tiempo, por ello debe guardarse los datos tomados para en un futuro verificar la variación y, además, nos sirven para dar una puntuación de riesgo.

- Ángulo de talud en suelos: Se refiere a la rapidez que le toma a una masa de suelo de un talud, en llegar a una vía en un deslizamiento. Cuando un talud tiene una inclinación pronunciada, presenta mayor peligro ante un desprendimiento del suelo, ya que tendría un mayor desplazamiento, a diferencia de un talud con poca pendiente.
- Ángulo de talud en formaciones rocosas: Se determina si una roca cae rebotando hacia la carretera, cae dentro de la cuneta o baje por el corte mismo del talud. El IMT indica que el Departamento de Transporte de Missouri usando un programa de simulación de fallas de Colorado (CRSP, Colorado Rockfall Simulation), encontró que las rocas que caen de un corte de talud con inclinación de 30° pueden alcanzar la carretera a diferencia de una pendiente de 85°. Como se ve en el gráfico, los taludes con inclinación menor a 70° presentan mayor riesgo (mayor puntuación) hasta llegar a 30°, ya que pueden rodar y obtener gran momento horizontal para alcanzar la vía.



Figura N° 37: Puntuación para caídas de roca según ángulo del talud.

Fuente: Missouri DOT's RHRS en IMT (2012)

#### Irregularidades en la cara de corte:

Es importante reconocer las futuras fallas en base a experiencias anteriores e irregularidades del corte, como por ejemplo una roca cristalina y el suelo tienen un diferente nivel de irregularidad sobre todo en la apariencia.

Las irregularidades pueden ser causadas por un mal uso de explosivos, deterioro, erosión y técnicas pobres de excavación en general. La irregularidad se puede evaluar como: Ninguna (presenta un corte plano y liso, sin variaciones), Menor (con pocas variaciones y cúmulos de roca de hasta 60 cm), Moderada (presenta severas variaciones con cúmulos desde 60cm a 2m) y Mayor (presenta deformaciones y afloramientos, con escalones con más de 2m).

#### Tipo de sección del corte

El tipo de sección transversal cuenta con mucha influencia sobre la estabilidad del talud. Según el IMT, las observaciones que se han estudiado en campo indican que la sección tipo balcón son las más susceptibles a deslizamientos y fallas en la superficie de la vía.

El tipo de sección transversal de un corte se puede identificar fácilmente, son cuatro y contienen la siguiente puntuación: sección tipo cajón que no tiene fallas en la superficie de rodadura tiene 3 puntos, a diferencia de la que sí presenta fallas (9 puntos), la sección tipo balcón que no tiene fallas en la superficie de rodadura tiene 27 puntos, a diferencia de la que sí presenta fallas (81 puntos).

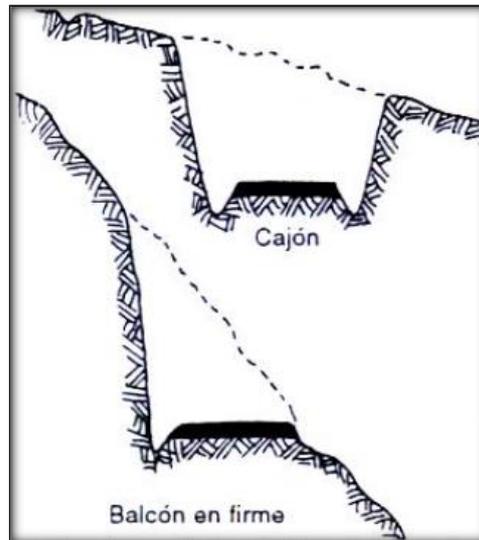


Figura N° 38: Sección típica de una vía en corte de talud.

Fuente: Gregorio Espejo (2016)

### Área de captación

Se define como el espacio entre el pie del talud y el hombro de la carretera, y permite que se reduzca el riesgo a que los materiales caídos del corte lleguen a la vía. El Departamento de Transporte del estado de Washington (WSDOT) junto a Ritchie propuso en 1963, un criterio de diseño basado en la altura y el ángulo del talud, pero en 1986 fueron modificados por Whiteside.

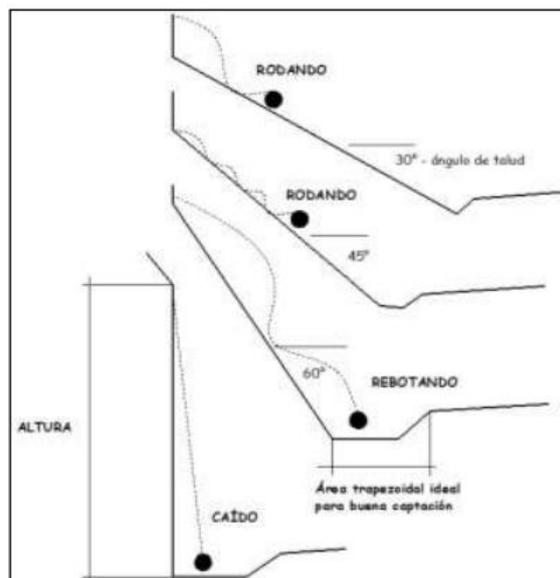


Figura N° 39: Forma de caer de las rocas.

Fuente: Evert Hok en IMT (2012)

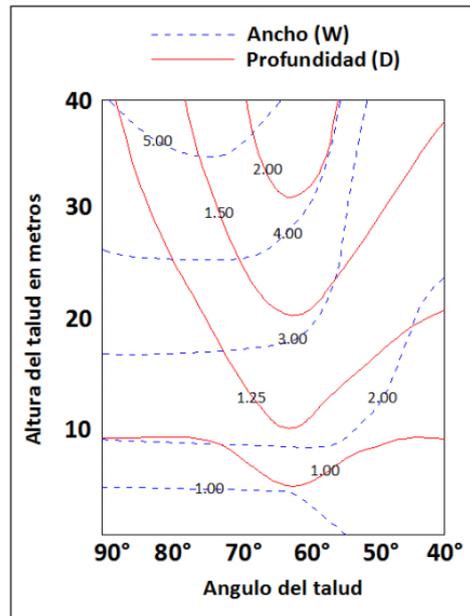


Figura N° 40: Criterio de Whiteside (1986) para el diseño de área de captación.

Fuente: IMT (2012)

De acuerdo al porcentaje de efectividad se otorgará la puntuación de riesgo del área de captación. Para ello la siguiente fórmula:

$$\text{Efectividad: } \frac{D_a + W_a}{D_r + W_r} \times 100\%$$

$$D_r + W_r$$

$D_a$  = Profundidad medida en campo

$W_a$  = Ancho medido en campo

$D_r$  = Profundidad propuesta por Ritchie-Whiteside

$W_r$  = Ancho propuesto por Ritchie-Whiteside

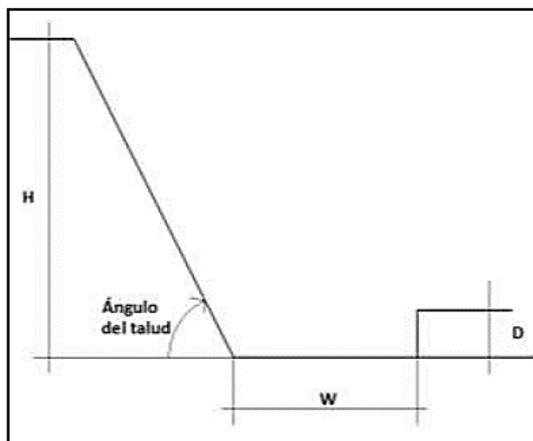


Figura N° 41: Dimensionamiento de área de captación.

Fuente: IMT (2012)

Las puntuaciones finales se miden, según el Departamento de Transporte de Colorado con respecto a la efectividad.

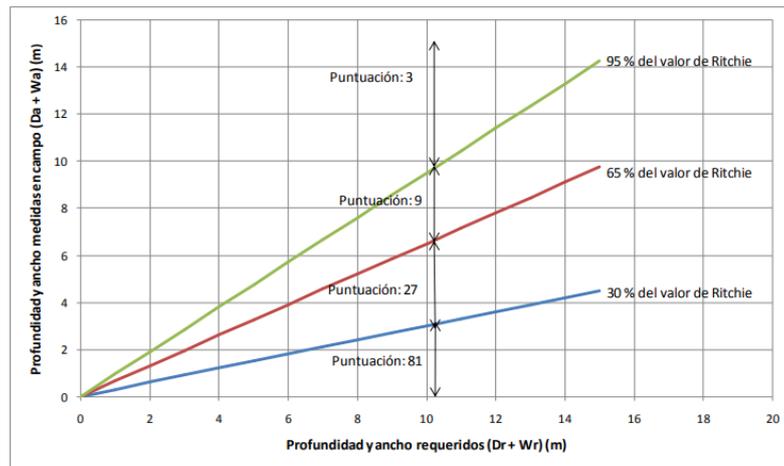


Figura N° 42: Puntuaciones Dimensiones en campo VS Dimensiones ideales.  
Fuente: “Modification and Statical Analysis of the Colorado Rockfall Hazard Rating System” (2008) en IMT (2012)

### Vegetación:

La vegetación y el follaje reducen considerablemente el contacto directo de la lluvia con los suelos, por lo que modifica el ciclo hidrológico y disminuye la infiltración del agua, evitando la erosión. Por otro lado, las raíces absorben la humedad del suelo. Según el tipo de vegetación y tipo de suelo se tiene cierto potencial de evapotranspiración.

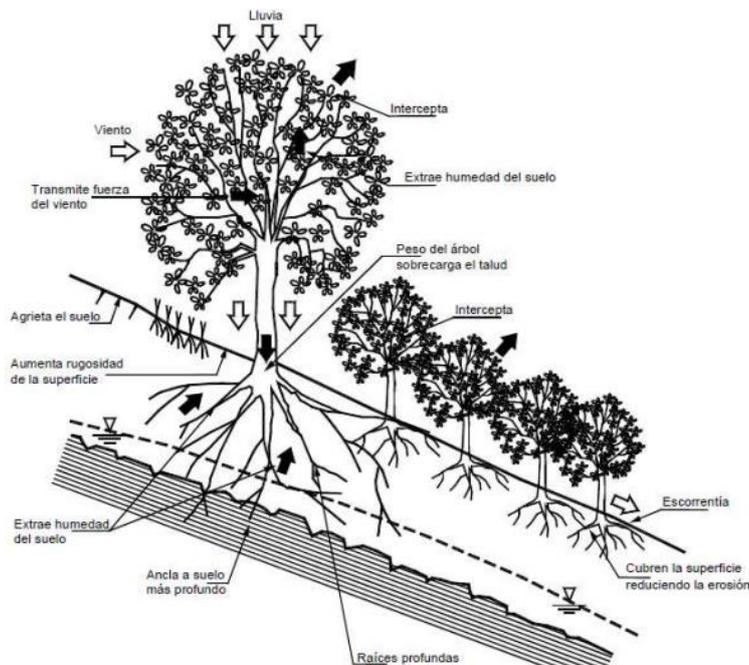


Figura N° 43: Efecto de la vegetación en un talud.  
Fuente: Jaime Suárez (2001), en IMT (2012).

La vegetación es importante para evaluar el nivel de peligro de un corte con respecto a la erosión. El IMT toma las siguientes cualidades de la vegetación para el cálculo del IGEcc:

- a) El follaje y las raíces evitan las fuerzas de tracción en el suelo que son ocasionadas por las escorrentías.
- b) Las raíces podrán reforzar al suelo e incrementan su resistencia al corte y a las fuerzas de erosión.
- c) Las raíces de los árboles brindan soporte al suelo y los estratos.
- d) Las raíces de árboles contiguos crean una especie de arco que brinda resistencia y estabilidad en los cuerpos de suelo.
- e) Las raíces forman especies de membranas en los primeros 30 a 50 cm de suelo, reforzando las masas de suelo.

Al realizar un corte en una ladera natural, la vegetación de la parte del cuerpo será fina o nula, a diferencia de la corona del talud. Se clasifica en dos partes a la vegetación para obtener su nivel de peligro, según el IMT: vegetación en cuerpo y vegetación en corona.

#### b) Clima:

Se refiere a la influencia del ciclo hidrológico del agua en el talud y su estabilidad.

#### Precipitación media anual o precipitación normal

La precipitación es de suma importancia, ya que grandes cantidades de lluvias ocasionan saturación de los suelos y disminución del esfuerzo cortante, generando fallas en el talud. Según el IMT (2012), los datos a tomar se tienen que basar en los datos nacionales de precipitación normal desde 1971 hasta 2000.

#### Infiltración/Agua presente

La lluvia que cae sobre el suelo (de un talud en este caso) se infiltra y desplaza al agua presente hacia abajo. Cuando la infiltración llega a su totalidad, queda un exceso que crea corrientes en la superficie, junto con corrientes subterráneas semi-paralelas a la superficie del terreno y otras verticales al nivel freático, y

tienen como consecuencia fallas en el talud por inestabilidad. Es difícil conocer la cantidad de agua presente en los suelos, así como el nivel freático; por ello, se ha establecido la apariencia para la evaluación de este factor, y tendrá en cuenta el color, tipo y tamaño de vegetación, marcas de agua, descoloramiento, y será evaluado de forma subjetiva por un ingeniero experto.

### c) Geología

Según el IMT (2012). tomando en cuenta el tipo de suelo, tipo de roca, propiedades de los materiales y discontinuidades estructurales, la geología es la parte más importante en el estudio del comportamiento del suelo y taludes. Se consideran tres tipos de condiciones geológicas: roca sedimentaria, roca cristalina, rocas en matrices.

#### Roca sedimentaria

La formación de rocas sedimentarias se produce con el transporte de masas de suelo a causa de flujos, gravedad, agua, aire, temperatura y características biológicas del lugar. Las características físicas de los cuerpos sedimentarios como el tamaño, forma y estratificación pueden dar señales de cómo el material fue depositado. Si hay un perfil con estratos débiles, el corte puede fallar.

#### - Grado de erosión bajo estratos del corte

Los domina la erosión diferencial y desgaste de litología, cuyo grado de variación se puede analizar con la cantidad de material erosionado en el pie del talud. Este factor se evalúa con la longitud del desgaste existente en el estrato que cuenta con más deterioro, y dependerá de la cantidad de material depositado en el pie del talud.

#### - Grado de Interestratificación

Según el IMT, en las visitas de estudio se observó que las fallas ocurridas dependen del grado de variación litológica y del espesor de los estratos, cuya medida se toma en consideración junto con el número de estratificaciones débiles. Según el Rock Hazard Rating System (RHRS), el grado de interestratificación es un factor condicionante de fallas y debe incluirse.

#### - Presencia de Surcos

Los surcos pueden formarse por pequeños desvíos en las escorrentías superficiales debido a la irregularidad del suelo. Esto puede llevar a que pequeñas canaletas imperceptibles se conviertan en surcos (hasta los 30cm), o en cárcavas (mayores a 30cm). Poco a poco estos canales pueden transportar partículas de suelos. Los surcos pueden solucionarse con el rastrillado de la zona y vegetación. Las cárcavas necesitan actividades más complejas de ingeniería.

La forma de evaluación de nivel de peligrosidad de este factor se medirá según el tamaño del surco y su esparcimiento.

#### Roca cristalina

Se refiere a las rocas ígneas y metamórficas, que son fuertes y tienen una mayor resistencia a estos procesos de deterioro. Su peligro depende de su tamaño y grado de erosión. Según Hoek en IMT (2012), se deben considerar 3 criterios para evaluar la peligrosidad en el estado de la roca cristalina: tipo de roca, grado de salientes, grado de erosión y discontinuidades.

La evaluación consiste en que el puntaje de estos factores se dividirá entre tres para que sea equivalente con los otros factores.

#### - Tipos de roca:

Se refiere a características específicas de rocas ígneas metamórficas. En un derrumbe puede influir también la variación litológica, por ejemplo. Se evalúa si son homogéneo/macizo, si tienen pequeñas venas/fallas fuertes, esquistos/zonas de cizallamiento < 15 cm, o pegmatitas débiles/micas/zonas de cizallamiento > 15cm.

#### - Grado de salientes (bloques en cantiliver)

Cuando ocurre caídos de rocas, la superficie se deforma y deja rocas salientes, que pueden causar daño a una carretera. Se mide el nivel de riesgo basándose en las dimensiones de los salientes.

#### - Grado de erosión de la roca

Influye la geometría y localización de partículas. La erosión se debe a la descomposición de los cuerpos ya sea por oxidación, humidificación y carbonatación. Los expertos podrán medir el grado de erosión en los macizos de roca según su color, partículas desprendidas, rugosidad, etc.

#### - Discontinuidades

Se encuentran presentes en las rocas y es importante tener en cuenta su geometría, naturaleza, condición y estado, ya que influyen en el macizo rocoso, así como las cicatrices, aberturas, número de familias, rugosidad, y los que se muestran en la siguiente figura:

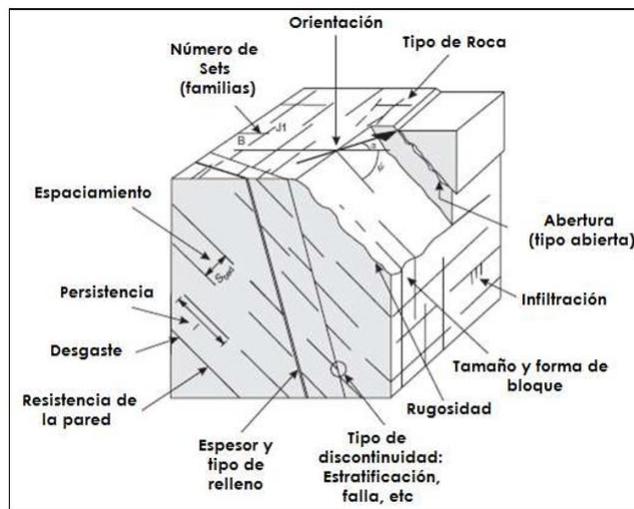


Figura N° 44: Presentación de discontinuidades en un macizo rocoso.

Fuente: Rock slope Engineering (E. Hoek, 1974)

Según el IMT, para la puntuación del IGEcc se evaluará el tamaño de bloques, número de familias de las discontinuidades, longitud, abertura, condiciones de erosión y fricción (rugosidad).

1. Tamaño de bloques: brinda información sobre el espaciamiento de las discontinuidades, que pueden darse ya sea por caídas de bloques o suelo. Se debe identificar los puntos que tengan mayor probabilidad de derrumbarse. Un desprendimiento de gran magnitud puede ocasionar un derrumbe tras otro.

2. Número de familias de discontinuidades: se refiere a las fracturas y depende de la dirección, esparcimiento, condiciones de relleno, caudal y tipo de esfuerzos que la origina.

3. Longitud de las discontinuidades (Persistencia) y orientación: define el espaciamiento y el tamaño de bloques que se desliza. Es uno de los parámetros más importantes en las rocas cristalinas, pero también uno de los más difíciles de medir porque en la discontinuidad solo es visible una pequeña parte. La persistencia se evaluará solo en la parte de la cara del talud.

En la orientación, se evalúa la actitud de bloques y fracturas, en el sentido de la inclinación de los estratos, ya que cuando buza hacia fuera es de gran riesgo, y favorable cuando buza hacia adentro.

En la evaluación de corte, la puntuación será alta si vislumbra hacia afuera, aun así teniendo discontinuidades con pequeña persistencia, y la puntuación será baja si, aun teniendo alta persistencia, vislumbra hacia adentro.

4. Abertura:

Es la separación entre discontinuidades cuando no cuentan con relleno. Para la puntuación, el IMT toma las propuestas del ISRM, que considera de 0.1 mm hasta mayores a 5 mm de abertura. Se debe predecir el comportamiento de la roca tomando en cuenta sus deformaciones y conductividad hidrológica. Se miden las aberturas de forma perpendicular para la puntuación.

5. Condiciones de erosión:

Es un factor primario físico y químico. Se desgastan cuando encuentran erosión en las continuidades y reducen las propiedades mecánicas de las superficies de discontinuidad.

6. Fricción (Rugosidad entre discontinuidades):

Según estudios de Barton (ISRM, 1981), cuando una discontinuidad no es interestratificada y degradada, la aspereza en su superficie es importante en la resistencia al corte. Dependiendo de la dirección, la aspereza debe ser observada en superficies con posible deslizamiento. La puntuación se dará evaluando su perfil de rugosidad en la superficie de la cara del talud, como en la figura N°45. En superficies planas la puntuación será alta, y baja en superficies rugosas.

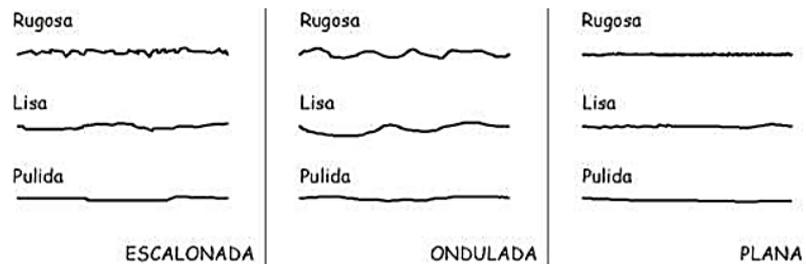


Figura N° 45: Perfiles de rugosidad.

Fuente: ISRM (1981)

#### Bloques en una matriz de suelo

Masas de material suelto heterogéneo de suelo y rocas que han sido depositados como consecuencia de lluvia y deslizamientos (reptación). Estos materiales y diferentes tamaños de rocas son unidos por masas de suelo, y toman el nombre de matriz-soportados, y por lo general se encuentran en un estado de equilibrio límite. Pueden ser coluviones, flujos, huaicos, suelos residuales y volcánicos, eólicos, etc.

Para su evaluación se tomará en consideración el tamaño del bloque, su forma y deslizamientos (desplazamientos).

#### - Tamaño del bloque:

Los bloques más grandes bajan con mayor energía de un talud, aunque los bloques pequeños pueden caer con más frecuencia. Por otro lado, dependiendo del grado de la erosión, un gran bloque podrá caer, por lo que la puntuación será evaluada según los grandes bloques que tienen más probabilidad de inestabilidad.

- Forma del bloque:

La forma en que se desprende la roca de la matriz, su alcance, su velocidad y arrastre de otros materiales, depende también de la forma del bloque.

- Deslizamientos/Desplazamientos:

Este factor advierte sobre el movimiento lento del terreno, y para ello se debe ver un gran recorrido del talud y analizar las presiones en su base, inclinación de vegetación, fracturas en la carretera (que indica presiones horizontales por el desplazamiento del talud) y escalonamientos (su presencia indicaría la existencia de reptación y flujos); y se evalúa de esta manera.

### Suelos residuales

Se refiere al resultado de meteorización y descomposición de una roca in situ. En zonas tropicales se les encuentra con grandes espesores a causa de la meteorización irregular e intensa. Es el suelo más susceptible a la erosión con variación de uno otro material.

Para su evaluación se consideran los conceptos de perfil de meteorización, escurrimiento superficial y contacto de suelo sobre rocas; cuyos análisis son de gran dificultad ya que a simple vista solo se observa la cara del talud de corte. Depende de la experiencia del evaluador.

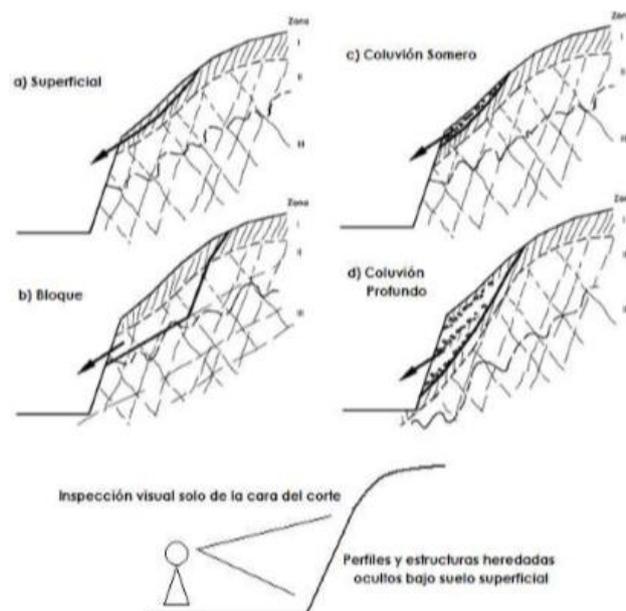


Figura N° 46: Perfiles de meteorización.

Fuente: Jaime Suárez (1998) en IMT (2012)

#### - Conceptos de horizonte y capa

El suelo se constituye por horizontes o capas estratigráficas paralelas a la superficie. El perfil de suelo se refiere a la sección vertical, y el horizonte un estrato como consecuencia de intemperismo. Las capas de suelo se refieren, en cambio, a un estrato con débil alteración.

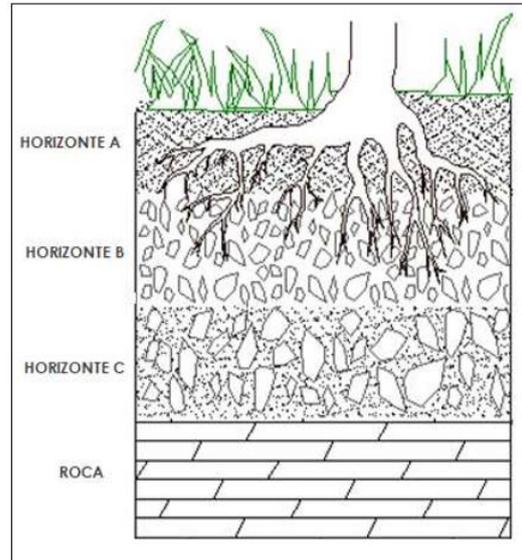


Figura N° 47: Perfil teórico del suelo.

Fuente: IMT (2012)

#### Análisis cualitativo del suelo

Establece una nomenclatura a los horizontes y/o capas de carácter cualitativo, con las letras A, B y C, permitiendo conocer su morfología y grado evolutivo. La identificación de los horizontes se basa más en la experiencia, ya que su clasificación según su tipo y número de horizontes en el perfil de suelo, es compleja.

#### - Esguerrimiento superficial

Las lluvias y flujos de agua en el talud recorren en dirección de la pendiente del talud generando pequeños canales de agua que, con el aumento del flujo, se convierten en surcos paralelos que pueden ser cada vez más profundos y encontrarse en una cárcava de una considerada profundidad. Se presentan deslizamientos como consecuencia.

La manera de evaluar el riesgo de un talud depende de las marcas de agua que presente. En este caso, la puntuación se toma de acuerdo al grado de erosión que provocan los esguerrimientos superficiales en el talud.

- Contacto suelo sobre roca

Diferentes estudios indican fallas en el suelo cuando hay presencia de rocas y agua, ya que un suelo puede saturarse y deslizarse en la cara de un bloque de roca. En estos casos, este factor evalúa el riesgo según el nivel de rugosidad de la roca.

Rango de puntuaciones IGE:

Tabla N° 11: Rangos de puntuaciones IGE

Riesgo	Rangos	Color
Baja	$IGE < 250$	Verde
Media	$250 \leq IGE < 400$	Amarillo
Alta	$IGE \geq 400$	Rojo

Fuente: IMT (2012)

Manejo del Riesgo

Es el proceso completo de evaluación del riesgo y control de riesgo. En el caso de riesgo localizado se deben identificar los puntos y las áreas de riesgo dentro de una determinada área estudiada. En el caso de una situación de emergencia se debe tomar decisiones de forma inmediata para eliminar o reducir determinada situación de riesgo localizado, debido a la inminencia de los procesos de inestabilidad, especialmente cuando la emergencia coincide con el período lluvioso.

Las soluciones pueden estar destinadas a relocalizar preventivamente a los habitantes o a construir obras inmediatas de emergencia, las cuales dependen de la claridad que se tenga del riesgo y la posibilidad para la construcción de obras adecuadas de control.

En el caso de una situación de riesgo permanente o a largo plazo se deben establecer las medidas definitivas adecuadas para controlar los fenómenos. Esto significa que puede existir un tiempo suficiente para un análisis detallado, diseño de obras, contratación, etc.

El manejo del riesgo puede significar vivir con él, y evaluarse para permitir su control, lo cual equivale, a que el mapeo es una de las herramientas más

importantes. Las soluciones a los casos de riesgo, no tienen una receta única y las soluciones ideales generalmente, no existen (Suárez, 1998).

Políticas de Gestión:

Son los lineamientos generales que toma una organización para brindar un servicio de forma eficaz y eficiente a los usuarios dentro de un ciclo de vida que permita la mejora continua de los procesos para alcanzar una meta. Es la declaración de principios generales que la organización se compromete a cumplir, así como una serie de reglas que definen la filosofía de la misma.

### 2.3.5 Medidas de mitigación del riesgo de deslizamientos

Las medidas de mitigación del riesgo pueden influenciar las características de los deslizamientos, elementos en riesgo o la vulnerabilidad (Suárez, 1998). La efectividad de las medidas de mitigación del riesgo puede valorarse en un sentido económico o en una reducción potencial de muertes.

Se debe establecer un estudio geotécnico del sitio y verificar si tiene las condiciones de estabilidad suficientes para el tipo de estructura de contención considerada en el diseño, incluyendo estabilidad general, buena cimentación y de los materiales para el relleno. La investigación debe identificar las condiciones específicas de drenaje subterráneo y superficial en la vecindad del sitio y la manera como este cambia con el tiempo, por ejemplo, en el momento de una lluvia fuerte. En algunos casos de estructuras de contención utilizando elementos como los gaviones, debe analizarse las características químicas del agua, por ejemplo, salinidad, contenido de sulfatos y PH.

Ya estudiado el talud, y definidos los niveles de riesgo y amenaza, el mecanismo de falla y analizados los factores de equilibrio, se pasa al objetivo final: el diseño del sistema de estabilización o prevención control.

Existen muchas maneras de enfocar y solucionar cada problema específico y la metodología que se necesita aplicar depende de factores técnicos, sociales, económicos, políticos; con un gran número de variables en el espacio y en el tiempo.

Los riesgos debidos a deslizamientos de tierra se pueden reducir utilizando cuatro estrategias así (Kockelman, 1986):

- a. Restricciones al desarrollo en áreas susceptibles a deslizamientos
- b. Códigos para excavaciones, explanaciones, paisajismo y construcción.
- c. Medidas físicas tales como drenaje, modificación de la geometría y estructuras para prevenir o controlar los deslizamientos o los fenómenos que los pueden producir.
- d. Desarrollo de sistemas de aviso o alarma.

En el desarrollo de la presente tesis se va a considerar los puntos “c. Medidas físicas” y “d. Sistemas de alarma” de las estrategias de Kockelman.

A continuación, se presentan algunas de las metodologías que se han utilizado para reducir el riesgo a los deslizamientos de tierra, teniendo en cuenta que se consideran sólo las soluciones que sean económicas, manuales, y rápidas, ya que deben estar al alcance de los usuarios y las comunidades locales:

### Prevención

Según Suárez (1998), consiste en evitar la posibilidad de que se presenten riesgos o amenazas. Los métodos de mitigación o prevención de amenaza pueden reducir de forma importante los daños por la ocurrencia de deslizamientos. La prevención permite el manejo de áreas relativamente grandes, teniendo en cuenta que los procesos naturales pueden ocurrir en diversos sectores dentro de un área de susceptibilidad similar, en forma repetitiva o múltiple y disminuye los riesgos a deslizamientos en un área determinada.

#### 1. Sistema y medidas de aviso y alarma

En las áreas que se encuentren en riesgo de deslizamientos, es conveniente realizar programas de información sobre la posibilidad de deslizamientos a la comunidad. Avisos públicos y señalizaciones para que la comunidad o usuarios que transiten cerca de las zonas de riesgo estén alerta. Los sistemas de observación de campo usan disyuntores, inclinómetros, cercas eléctricas, piezómetros y extensómetros. En los últimos años se han implementado

instrumentos medidores que pueden ser manejados desde computadoras en una estación central que dan aviso para poder tomar medidas preventivas. Esta medida se encarga de prevenir daños a vidas humanas y no a prevenir los deslizamientos. Se reduce de manera considerable el riesgo cuando todos están informados y conscientes del riesgo. Por lo general, se aplica luego de ocurrido el desastre.

Antes de comenzar a detallar las medidas físicas para deslizamientos en carreteras vecinales, tomaremos en cuenta criterios para su buen manejo, para esto se considera las siguientes recomendaciones:

- Mantener los taludes de con la mínima inclinación posible y bien cubiertos (estabilizados) con vegetación a fin de minimizar tanto los desprendimientos como la erosión superficial.
- Usar una combinación de cobertura vegetal de buena calidad con plantas de raíces profundas, de preferencia especies nativas, para minimizar la inestabilidad del suelo a gran profundidad, así como para ofrecer protección contra la erosión superficial.
- En la medida que sea posible, no se deben dejar cortes con taludes muy empinados o verticales a menos que sea roca o un suelo muy cementado. Tanto laderas muy abruptas como zonas muy húmedas pueden generar inestabilidad y dar lugar a deslizamientos. El agua subterránea es la causa principal de deslizamientos. Suceden generalmente cuando un talud está demasiado inclinado, donde el material de relleno no está compactado, o donde los cortes en suelos naturales del lugar alcanzan el agua subterránea o penetran en zonas de material pobre.
- Cuando ocurren los deslizamientos, se debe estabilizar la zona removiendo el material caído, haciendo el talud más tendido, añadiendo drenaje, o empleando estructuras, etc. Las condiciones locales pueden variar grandemente; por lo que la medida de estabilización más apropiada dependerá de las condiciones particulares del sitio tales como la magnitud del deslizamiento, el tipo de suelo, el uso del camino, las restricciones de alineamiento, y la causa de la falla.

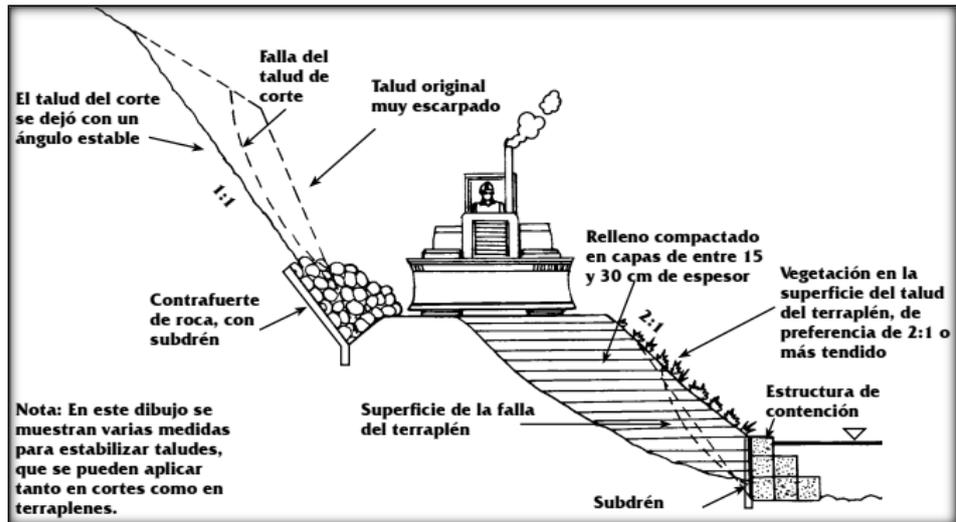


Figura N° 48: Soluciones a deslizamientos en carreteras vecinales.

Fuente: Manual Gordon Keller (2008)

## 2. Elusión de la amenaza

Suarez (1998) señala que la elusión de la amenaza consiste en evitar que los elementos en riesgo sean expuestos al deslizamiento. Los deslizamientos difíciles de estabilizar o con sistemas de estabilización económicamente inviables es un gran argumento justificar un proceso de elusión. Generalmente, estos deslizamientos son movimientos antiguos que han sufrido proceso de meteorización, erosión, por vegetación o por actividades humanas.

Complementando lo que señala Suárez, en este tipo de medidas se puede considerar también, según manuales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el desquinche de taludes.

- Remoción total de la masa de los deslizamientos o los materiales inestables:

Según Suárez (1998), se considera la remoción total o parcial de materiales de deslizamientos con riesgo de activación cuando no es posible construir variantes. La remoción del deslizamiento va desde los primeros metros hasta la eliminación de todo el material inestable (capa subsuperficial, bloques inestables, roca acumulada). Este proceso es peligroso para personas cercanas o para los que realizan el trabajo, por eso, es tentativo

cuando se trata de pequeños volúmenes de remoción. Con volúmenes más grandes, puede ser más costoso y producir nuevos movimientos.

La remoción de materiales en la parte superior del talud puede alcanzar un equilibrio de fuerzas que enriquezca la estabilidad del talud. Este método es provechoso en fallas activas y efectivo en la estabilización de deslizamientos rotacionales. La cantidad de material necesario depende de las dimensiones, características del movimiento y de la geotecnia del lugar.



Figura N° 49: Talud en carretera vecinal.

Fuente: Polo (2020)

#### - Desquinche de taludes

Según el “Manual de especificaciones técnicas generales para construcción de caminos de bajo volumen de tránsito” del (MTC), consiste en la remoción superficial de rocas y material suelto que estén sobre los taludes, que se encuentren en desequilibrio y con susceptibilidad a caer, según el criterio de la supervisión, y presenten peligro para los peatones y la carretera. Esto implica el uso de pico, pala, combas, elementos de seguridad para el obrero y señales de peligro para los usuarios.

### 3. Control y protección de deslizamientos:

Estos métodos son efectivos para reducir la amenaza de caídas de rocas, van a ocurrir, pero se les controla adecuadamente usando un sistema de control al pie del talud, ya que absorben energía deteniendo la caída de la roca o desviándola de la estructura a proteger, en este caso, la carretera. Se

requiere un conocimiento muy completo del comportamiento de los caídos (Suarez 1998).

- Trincheras:

Trincheras o excavación al pie del talud o ladera, impide que la roca de deslizamiento dañe la calzada de una vía. Se recomienda tomarlo como medida física cuando existe espacio suficiente para su construcción; de otra manera podría resultar muy peligroso; y un análisis a detalle el comportamiento de los bloques caídos para un adecuado diseño. Las trincheras también sirven para controlar el agua de las lluvias.

Según Ritchie (1963), las dimensiones de las trincheras están relacionadas con la altura y pendiente o inclinación del talud. En pendientes igual o mayores a  $75^\circ$  los bloques suelen caer cerca al talud, en inclinaciones de  $55^\circ$  a  $75^\circ$  suelen rodar y rebotar, donde se requiere más espacio para la trinchera. En pendientes de  $40^\circ$  a  $50^\circ$  los bloques tienden a rodar hasta chocar con una “pared”, por lo que se necesita un muro vertical junto a la trinchera para impedir el paso de los bloques.

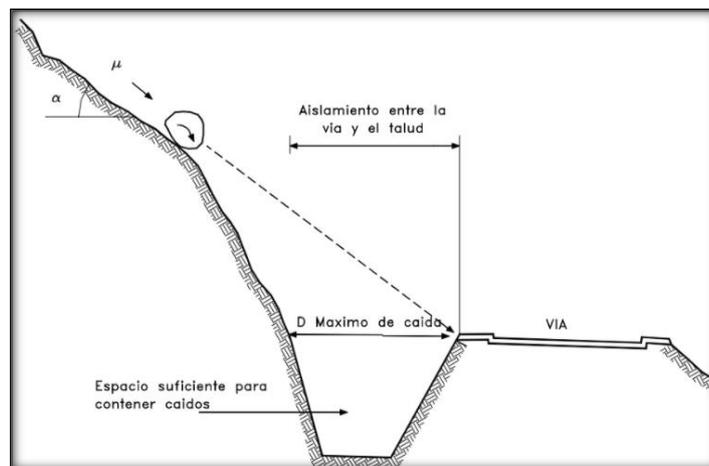


Figura N° 50: Trincheras para el control de deslizamientos, o flujos.

Fuente: Suarez (1998)

- Barrera de retención

Existen muchos tipos de barreras de retención y su diseño depende de las caídas que recibirá. Las barreras pueden conformarse de roca, suelo, bloques de concreto, tierra armada, muros de concreto, mallas, pilotes, gaviones o cercas. La idea pasa por absorber la energía de los bloques y retener las masas en movimiento. (Suarez 1998). En esta tesis

presentaremos: mallas instaladas con postes flexibles, mallas ancladas, y muros “alcancía”.

Mallas con postes flexibles:

Es un sistema especial de amortiguación que está suspendido en cables, y permite disipar energía de rocas que se encuentren susceptibles a movimiento. En la figura N°54 se presentan formas diferentes de colocar las mallas. Cada malla que se necesite depende de la capacidad, en cuanto a la disipación de energía requerida (Suárez, 1998).

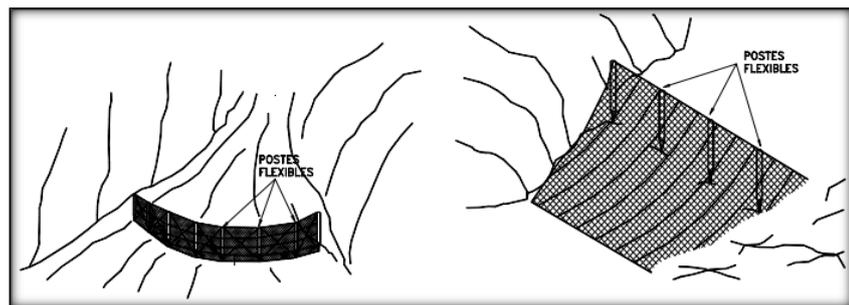


Figura N° 51: Mallas con postes flexibles, que permite detener rocas.

Fuente: Barret y White, 1991.

Mallas ancladas:

Es un sistema de red de alambre galvanizado que tiene como fin evitar desprendimientos o caídas rocas de bajas proporciones (0.6m a 1m de diámetro), o en ocasiones, el movimiento de bloques más grandes. Estas mallas deben ser usados para casos en los que puedan tener contacto directo con la fachada del talud, protegiéndolo de forma permanente. También se puede usar refuerzo con cables, amarrándose con los anclajes.



Figura N° 52: Control de rocas con mallas ancladas.

Fuente: Barret y White, 1991.

### Muro alcancía:

Se refiere a un muro interceptor que sirve como barrera contra caídos de bloques de roca de hasta 2 metros de diámetro, a fin de proteger la vía. Puede ser construido con bloques de roca, concreto (simple, armado o ciclópeo), suelo reforzado, o gaviones. En ocasiones pueden ser destruidos por el impacto de bloques si son de gran magnitud; por ello, pueden construirse junto a trincheras para aumentar su capacidad de intercepción.

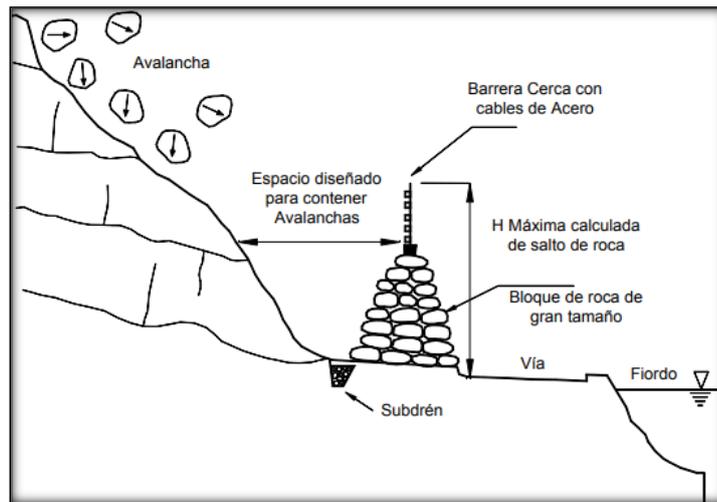


Figura N° 53: Muro alcancía.

Fuente: Suárez (2009)



Figura N° 54: Muro "Alcancía" para protección contra caídos.

Fuente: Suárez (2009)

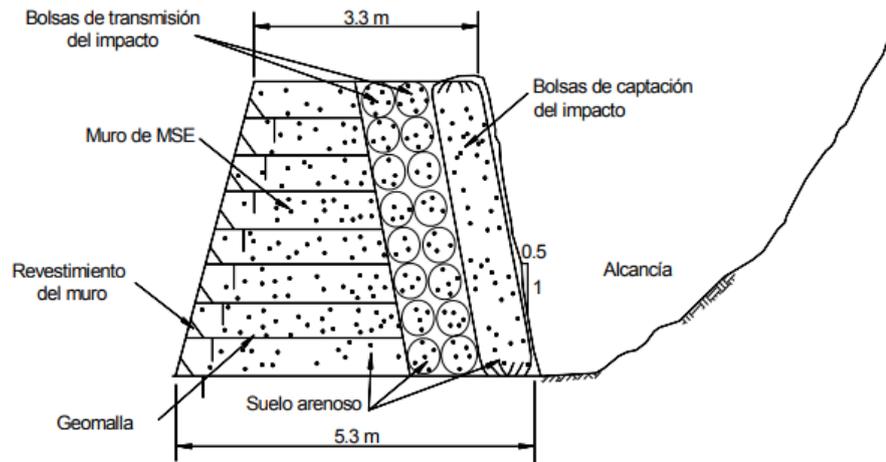


Figura N° 55: Muro alcancía de tierra armada con geotextiles.

Fuente: Suárez (2009)

### - Trinchos

Según Suárez en su libro Control de erosión (2001), los trinchos también son útiles para la protección de un talud ante deslizamientos. Los trinchos consisten en elementos horizontales de bambú o madera sostenidos por estacas (pueden ser vivas) que impiden la formación de surcos y cárcavas en los taludes con concentraciones altas de escurrimiento, previniendo el movimiento de sedimentos sobre su superficie. Los trinchos pueden estar enterrados o por encima de la superficie del talud. Las estacas se entierran hasta 50cm, y tienen un espaciamiento entre trinchos de 1.5 y 3 metros.

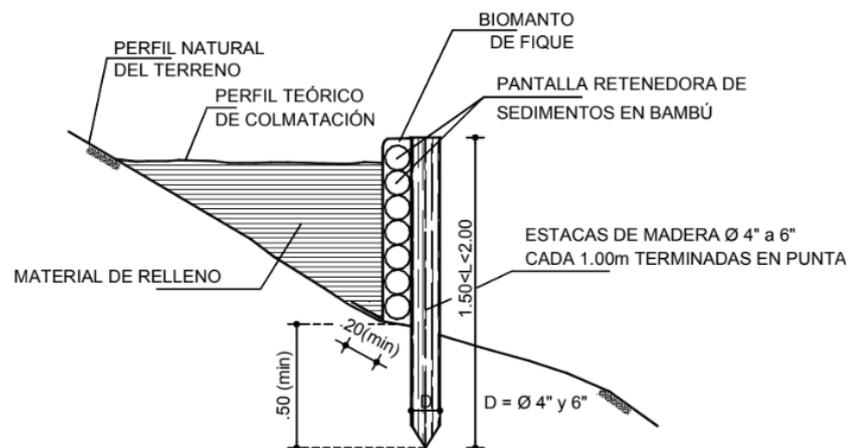


Figura N° 56: Cubierta de protección contra deslizamientos.

Fuente: Suarez (2001)

Se puede evitar la formación de pequeños surcos con rastrillado en la superficie del talud, acompañado de vegetación (Suárez, 2001).

- Diques de retención:

Según Gordon Keller (2008), las estructuras típicas para el control de huaicos y quebradas se construyen con roca, gaviones, troncos, estacas de madera con malla de alambre o con maleza, bambú, barreras de vegetación, etc. Los métodos biotécnicos ofrecen una combinación de una estructura física con medidas de vegetación para la protección física, así como para un soporte adicional de las raíces a largo plazo y para mejorar el aspecto estético. También se necesitará en general una estructura de retención para estabilizar la pendiente ascendente, es decir, la parte superior de la quebrada y evitar el futuro avance hacia adelante.



Figura N° 57: Estructuras de detención (diques) de roca.

Fuente: Manual Gordon Keller (2008).

La estructura debe empotrarse en el suelo nativo, de 30 a 50cm en el fondo de la quebrada y en las márgenes de suelo natural manteniendo una forma de “U” o “V” sobre la estructura.

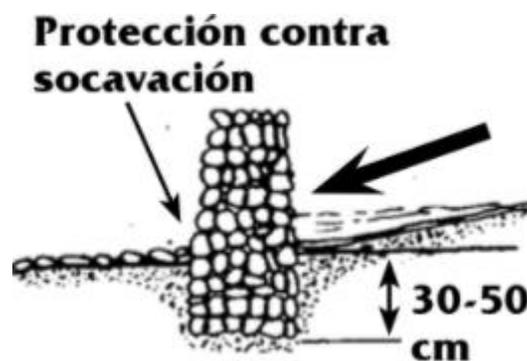


Figura N° 58: Vista lateral de la estructura de detención.

Fuente: Manual Gordon Keller (2008).

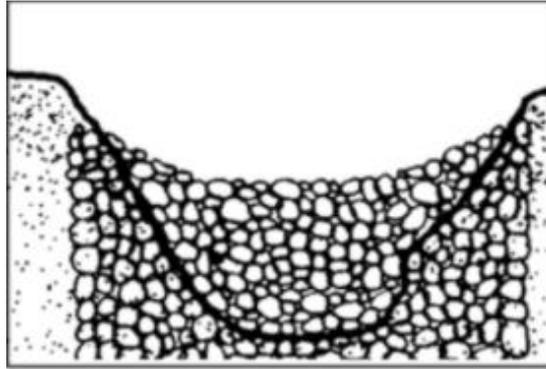


Figura N° 59: Vista frontal de la estructura de detención.

Fuente: Manual Gordon Keller (2008).

La separación recomendada entre estructuras depende de la pendiente del terreno o del canal de la quebrada, y de la altura de cada una de las estructuras.

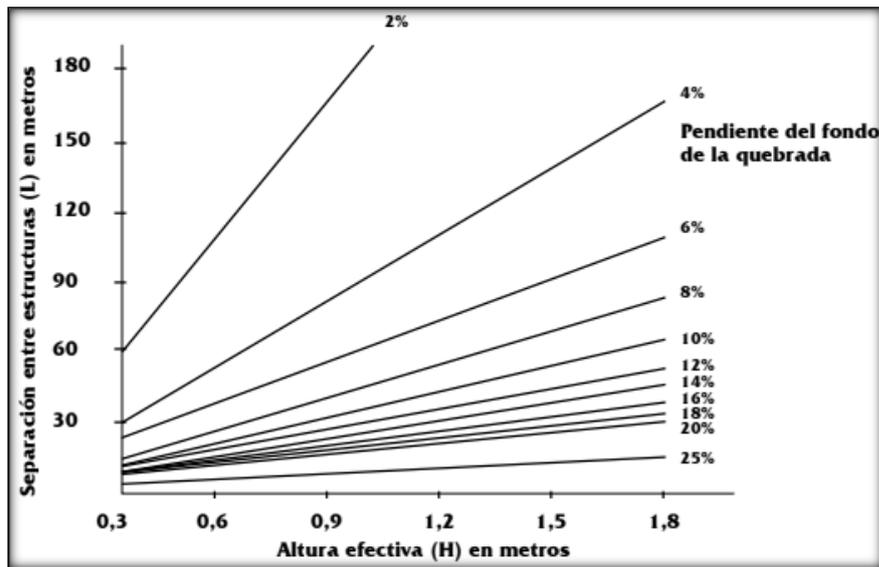


Figura N° 60: Detalles de separación entre estructuras de control quebradas.

Fuente: Gray y Leiser (1982).

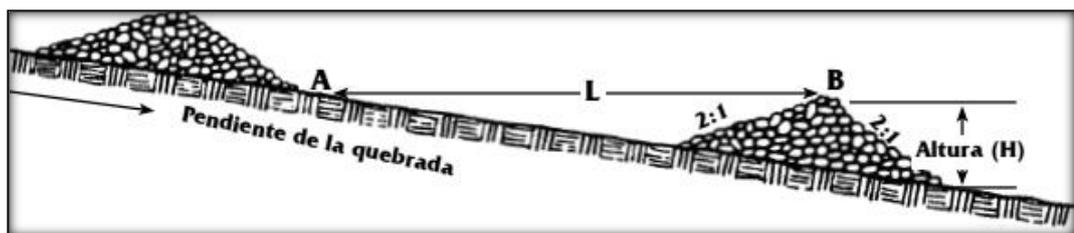


Figura N° 61: Detalles de separación entre estructuras de control quebradas.

Fuente: Gray y Leiser (1982).

Prácticas recomendadas:

- a. La distancia entre los diques de roca debe ser suficiente para que tengan la misma elevación (entre el pie de uno y la corona del otro).
- b. Usar una pendiente de 2:1 o más tendida para los diques de roca.
- c. Tomar medidas necesarias a fin de evitar la formación de quebradas y estabilizar a las existentes antes de que aumenten de tamaño.
- d. Empotrar y anclar perfectamente en las márgenes y en el fondo del canal.
- e. Usar diques de detención para el control de la formación de quebradas construidos con estacas, troncos, gaviones o rocas suelta, así como barreras de vegetación viva o capas de maleza plantadas en hileras a través de las laderas y de las zonas alteradas para controlar la erosión en las quebradas.



Figura N° 62: Estructuras de estabilización de quebradas.

Fuente: Manual Gordon Keller (2008)

#### 4. Estabilización

Según Suárez (1998), la estabilización de taludes consta de los siguientes factores:

- a. Determinación de sistemas de estabilización más adecuados, tomando en cuenta todas las condiciones del talud estudiado.

- b. Diseño a detalle el sistema a usar, adjuntando los planos y las especificaciones.
- c. Instrumentación y control en el proceso de estabilización y posterior a la estabilización.

Uso de geotextiles:

Un filtro funciona como una capa de transición de grava pequeña o un geotextil colocado entre una estructura, como puede ser el enrocamiento de protección y el suelo subyacente. Su finalidad es: 1) Evitar el movimiento del suelo detrás del enrocamiento de protección o de los gaviones; y 2) permitir que el agua subterránea drene del suelo sin que se generen presiones de poro.

Según Keller, los geotextiles tejidos o no tejidos punzados con aguja se usan generalmente para lograr un filtro entre la roca y el suelo, con lo cual se evita la socavación y el movimiento del suelo. Son relativamente fáciles de instalar bajo la mayoría de las condiciones. La tela debe estirarse bien a través del área del suelo que se va a proteger antes de proceder a colocar el enrocamiento. Se puede usar un geotextil tejido de un solo filamento o uno del tipo no tejido y punzado con aguja, y además debe ser permeable. Se usa comúnmente un geotextil no tejido punzado con aguja con peso de 200 g/m<sup>2</sup> (6,0 oz/yd<sup>2</sup>) para muchas aplicaciones de filtración y separación de suelos. De manera tradicional, se ha usado arena gruesa o grava bien graduada con drenaje libre como material de filtro. Una capa de filtro de arena o de grava tiene comúnmente entre 15 y 30 cm de espesor. Los geotextiles son de uso común para proporcionar zonas de filtro entre materiales de diferentes tamaños y granulometrías debido a que resultan económicos, son fáciles de instalar, y se comportan bien dentro de una amplia variedad de suelos. (Keller, 2008).

Los geotextiles pueden ser usados en diferentes tipos de muro, enrocados y medidas de mitigación, y no como solución independiente.



Figura N° 63: Geotextil como respaldo de un contrafuerte de talud.

Fuente: Richard Van Dyke

#### Prácticas que deben evitarse:

- Construcción de cortes con taludes verticales (excepto en suelos muy bien cementados y en roca).
- Colocación de rellenos o de materiales a volteo en laderas de terreno natural con inclinaciones mayores de 60%.
- Ubicación de caminos en zonas con inestabilidad natural o conocida.
- Dejar los cortes y particularmente los taludes de terraplén expuesto a la erosión.

#### Prácticas recomendadas

- Es preferible conducir el agua superficial (escurrimiento) hacia afuera de los taludes.
- Se sugiere colocar las estructuras de retención únicamente sobre buenos materiales de construcción, como puede ser roca sana o suelos firmes locales. Todas las estructuras de retención requieren una buena cimentación.
- Use estructuras de retención para ganar ancho del camino en terrenos empinados.
- En caso de que los cimientos sean poco sólidos, será necesario fundir una losa de concreto consultando antes a un técnico o ingeniero especialista.

Según Suárez (2009), a comparación de los muros de concreto reforzado o concreto simple, los gaviones son el material más económico para un muro de contención, y le sigue las estructuras de suelo reforzado con geosintéticos.

Los sistemas de estabilización se clasificaron de acuerdo a las más económicas y que se pueden trabajar de forma manual, al alcance de los usuarios y comunidades locales:

- a. Recubrimiento de la superficie
- b. Control de agua superficial y subterránea
- c. Estructuras de contención

Recubrimiento de la superficie:

Según Suarez (1998), el recubrimiento de la superficie de talud o ladera ayuda a controlar la erosión y se debe garantizar su estabilidad.

- Sellado de grietas y discontinuidades:

Se hará uso de material fino impermeable y apisonado, con el fin de evitar una filtración de agua a través de ellas (Suárez, 1998).

El sellado de grietas disminuye la infiltración y las presiones de poro en las discontinuidades, y se requiere un mantenimiento periódico para evitar que se abra nuevamente.

- Vegetación o Reforestación.

Entre las prácticas de control de la erosión se incluye la protección de la superficie y la cobertura del terreno con redes de material vegetal: siembra de pasto y diversas formas de reforestación. Ofrecen cobertura al talud, resistencia producida por las raíces, y protección del suelo con vegetación “natural” económica y estética, al mismo tiempo, ayudan a controlar el agua y promover la infiltración. (Guía Gordon Keller, 2008). En este método se selecciona vegetación que se adapte al sitio, con raíces fuertes, y que proporcione una buena cobertura del terreno. De preferencia usar especies nativas que tengan buenas propiedades de crecimiento, resistencia, cobertura densa y raíces profundas, como el Vetiver.



Figura N° 64: Uso de pasto Vetiver para estabilizar el talud y control de erosión.

Fuente: Guía Gordon Keller (2008).

Según Keller (2008), los métodos biotécnicos (capas de maleza, estacas vivas, arbustos en hilera) ofrecen combinaciones de estructuras con vegetación para impartir protección física, como apoyo adicional a largo plazo para las raíces y aspectos estéticos.



Figura N° 65: Hileras de pasto para estabilización y control de erosión.

Fuente: Guía Gordon Keller (2008).

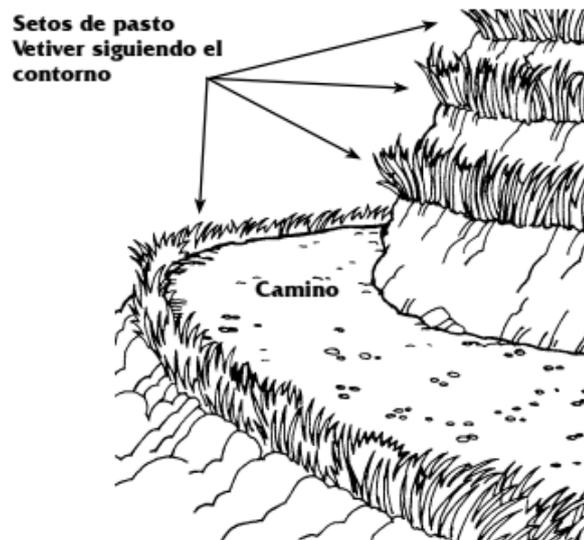


Figura N° 66: Arbustos siguiendo el contorno para estabilización de taludes.

Fuente: Vetiver (1990).

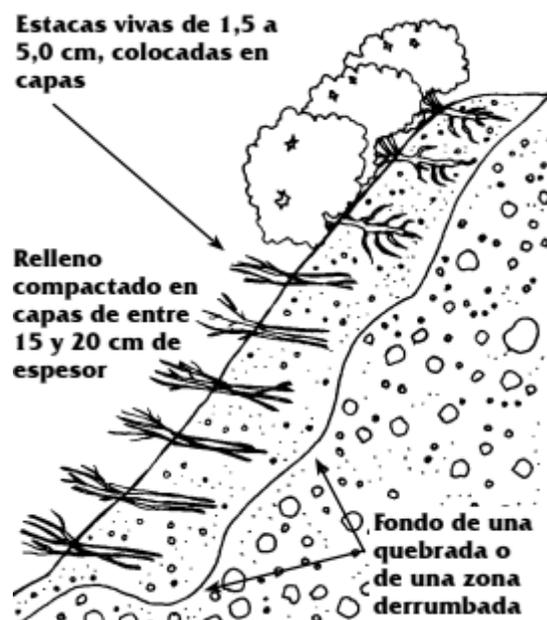


Figura N° 67: Capas de maleza para estabilización de quebradas y deslizamientos.

Fuente: Guía Gordon Keller (2008).

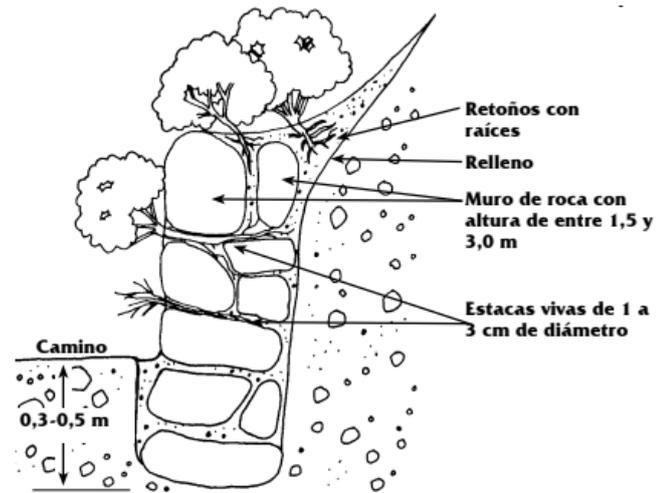


Figura N° 68: Muros de retención vivos con rocas o gaviones y vegetación.

Fuente: Manual Gordon Keller (2008).

La vegetación tiene un papel importante en el control de erosión de una ladera ya que con el entramado mecánico de sus raíces logra brindar consistencia (Suárez, 1998). Se ha comprobado que la plantación continua de pastos y plantas herbáceas tiene gran efectividad para estabilizar los taludes. Según Suárez, en el proceso de reforestación las especies biológicas a usar deben ser especies nativas y de crecimiento rápido.

Todo tipo de vegetación como protección contra la erosión, es universalmente aceptado y es una alternativa ambientalmente excelente, ya que, además, a mayor frondosidad de la vegetación, es más eficiente el amortiguamiento del golpe de la lluvia, pues intervienen como un colchón protector contra la erosión de la escorrentía (Suárez, 1998).

Reportes de Nordin (1994) en Malasia (Suárez, 1998), concluye que, con resultados similares, el mejor control o protección contra erosión y deslizamientos, se consigue constituyendo colectivamente por todos los sistemas de vegetación, y no hay mejor demostración que observar cómo se conserva y protege la naturaleza a sí misma.

Las formas en que actúa la vegetación sobre la estabilidad de taludes (factores), según Suarez Díaz (1998), son:

1. Intercepción de la lluvia.
2. Aumento de capacidad de infiltración.
3. Extracción de humedad en el suelo.

4. Grietas de desecación.
5. Refuerzo de raíces en el suelo, generando aumento de resistencia al cortante.
6. Anclaje del suelo superficial a mantos más profundos.
7. Aumento del peso sobre el talud.
8. Transmisión de fuerzas del viento a los suelos.
9. Retención de partículas del suelo reduciendo sensibilidad a la erosión.

El tipo de vegetación sobre el talud incide en la estabilidad:

Campbell (1975) indica que los taludes cubiertos por pasto sufren de deslizamientos de suelo 3 a 5 veces más que los taludes que están cubiertos por arbustos y maleza; además, sufren deslizamientos más anchos y cortos, y ocurren en pendientes menores. La especie vegetal tendrá que compatibilizar con ciertas condiciones de suelo y lugar, teniendo en cuenta la disponibilidad de agua, PH, clima, nutrientes, regulaciones gubernamentales, etc. La vegetación maderable tiene raíces más resistentes y profundas que otras como plantas herbáceas y pastos, y provee mejor refuerzo y efecto de arco.

Estos sistemas se pueden reforzar con plantas maderables con el propósito de consolidar el talud y retener bloques de roca. (Gray y Leiser, 1982).

Tabla N° 12: Sistemas de protección (modificada de Gray y Sotir, 1992).

Categoría	Descripción
Vegetación convencional.	Siembra por semillas estolones o macetas.
Plantas maderables utilizadas como refuerzo.	Estacas vivas y colchones de maleza.
Estructuras con vegetación.	Gaviones, estructuras de llantas usadas, muros criba, geomallas, revestimientos sintéticos.

Fuente: “Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.” (Jaime Suarez Díaz 1998)

Estacas vivas:

Se refieren a los tallos de arbustos y árboles que se entierran en el suelo con el fin de que crezcan árboles. Es un procedimiento económico, rápido y simple.

Tabla N° 13: Árboles de uso para cercas vivas y estabilización. (CDBM 1989).

Nombre común	Nombre científico	Distancia de plantación
Aliso	<i>Alnus jorullensis</i>	2 a 3 m.
Anaco	<i>Erythrina poeppigiana</i>	2 a 3 m.
Aro	<i>Trichantera gigante</i>	1.5 a 3 m.
Arrayán	<i>Myrcia popayanensis</i>	1.5 a 3 m.
Balso	<i>Ochroma pyramidale</i>	2 a 3 m.
Búcaro	<i>Erythrina fusca</i>	2 a 3 m.
Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>	2 a 3 m.
Chachafruto	<i>Erythrina edulis</i>	1.5 a 3 m.
Ciprés	<i>Cupressus lusitanica</i>	2 a 3 m.
Eucalipto globulus	<i>Eucalyptus globulus</i>	2 a 3 m.
Eucalipto grandis	<i>Eucalyptus grandis</i>	2 a 3 m.
Guacimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	2 a 3 m.
Gualanday	<i>Jacaranda caucana</i>	2 a 3 m.
Guamo macheto	<i>Inga densiflora</i>	1.5 a 3 m.
Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>	1.5 a 3 m.
Matarratón	<i>Gliricidia sepium</i>	1.5 a 3 m.
Melina	<i>Gmelina arborea</i>	2 a 3 m.
Nauno	<i>Pseudosamanea guachapele</i>	2 a 3 m.
Pino oocarpa	<i>Pinus oocarpa</i>	2 a 3 m.
Pino Pátula	<i>Pinus patula</i>	2 a 3 m.
Roble	<i>Quercus humboldtii</i>	2 a 3 m.
Sauce	<i>Salix humboldtiana</i>	2 a 3 m.
Urapán	<i>Fraxinus chinensis</i>	2 a 3 m.

Fuente: "Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales". (Jaime Suarez Díaz 1998)

Según Suárez (1998), es recomendable contar con las instrucciones de instalación siguientes:

- Con martillos de caucho, clavar la estaca normal a la superficie del talud.
- Para garantizar un cubrimiento apropiado en poco tiempo, la instalación debe tener de tres a cuatro estacas por metro cuadrado.
- La estaca debe estar enterrada dos tercios dentro de la tierra.

Sin embargo, según Suárez, la protección exitosa de la vegetación contra la erosión y deslizamientos depende de ciertos factores como: la composición de sus materiales, ubicación del talud, su inclinación, época de siembra:

Composición: si los materiales del talud son muy duros se requeriría siembras profundas para cada arbusto y el uso de fertilizantes.

Ubicación del talud: los taludes que están expuestos al sol de la mañana tienen menores complicaciones para su vegetación, que los expuestos al sol de la tarde.

Inclinación: con alta pendiente, es preferible plantar arbustos en vez de árboles, para reducir las fuerzas del viento sobre ellos.

Época de siembra: La mejor época de plantación son previas semanas a la época de lluvias, aunque también puede ser en épocas secas contando con un sistema de riego apropiado.

La cobertura vegetal (árbol, arbustos, pastos) requiere de mantenimiento constante para su establecimiento.

Suárez (1998), indica que, por lo general, el proceso para revegetalizar taludes se centra en la aplicación de pastos antes que los arbustos, hierbas y árboles; y una regla general es que siempre se debe plantar variedades de especies, de manera que la vegetación recupere su sistema original. Además, agrega que debe considerarse adecuadamente las técnicas de vegetación a fin de ayudar en el proceso natural de sucesión, como por ejemplo que en el diseño de revegetalización, los arbustos pequeños van en la parte superior del talud, y los árboles altos en la parte inferior.

Prácticas recomendadas:

- Aplicar medidas de control de la erosión antes del inicio de la temporada de lluvias.
- Desarrollar fuentes locales de plantas y viveros para contar con materiales de origen vegetal para el control de la erosión.
- Usar especies nativas locales (ni exóticas ni invasoras) siempre que sea posible.
- Seleccionar especies adecuadas para el uso, el sitio y el entorno biológico.

Control de agua superficial y subterránea

- Zanjas de Coronación.

Servirán para poder captar el agua de la escorrentía para luego desaguar las cuencas ciegas ubicadas en la parte inferior del talud natural (Suárez, 1998). Se deben ubicar dentro del cuerpo del deslizamiento, o en la parte superior de los escarpes; y permitirán interceptar y conducir de una forma adecuada las aguas superficiales, minimizando su infiltración y acciones erosivas. Con una distancia apropiada al borde, se emplazarán en la corona de los escarpes, y, en lo posible, no se habilitarán cerca de grietas de tensión, ni paralelas a los escarpes. Se impermeabilizará sus paredes y fondo, y mantendrán una adecuada inclinación para una efectiva y rápida evacuación del agua.

Se sugiere considerarlo como una obra complementaria, generalmente se construyen encima de la corona del talud.

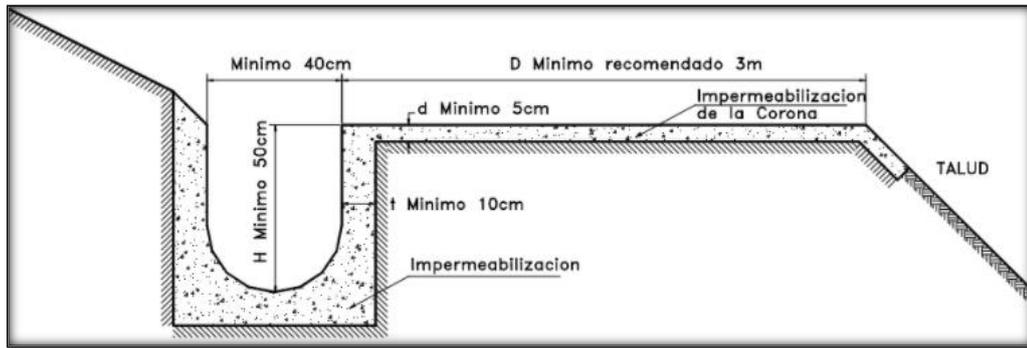


Figura N° 69: Detalle de zanjas de coronación.

Fuente: Suarez (1998)

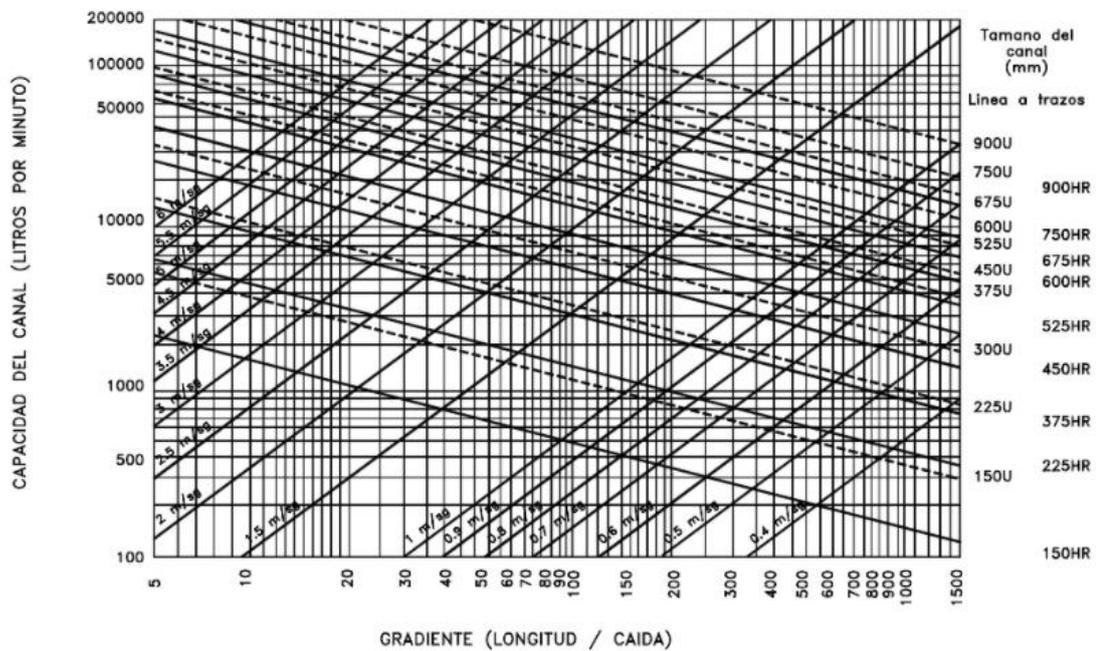


Figura N° 70: Abaco para el diseño rápido de canales de drenaje en taludes.

Fuente: Geotechnical engineering office, Hong Kong.

Debe tomarse en consideración que la limpieza constante de quebradas y cunetas, ya que podrán servir como drenes naturales para el desagüe del drenaje superficial, de las cuencas ciegas y zanjas de coronación.

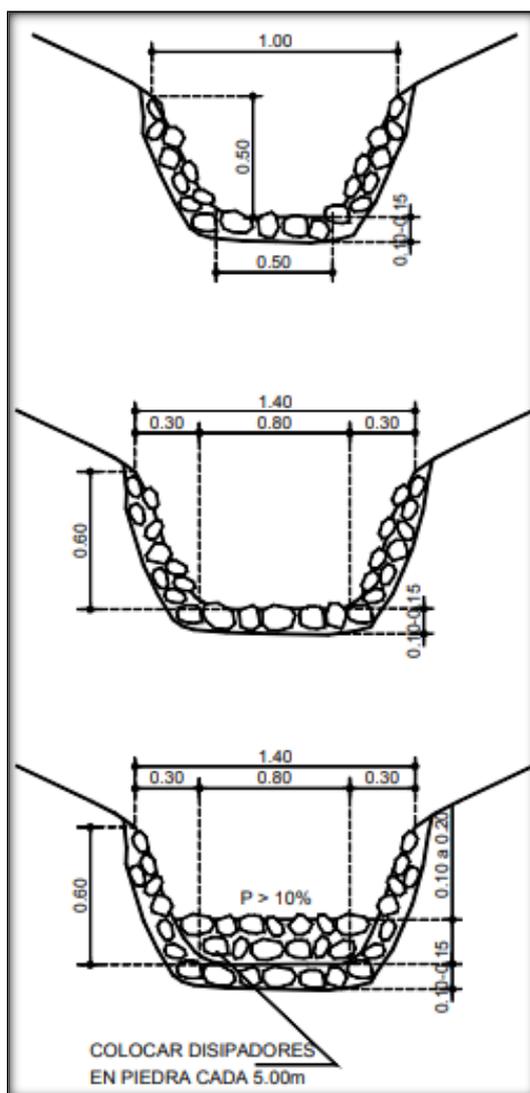


Figura N° 71: Dimensiones estándar para zanjas revestidas con piedra.

Fuente: Manual de especificaciones técnicas generales para construcción de caminos de bajo volumen de tránsito (2006)

#### - Pantallas de drenaje

Son estructuras similares a muros de contención y consisten en evitar erosión generada por filtraciones de agua subterránea. Cuenta con tres elementos importantes: Filtro geotextil, estructura de retención (rocas, suelo, gaviones) y subdren.

El filtro puede ser material granular o geotextil con material grueso, el cual se coloca cubriendo toda el área de exfiltraciones. Este filtro debe cumplir las especificaciones indicadas para filtros en subdrenes de zanja.

La estructura de retención mantiene en su sitio al filtro y ayudar a la contención de la masa de suelo sobre la cual actúa el gradiente hidráulico, al aflorar el agua. Puede ser un muro en gaviones, enrocado, muro criba, etc.

El subdren se coloca en el pie del talud para recoger el agua captada por la pantalla y conducirla a un sitio seguro.

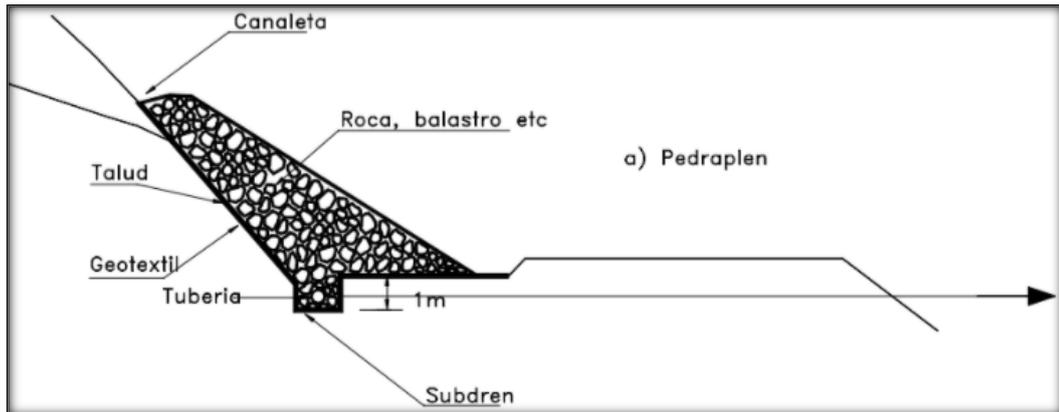


Figura N° 72: Subdren de pantalla con enrocado.

Fuente: Suarez (1998)

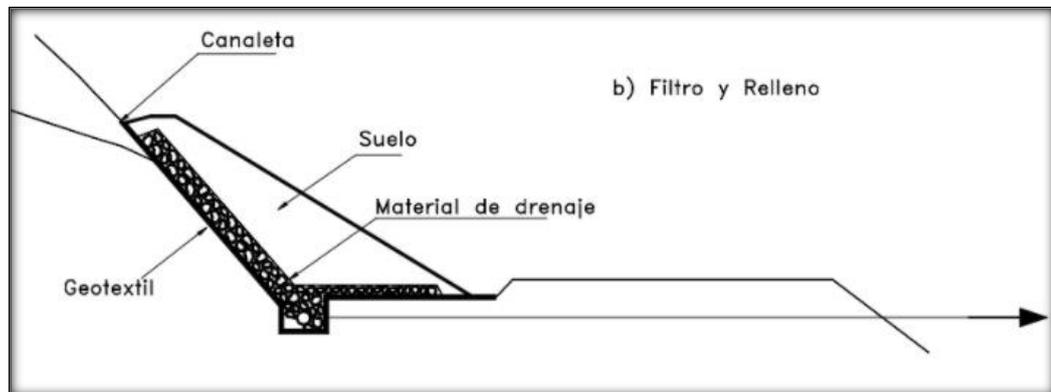


Figura N° 73: Subdren de pantalla con relleno.

Fuente: Suarez, 1998.

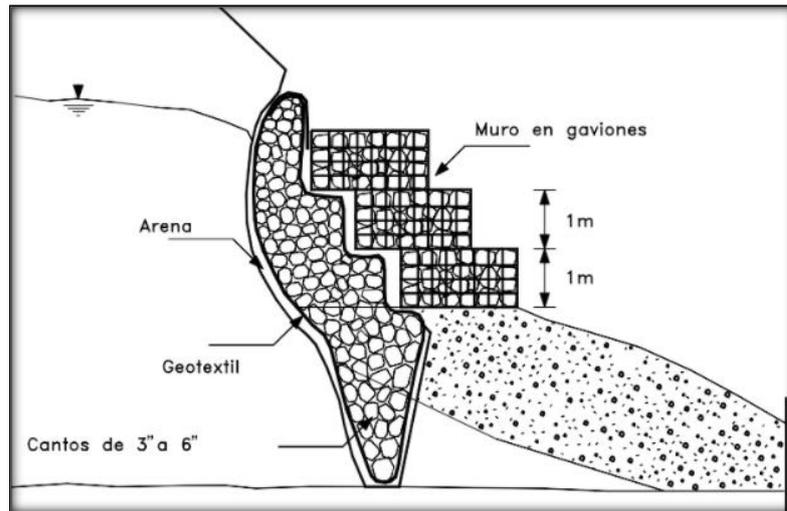


Figura N° 74: Subdren de pantalla con muro de gaviones.

Fuente: Suarez, 1998.

Estructuras de contención:

Consiste en bloques de concreto o piedra pegada con mortero o concreto; son diseñados para resistir presiones activas y actúan como masas de gravedad para estabilizar deslizamientos. Son necesarias en zonas muy abruptas y donde hay poco espacio entre el camino y el talud. Útiles para la estabilización de masas de no más de 6 metros de altura, son poco efectivos en taludes de gran altura. Y se requiere una buena calidad de cimentación. Las juntas entre bloques contiguos por lo general, se rellenan con un mortero 3 a 1 o se usa vegetación. En el caso de recubrimiento usando mortero o concreto se deben dejar lloraderos con el fin de evitar acumulación de aguas subterráneas. Lo más recomendable en caminos de bajo volumen es la mampostería de piedra.

Se pueden presentar de distintas formas. Las estructuras de contención pueden estar formadas por enrocamiento suelto, gaviones, concreto reforzado, pilotes, encofrados, tabla, estacado, clavos de suelo o muros de tierra estabilizada mecánicamente con una gran variedad de revestimientos como geotextiles, malla de alambre soldado, madera, bloques de concreto o llantas.

Para muros de altura de menos de tres metros es usual el seleccionar parámetros para el relleno y para el suelo de cimentación en bases a resultados anteriores en materiales similares. Los materiales deben ser

analizados detalladamente, especialmente aquellos que se plantea cimentar el muro. Se deben realizar ensayos de clasificación y otras propiedades de los materiales para verificar que los parámetros asumidos son consistentes con los tipos de material encontrado. Para estructuras de alturas mayores a seis metros los parámetros geotécnicos deben ser determinados en ensayos de laboratorio, de muestras tomadas en el sitio, adicionalmente a la descripción detallada de los materiales; y para muros de altura intermedia la necesidad de los ensayos de laboratorio depende de la importancia del muro.

a) Contrapesos en el pie del deslizamiento:

Al agregarle carga a la parte inferior de un deslizamiento de rotación se origina un momento en dirección opuesta al movimiento, generando un incremento en el factor de seguridad. Se tiene que analizar el peso requerido para alcanzar un factor de seguridad adecuado. Para que el sistema sea óptimo debe haber una apropiada cimentación de estos contrapesos. El efecto del sistema de contrapeso es provocar que el círculo crítico en la zona baja del talud se alargue. Los contrapesos pueden ser estructuras como muros de contención, llantas de caucho, rellenos de tierra armada, etc.

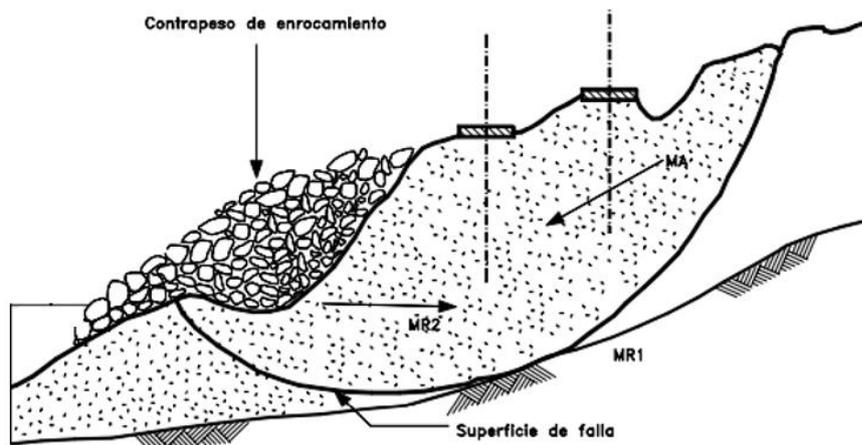


Figura N° 75: Contrapeso para estabilización de un deslizamiento activo.

Fuente: Suarez (2008)



Figura N° 76: Contrapeso de contrafuerte de roca permeable.

Fuente: Manual Gordon Keller (2008)

b) Muros de roca o Enrocado

Son estructuras construidas con bloques de roca colocándolos uno encima de otro de forma manual, en la parte inferior del talud. Generalmente se utilizan bloques de 3" hasta 1 metro. El diseño según Keller:

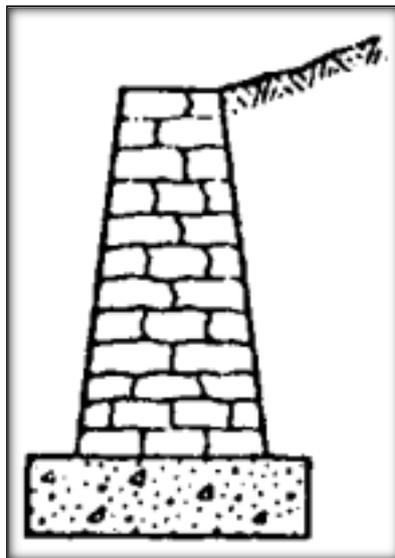


Figura N° 77: Muro de roca.

Fuente: Manual Gordon Keller (2008)

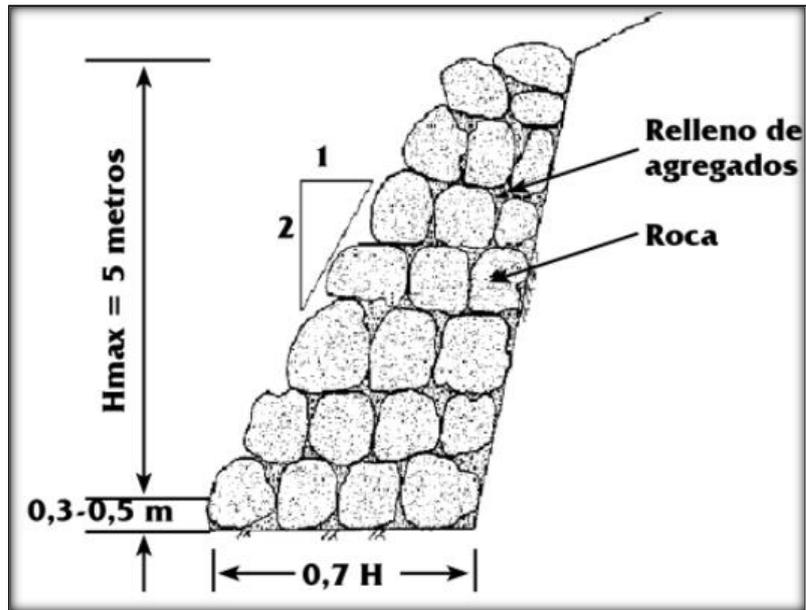


Figura N° 78: Configuración para muro alto de roca.

Fuente: Manual Gordon Keller (2008)

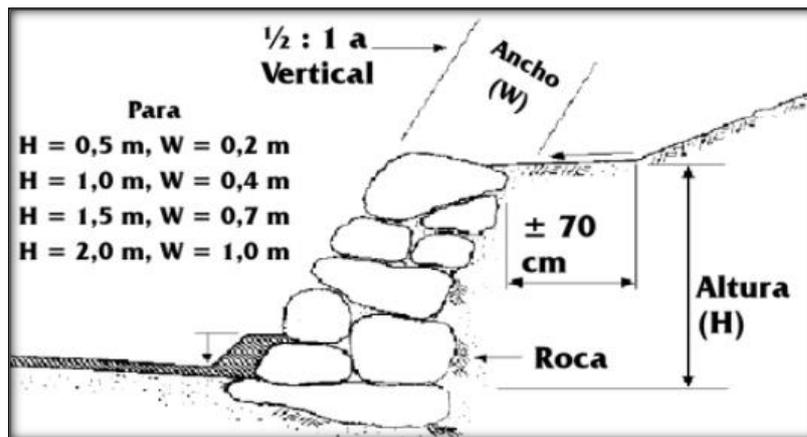


Figura N° 79: Configuración para muro bajo de roca.

Fuente: Manual Gordon Keller (2008)

c) Muros de ladrillo o mampostería

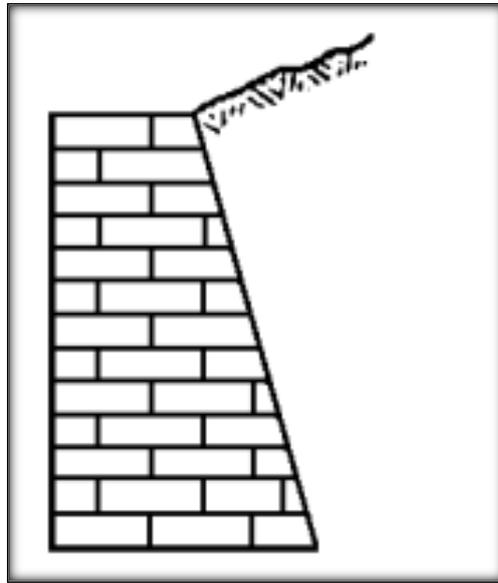


Figura N° 80: Ladrillo o mampostería.

Fuente: Manual Gordon Keller (2008)

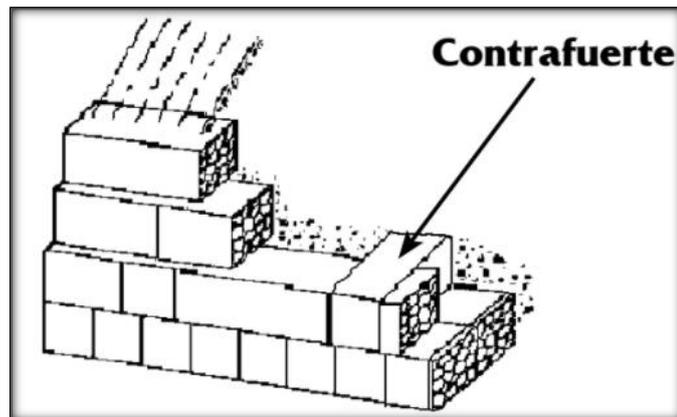


Figura N° 81: Contrafuerte.

Fuente: Manual Gordon Keller (2008)



Figura N° 82: Métodos de estabilización en taludes.

Fuente: Manual Gordon Keller (2008)

#### d) Muro de gaviones

Las estructuras de gaviones son muy usadas para muros de hasta unos seis metros de altura debido sobre todo a que se usa roca disponible localmente (4 a 8 pulgadas) y son simples de construir, por otro lado, se necesita mucha mano de obra. Consisten en cubos de mallas de alambre galvanizado o soldado (cubos de mallas de triple torsión), colocadas entre capas de suelo de 15 a 45 cm de espesor con lo cual se agrega refuerzo a la tensión al suelo. Para el caso de muros bajos y altos en muchas zonas geográficas, las estructuras de Tierra Estabilizada Mecánicamente son los muros menos costosos disponibles actualmente. Las estructuras deben colocarse sobre una buena cimentación, como puede ser roca sana o suelo firme local. La mayoría de los tipos de estructuras de retención proporcionadas por fabricantes son estables internamente para el uso especificado. La malla de alambre puede presentar corrosión en suelos ácidos (PH menor a 6).

Es importante tener en cuenta las especificaciones del tipo de malla, calibre del alambre tamaño de las unidades, tipo y número de uniones y calidad del galvanizado, tamaño y forma de los cantos. Se debe diseñar unión por unión la cantidad de alambre de amarre entre unidades. Se debe definir si la malla es de doble torsión electrosoldada o eslabonada y el

calibre de alambre de la malla, la escuadría del tejido de la malla, el peso de zinc por metro cuadrado de superficie de alambre, el tipo de uniones entre unidades.



Figura N° 83: Estructuras de gaviones de baja altura.

Fuente: Manual Gordon Keller (2008)

Diseño estándar para estructuras de contención de gaviones de hasta 6 m, con relleno plano o inclinado. (Gray and Leiser, 1982).

Relleno con superficie plana:

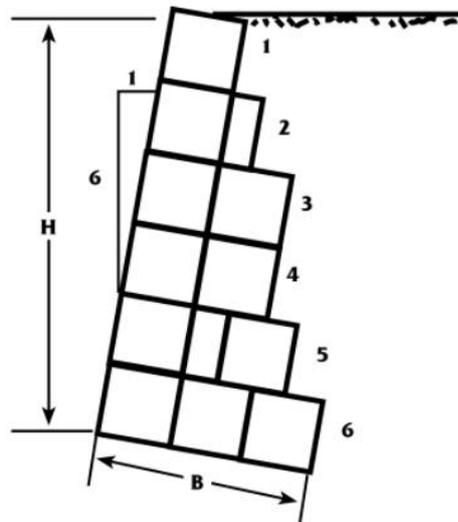


Figura N° 84: Fachada plana.

Fuente: Manual Gordon Keller (2008)

Tabla N° 14: Diseño de gaviones.

No. de Niveles	H	B	No. de Gaviones (por unidad de ancho)
1	3' 3"	3' 3"	1
2	6' 6"	4' 3"	1 1/2
3	9' 9"	5' 3"	2
4	13' 1"	6' 6"	2
5	16' 4"	8' 2"	2 1/2
6	19' 7"	9' 9"	3

Fuente: Manual Gordon Keller (2008)

Relleno con talud 1 1/2:1

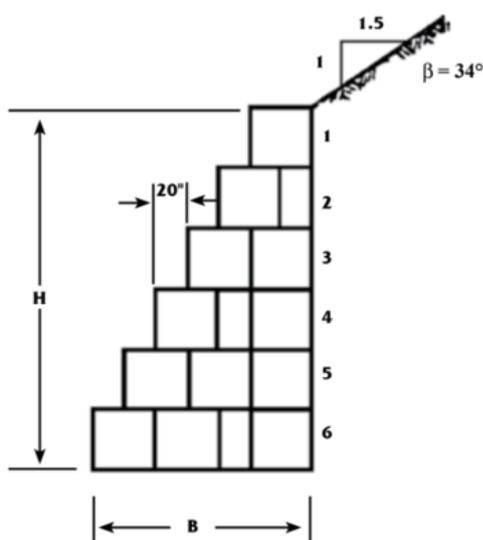


Figura N° 85: Fachada escalonada.

Fuente: Manual Gordon Keller (2008)

Tabla N° 15: Diseño gaviones.

No. de Niveles	H	B	No. de Gaviones (por unidad de ancho)
1	3' 3"	3' 3"	1
2	6' 6"	4' 11"	1 1/2
3	9' 9"	6' 6"	2
4	13' 1"	8' 2"	2 1/2
5	16' 4"	9' 9"	3
6	19' 7"	11' 5"	3 1/2

Fuente: Manual Gordon Keller (2008)

Las condiciones de carga corresponden a rellenos de arena limosa a grava. Para suelos más finos o arcillosos, el empuje de la tierra sobre el muro aumentará y el ancho de la base del muro (B) deberá incrementarse para cada altura. El peso volumétrico del relleno es de = 110 pcf. (1.8 T/m<sup>3</sup> ó 1,762 kg/m<sup>3</sup>)

- Debe ser seguro contra volteo para suelos con una capacidad de carga mínima de 2 T/pie<sup>2</sup> (19,500 kg/m<sup>2</sup>)
- Para rellenos con superficie plana o inclinada, se puede usar un fachada plana o escalonada.



Figura N° 86: Proceso constructivo de muro de gaviones.

Fuente: Gaviones y Malla triple torsión LEMAC.

#### e) Muro de contención con llantas

Este tipo de estructuras de contención son las menos costosas. Y la comunidad puede colaborar aportando su mano de obra. Son rellenos con grava y suelo compactado (este suelo de relleno puede ser de características geotécnicas pobres, ya que su uso es solo para darle peso a la estructura) con capas de geotextiles. Se construye sobre una base compactada. Los neumáticos se amarran entre sí con propileno o ganchos de metal que funcionan como anclaje.

Según la “Guía de la Construcción del muro de contención, con llantas usadas” de Honduras, el proceso constructivo debe ser de la siguiente manera:

1. Se debe cavar 20cm de la superficie, rellenar con 10 cm de grava y distribuirlo uniformemente para luego compactarlo firmemente. Arriba de la grava compactada se coloca la primera fila de llantas y se deja enterrada la primera fila aproximadamente 10 cm.

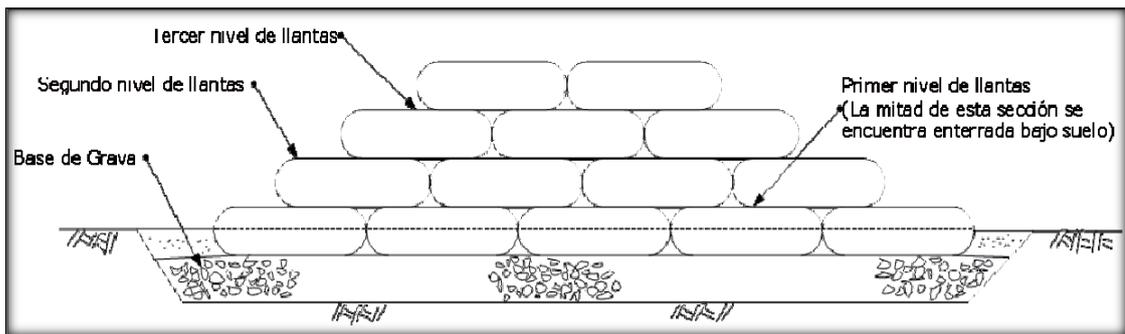


Figura N° 87: Vista frontal de apilado de llantas de forma piramidal.

Fuente: Guía de la Construcción del muro de contención, con llantas usadas.

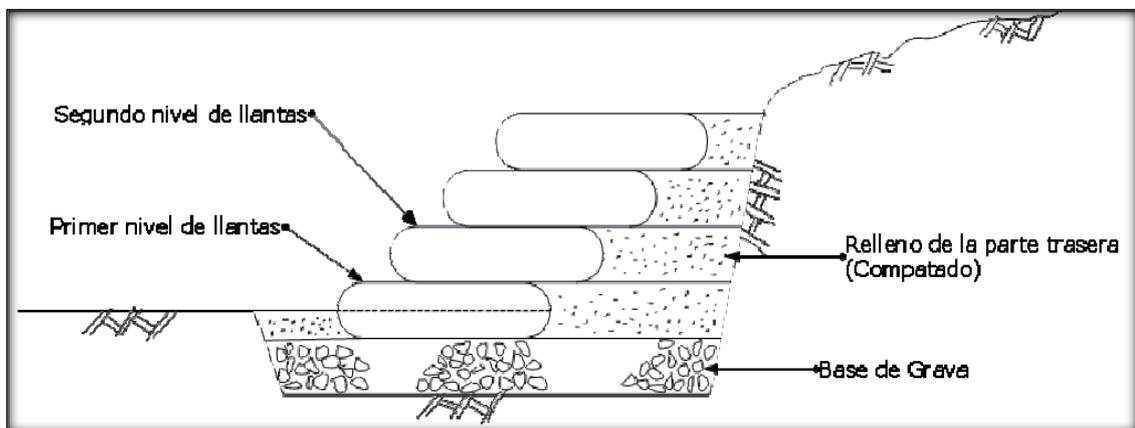


Figura N° 88: Vista seccional de apilado de llantas.

Fuente: Guía de la Construcción del muro de contención, con llantas usadas.

2. Las llantas se alinean desplazando hacia la pendiente de 5 cm a 10 cm con respecto a la fila de llantas colocada abajo. Se amarra una llanta con la otra usando alambre galvanizado, ganchos metálicos o polipropileno.

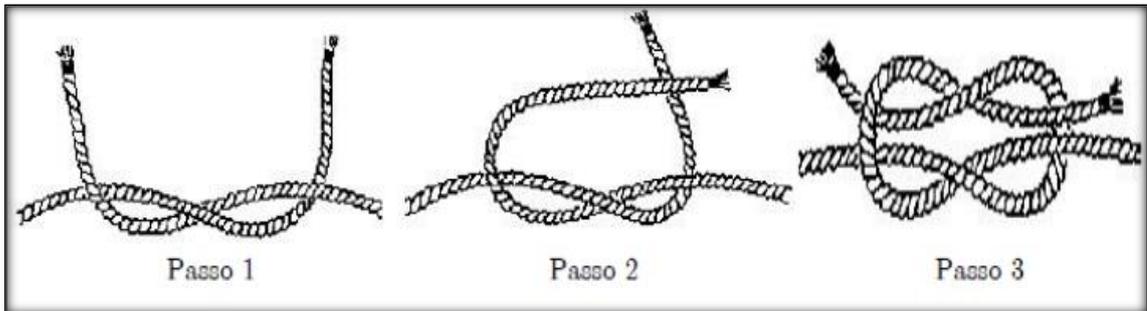


Figura N° 89: Nudo para el amarre de neumáticos con polipropileno.

Fuente: Teixeira, (2010)

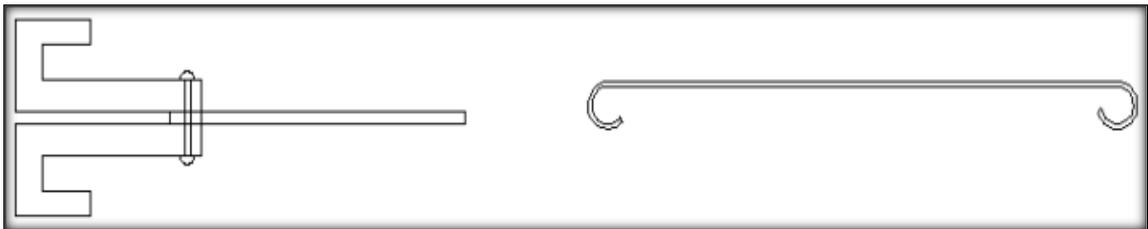


Figura N° 90: Ganchos metálicos para amarre de neumáticos.

Fuente: Teixeira, 2010

3. Se rellenan internamente las llantas en su totalidad con piedras (de ser posible tamaño  $\frac{3}{4}$ "") de la zona para lograr darle suficiente peso. El agujero de la llanta se rellena con lo que llamamos "suelo cemento", que es una mezcla de tierra y cemento, lo cual evita que el agua de lluvia erosione la estructura. La fórmula precisa del "suelo cemento" es: por 1 m<sup>3</sup> de tierra, mezclar 100 kg de cemento.



Figura N° 91: Colocación de rocas dentro de las llantas.

Fuente: Guía de la Construcción del muro de contención, con llantas usadas

4. El suelo cemento dentro de las llantas deberá ser compactado firmemente mediante trabajo humano.



Figura N° 92: Compactación manual de rocas del suelo-cemento.

Fuente: Guía de la Construcción del muro de contención, con llantas usadas



Figura N° 93: Talud estabilizado con muro de llantas.

Fuente: Guía de la Construcción del muro de contención, con llantas usadas (2010).

El muro de llantas a construir deberá tener más o menos la forma de la pendiente a proteger. Por facilidad de instalación se recomienda usar amarres de polipropileno o tornillos ya que solo requieren de apertura de huecos en los neumáticos y realización del nudo, mientras que los metálicos requerirían hacer el gancho para cada amarre lo que resulta un trabajo más tedioso de realizar, aunque también se puede considerar el uso de tornillos. En caso se considere una altura del muro como insegura, se pueden anclar varillas de acero de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro. Puede utilizarse llantas de diferentes tamaños, En caso de construir un muro que supere los 2 metros de altura es necesario consultar primero a un técnico o ingeniero calificado.

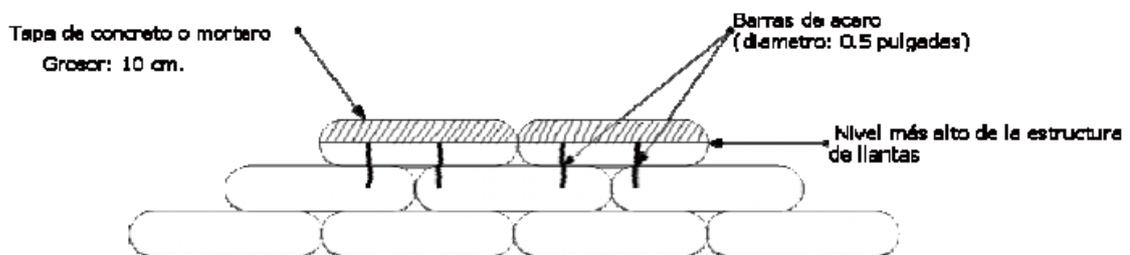


Figura N° 94: Anclaje de barras de acero.

Fuente: Guía de la Construcción del muro de contención, con llantas usadas.

Tanto de manera estructural como ambiental los muros de contención hechos de neumáticos son una excelente alternativa para la contención de tierras principalmente en zonas rurales que es donde se encuentran con mayor frecuencia zonas que requieren este tipo de estructuras. Estos muros le dan un respiro al medio ambiente ya que las llantas son materiales no reciclables, cuya degradación tarda aproximadamente 350 años en degradarse lo cual se convierte en una solución ambiental de gran impacto. Estos muros de contención pueden ser analizados como de gravedad y deben cumplir por diseño de volteo, deslizamiento y capacidad de carga, así también hace que la población se involucre en su construcción ya que no se requiere de obra muy calificada para su elaboración. (Zambrano 2014).

El uso de rellenos de arcilla no es recomendable debido a los problemas asociados con expansión contracción, y consolidación, pero a menudo son los únicos materiales disponibles. Los rellenos de limos uniformes no deben usarse porque esos materiales son prácticamente imposibles de compactar. Los rellenos compuestos de suelos finos, requieren de un drenaje adecuado para evitar la formación de presiones altas de poros. El relleno compuesto de roca fracturada es un material muy bueno para su uso como relleno de muros de contención. Generalmente, deben preferirse los materiales bien gradados y con pocas cantidades de finos.

Las obras pueden ser definitivas o pueden ser temporales de acuerdo al método utilizado. Generalmente en la estabilización de deslizamientos se emplean sistemas combinados que incluyen dos o más tipos de control de los indicados anteriormente; en todos los casos debe hacerse un análisis de estabilidad del talud ya estabilizado y se debe llevar un seguimiento del proceso durante la construcción y algunos años después.

## 2.4 Definición de términos básicos

**Deslizamientos:** movimientos en masa que se producen por desequilibrio entre fuerzas internas de las masas de suelo, provocando roturas, desplazamientos, y afloramientos rocosos en la superficie, así como deslizamientos, huaycos, reptación, etc.

**Factores:** según Gonzales (2002) son los agentes que influyen en los movimientos en masa de forma interna y externa, modificando el comportamiento y propiedades de los materiales que lo conforman, y se clasifican en factores condicionantes, que dependen del estado natural de su entorno como forma y estructura, y factores desencadenantes, que son agentes externos responsables de los movimientos en cuanto a velocidad y magnitud.

**Nivel de riesgo:** se refiere a la probabilidad de que ocurra un peligro y pérdidas, ya sean económicas, materiales, y vidas humanas) ante un fenómeno natural. No tiene un modo en específico de medida, puede ser bajo, medio o alto.

**Guía de intervención:** una guía es un procedimiento y método a seguir para conseguir un objetivo que en este caso es intervenir deslizamientos con las soluciones más adecuadas de acuerdo a su nivel de riesgo.

**Carreteras Vecinales:** se les llama carreteras vecinales a carreteras que presentan un IMD menor a 200 veh/día (bajo volumen), que pueden estar afirmados o sin afirmar. Usualmente conectan comunidades alejadas.

**Huaycos:** es un término quechua cuya definición (en INGEMMET, 2012) tiene el mismo concepto que define Suárez (1998) en los flujos de detritos, y consiste en movimientos rápidos de masas de suelo por gran presencia de agua, causando comportamientos viscosos de suelos, conformados por rocas, vegetación, lodo, etc.

**Volumen de tránsito:** cantidad de vehículos que transitan en una vía en un período de tiempo. Puede medirse de diferentes formas; en esta tesis será con el índice medio diario

.

**Medidas de mitigación:** son las medidas que se tomarán para prevenir y actuar frente a fallas de deslizamientos en las carreteras vecinales.

## **CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS**

### 3.1 Hipótesis

#### 3.1.1 Hipótesis principal

Usando la guía de intervención se puede asegurar la transitabilidad en un 80% en carreteras vecinales, y se interrumpirá el tránsito en un 20%.

#### 3.1.2 Hipótesis secundarias

- a) El factor más influyente que interviene en deslizamientos en carreteras vecinales es el clima, siendo más crítico en los meses de octubre a mayo, que es la temporada de lluvias.
- b) Los niveles de riesgo más altos de deslizamientos se deben al factor precipitación, con lluvias mayores a 850mm.
- c) Las medidas de mitigación más recomendables para la infiltración de aguas en los taludes, son zanjas de coronación, y para la formación de surcos es el rastrillado en dimensiones menores a 30cm de altura.

### 3.2 Variables

#### 3.2.1 Definición conceptual de las variables

Las variables a usar en esta tesis son los deslizamientos, las carreteras vecinales, los factores que intervienen en deslizamientos, los niveles de riesgo, las medidas de mitigación y la guía de intervención.

### 3.2.2 Operacionalización de las variables

Tabla N° 16: Operación de la variable dependiente.

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICES	INSTRUMENTOS	
Guía de intervención	Factores	Altura del talud, Mantenimiento y limpieza, ángulo, irregularidades, tipo de sección, área de captación, vegetación, precipitación, infiltración y geología	- Bajo (3) - Moderado (9) - Alto (27) - Muy Alto (81)	- Metodología de Instituto Mexicano del transporte - Instrumentos de medición - Observación	
	Nivel de riesgo	Bajo		IGE < 250	Metodología del Instituto Mexicano del transporte
		Medio		250 ≤ IGE < 400	
		Alto		IGE ≥ 400	
	Medidas de mitigación	- Prevención		- Sistemas de aviso y alarma.	- Manuales de geología y geotecnia - Manual de diseño para carreteras no pavimentadas BVT - Manual de diseño para carreteras pavimentadas BVT - Manual de Gordon Keller
		- Elusión de la amenaza		- Remoción total de material inestable. - Desquinche de taludes	
		- Control y protección de deslizamientos.		- Barreras de retención - Trinchos - Diques de retención	
		- Estabilización		- Recubrimiento de la superficie - Control de agua superficial y subterránea - Estructuras de contención	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 17: Operación de la variable independiente.

VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICES	INSTRUMENTOS
Deslizamientos	Tipos de deslizamientos	Caída de rocas, Derrumbes, Deslizamientos, Huaycos, Avalanchas, Reptación de suelos, Erosión de laderas, Inundación fluvial, Arenamiento, Erosión fluvial, Aluvión, Erosión marina, Hundimiento, Movimiento complejo.	Factores	- Observación - Instrumentos de medición

Fuente: Elaboración Propia.

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1 Tipo y nivel**

El enfoque de la investigación es de tipo cualitativo, porque define conceptos de deslizamientos y sus factores en carreteras vecinales, así como alternativas de solución. La presente tesis es una investigación descriptiva, porque se describe las metodologías tradicionales como alternativa de solución para mitigar y prevenir deslizamientos que afectan a las carreteras vecinales y poder proponer una guía de intervención.

### **4.2 Diseño de investigación**

Diseño de la investigación nos ayuda a cumplir los objetivos del estudio. La presente investigación es no experimental transversal descriptivo.

### **4.3 Población y muestra**

La población de estudio son los deslizamientos de las carreteras vecinales en el Perú.

Las muestras elegidas para aplicar el estudio son los deslizamientos a partir de expedientes técnicos de carreteras vecinales que se localizan en diferentes regiones del Perú.

### **4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **4.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos**

La presente tesis se basa en investigación bibliográfica. Para su desarrollo se tornó necesaria la obtención de información relacionada al análisis de los deslizamientos, expedientes técnicos de carreteras propensas a deslizamientos, estudios de casos relacionados, entre otros.

#### **4.4.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos**

Para adquirir estudios de mayor confiabilidad se adoptó como referencia fuentes locales, nacionales e internacionales, a fin de tener la información necesaria para el desarrollo de la evaluación de deslizamientos, tales como: medios virtuales, páginas web, artículos científicos, tesis, fichas, resúmenes, mapas mentales, cuadros sinópticos y literatura especializada en el tema de deslizamientos.

#### 4.4.3 Procedimientos para la recolección de datos

Como idea principal del área a estudiar se procedió con el estudio de bases teóricas y antecedentes expuestos en el marco teórico, que nos sirven de guía y sustento teórico y aplicativo para la elaboración del presente estudio; de otro lado, se recolectó datos de expedientes técnicos afines al tema.

#### 4.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Se estructuró cada una de las fuentes de información adquiridas por cada uno de los medios explicados anteriormente, libros, revistas, artículos científicos, etc. Asimismo, se tomó como base, estudios previos de deslizamientos que se encuentran en áreas de carreteras, y se fijaron parámetros para la clasificación de información útil de la investigación. Para analizar la información secundaria se tomó conclusiones de investigaciones relacionadas.

## **CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **5.1 Diagnóstico y situación actual**

Las carreteras vecinales del Perú sufren diferentes tipos de deslizamientos que causan interrupción parcial o total del tránsito, afectan a las comunidades locales al generar una paralización en el transporte y comercialización de la producción agrícola, el traslado de personas a centros educativos, a sus centros de trabajo, al traslado de enfermos a hospitales, etc. Estos desastres son originados por factores geodinámicos debido a la naturaleza variada que caracteriza al Perú. Las regiones montañosas se caracterizan en general por tener taludes de fuerte pendiente y condiciones climáticas correspondientes a regiones frías; los desiertos tienen poca humedad para poder aplicar medidas de control a través del uso de vegetación, pero tienen precipitaciones pluviales intensas de corta duración; las selvas tienen con frecuencia suelos pobres y problemas de drenaje; las regiones en valles altos tienen terrenos abruptos bisectados y cruces para drenaje difíciles, etc.



Figura N° 95: Caída de rocas en la vía Cusco-Paucartambo.

Fuente: El Comercio (2020)

En este contexto se propone una guía de intervención con el propósito de que los municipios cuenten con este instrumento para asegurar la transitabilidad de estas vías independientemente del tipo de superficie que se tenga; en ocasiones resulta necesario emplear soluciones únicas. Para esto, se brindará alternativas de solución sostenibles con materiales locales tomando en cuenta criterios de los manuales de diseño y normas técnicas adecuadas para las carreteras vecinales. Se cuenta con la información de la base

de datos del INGEMMET. Se corroborará esta información, y se presentará alternativas de solución según las características particulares de los deslizamientos.

Para nuestra investigación se tomó en cuenta 6 carreteras vecinales del Perú, que se encuentran en los departamentos de Apurímac, Tacna, Cajamarca, San Martín y La Libertad.

#### 5.1.1 Ubicación y área de estudio

Para este estudio, se tomó los casos de carreteras vecinales en Apurímac, Tacna, Cajamarca, San Martín y La Libertad, tomando en cuenta zonas de las carreteras en las que ha habido deslizamientos en los últimos años o están propensos a que ocurran. Los tipos de deslizamientos que se presentan por lo general en las carreteras del Perú según INGEMMET son:

- Caída de rocas
- Derrumbes
- Vuelcos
- Deslizamientos
- Huaicos
- Avalanchas
- Reptación
- Erosión de laderas
- Inundación fluvial
- Arenamiento
- Erosión fluvial
- Aluvión
- Erosión marina
- Hundimiento
- Movimiento complejo

#### Zonas críticas

Las zonas críticas son áreas o lugares, que luego del análisis de la susceptibilidad a los procesos identificados y la vulnerabilidad a la que están expuestas obras de infraestructura y centros poblados; se considera necesario ejecutar en ellas obras de prevención y/o mitigación; o en algunos casos las

medidas adoptadas anteriormente necesitan ampliarse o mejorarse (Fidel y otros, 2006).

Se presenta el mapa de inventario y los datos físicos sobre los deslizamientos en el Perú.

Mapa de inventario de peligros geológicos:

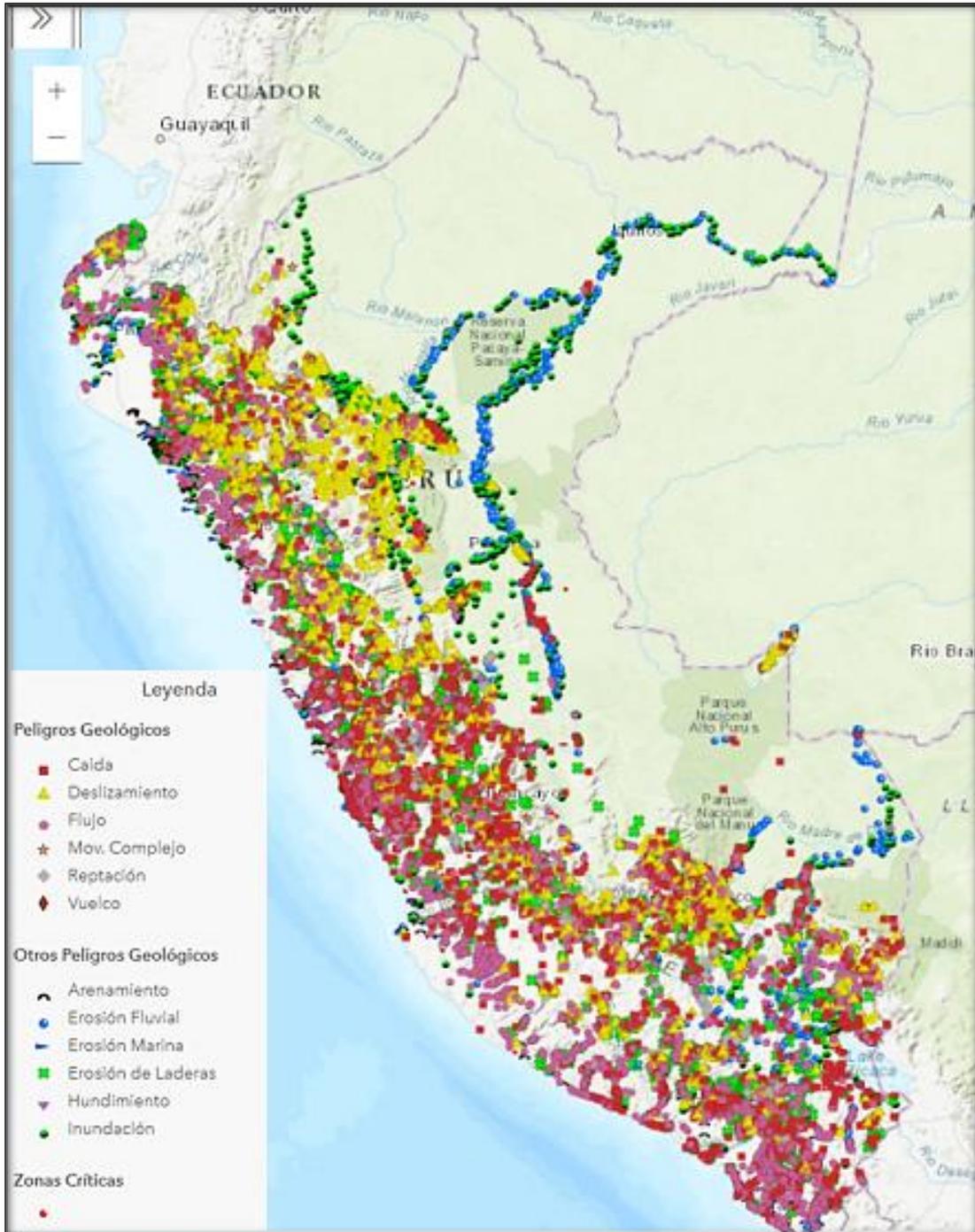


Figura N° 96: Mapa de inventario de peligros geológicos del Perú.

Fuente: INGEMMET (2010)

Mapa de susceptibilidad:

Nos muestra las áreas que tienen el potencial de deslizamientos.



Figura N° 97: Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Perú.

Fuente: INGEMMET (2010)

#### Categorías de susceptibilidad:

■ Muy bajo: Terrenos con pendientes menores a 5° donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos. Laderas no meteorizadas, con discontinuidades favorables.

■ Bajo: Zonas que tienen pocas condiciones para originar Movimientos en masa, salvo que pueda ser afectada por MM ocurridos en zonas de susceptibilidad alta a muy alta cercanas a ellas, detonadas principalmente por lluvias excepcionales. Laderas con materiales poco fracturados, moderada a poca meteorización, parcialmente erosionados, no saturados con pocas discontinuidades favorables. Pendientes entre 10° a 20°. Se incluyen MM causados por erosión fluvial.

■ Media: Laderas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados, moderadamente meteorizados, laderas con pendientes entre 20° y 30°, donde han ocurrido algunos MM y no existe completa seguridad de que no ocurran MM. Estos pueden ser “detonados” por sismos y lluvias excepcionales.

■ Alta: Laderas que tienen zonas de falla, masas de roca con meteorización alta a moderada, fracturadas con discontinuidades desfavorables; depósitos superficiales inconsolidados, materiales parcialmente a muy saturados, laderas con pendientes entre 25° a 45°, donde han ocurrido MM o existe la posibilidad de que ocurran.

■ Muy alta: Laderas con zonas de falla, masas de rocas intensamente meteorizadas, saturadas y muy fracturadas; con discontinuidades desfavorables, depósitos superficiales inconsolidados, laderas con pendientes entre 30° a 45°, movimientos en masa anteriores y/o antiguos. En estos sectores existe alta posibilidad de que ocurran MM.

Mapa de peligros del Perú:

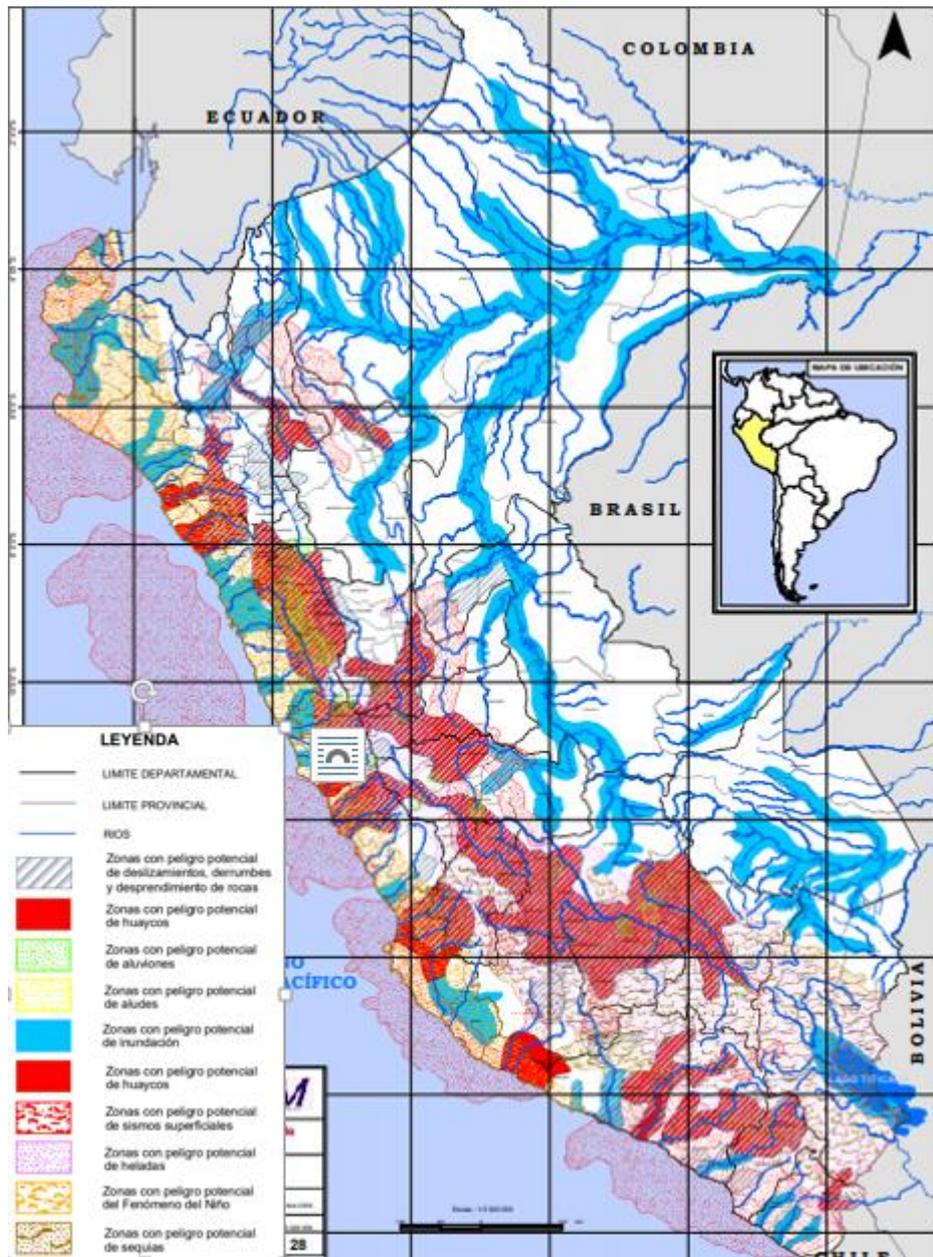


Figura N° 98: Mapa de peligros del Perú.

Fuente: Consultoría de Aspectos Físico - Espaciales - PCM (2003)

## 5.2 PROPUESTA DE MODELO DEL INSTITUTO MEXICANO DE TRANSPORTE

El modelo se ha formulado en una hoja de cálculo Excel, donde se toman los datos de cada caso estudiado considerando los factores de evaluación propuesto por el IMT mediante el Indicador General de Estabilidad de Cortes Carreteros (IGEcc), tomando en cuenta las características del talud, clima y geología.

### 5.2.1 Evaluación mediante el IGEcc

Para la evaluación se consideran datos de Características del talud (que se refiere a altura, mantenimiento/limpieza, ángulo, irregularidades, Tipo de sección, Área de captación y vegetación), clima (refiriéndose a precipitación media anual, infiltración/agua presente) y geología (Tipo de roca, grado de erosión, tamaño de bloque, entre otros), obtenidos de los expedientes técnicos en casi todos los factores. Se va a obtener una puntuación de acuerdo a cada factor, y con ello el nivel de riesgo.

Los datos se van colocando en la hoja de cálculo de acuerdo a cada caso, con el siguiente procedimiento:

#### Características del talud

Se evalúan los siguientes factores:

1. Altura: se elige en la hoja de cálculo el rango de alturas en que se encuentra el talud, en metros.

0 a 5 m: 3 puntos

5 a 10 m: 9 puntos

> 10 a 20 m: 27 puntos

> 20 m: 81 puntos

2. Mantenimiento / Limpieza: Este factor se obtiene preguntando a los transeúntes del lugar o municipios sobre la frecuencia de mantenimiento y el tipo de limpieza que se brinda a la zona de la carretera en estudio. El dato del mantenimiento a proporcionar en la hoja de cálculo se obtiene según la tabla:

Tabla N° 18: Riesgo del corte considerando Mantenimiento/Limpieza.

FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO	LIMPIEZA			
	Menor Barrido de escombros, limpieza de cunetas	Moderado Algunas cargas y acarreo	Mayor Cargas y acarreo significantes	Trabajo extenso
No tan frecuente	Menor	Moderado	Moderado	Moderado
Anualmente (1 vez por año)	Menor	Moderado	Moderado	Alto
Estacional (1 a 3 veces por año)	Menor	Moderado	Alto	Muy alto
Mas de 3 veces por año	Moderado	Alto	Muy alto	Muy alto

Fuente: Instituto Mexicano del Transporte

Menor: 3 puntos

Moderado: 9 puntos

Alto: 27 puntos

Muy alto: 81 puntos

3. Ángulo: Para la obtención de estos datos, es necesario saber si el talud es suelo o roca. Para ángulo de suelo, en la hoja de cálculo se selecciona el dato del rango en el que se encuentra el ángulo:

< 30°: 3 puntos

30° a 40°: 9 puntos

40° a 60°: 27 puntos

> 60°: 81 puntos

Para ángulo de roca, Se evalúa según la tabla:

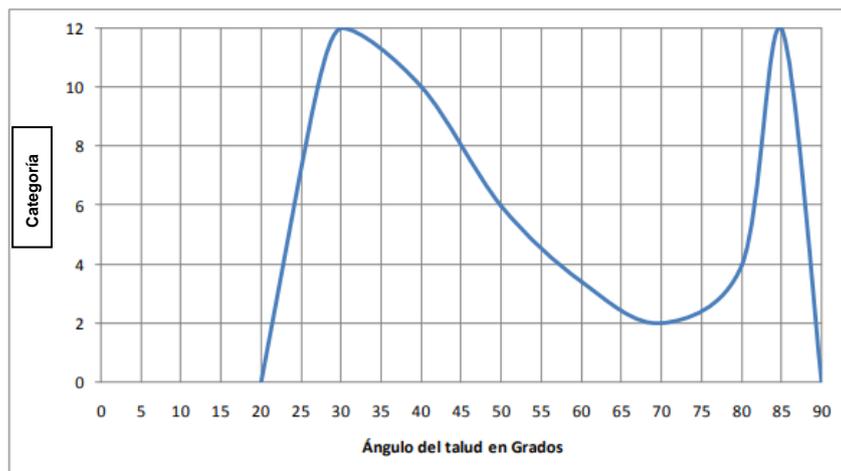


Figura N° 99: Puntuación para caídas de roca según ángulo del talud.

Fuente: Missouri DOT's RHRS en IMT (2012)

Por último, se selecciona el rango en el que se encuentra la categoría:

Categoría < 2: 3 puntos

Categoría 2 a 4: 9 puntos

Categoría 4 a 8: 27 puntos

Categoría > 8: 81 puntos

4. Irregularidades: Se obtiene el dato al observar el talud y verificar su relieve, considerando 4 categoría: Ninguna (presenta un corte plano y liso, sin variaciones), Menor (con pocas variaciones y cúmulos de roca de hasta 60 cm), Moderada (presenta severas variaciones con cúmulos desde 60cm a 2m) y Mayor (presenta deformaciones y afloramientos, con escalones con más de 2m). En la hoja de cálculo se selecciona entre los valores:

Ninguna: 3 puntos

Menor: 9 puntos

Moderada: 27 puntos

Mayor: 81 puntos

5. Tipo de sección transversal: Se elige entre las opciones si la sección de la vía es tipo balcón o tipo cajón, con fallas o sin fallas:

Sección tipo cajón que no tiene fallas en la superficie de rodadura: 3 puntos.

Sección tipo cajón con fallas en la superficie de rodadura: 9 puntos.

Sección tipo balcón que no tiene fallas en la superficie de rodadura: 27 puntos.

Sección tipo balcón con fallas en la superficie de rodadura: 81 puntos.

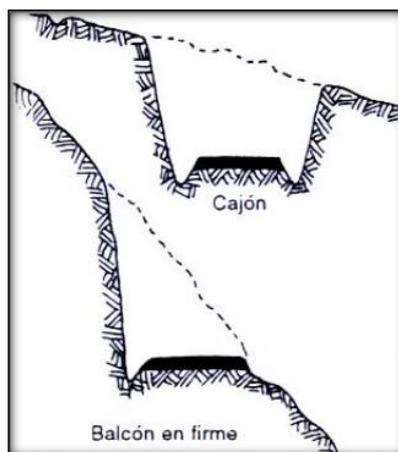


Figura N° 100: Sección típica de una vía en corte de talud.

Fuente: Gregorio Espejo (2016)

6. Área de captación de material desprendido: Primero, se calcula las dimensiones de ancho ( $W_a$ ) y altura ( $D_a$ ) del espacio entre el talud y la carretera. Con estos datos se obtienen los valores del nuevo ancho ( $W_r$ ) y altura ( $D_r$ ) de forma aproximada siguiendo la tabla:

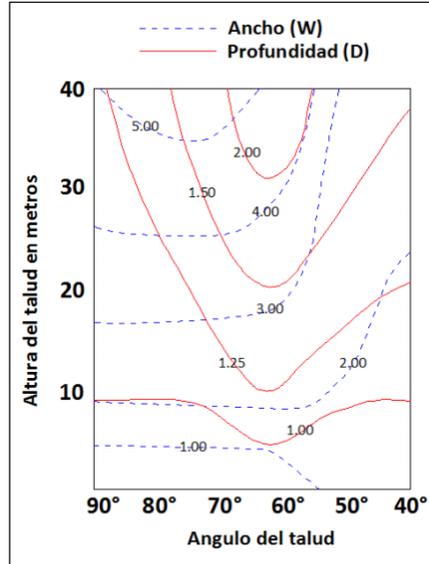


Figura N° 101: Criterio de Whiteside (1986) para el diseño de área de captación.

Fuente: IMT (2012)

Por último, el programa reemplaza en la fórmula:

$$\text{Efectividad: } \frac{D_a + W_a}{D_r + W_r} \times 100\%$$

La hoja de cálculo nos dará el valor de nivel de riesgo según el porcentaje de efectividad obtenido:

95% al 100%	3
64% al 94%	9
30% al 64%	27
0% a 30%	81

7. Vegetación: Se verifica la vegetación en el cuerpo del talud y la corona, y se describe qué tipo de vegetación posee:

Vegetación en cuerpo del talud:

Baja = 3 pts. (Poblado/arbustivo)

Media = 9 pts. (Poblado/herbáceo)

Alta = 27 pts. (Semidesnudo/herbáceo)

Muy alta = 81 pts. (Desnudo)

Vegetación en corona del talud:

Baja = 3 pts. (Poblado/arbóreo)

Media = 9 pts. (Poblado/arbustivo, semidesnudo/arbóreo)

Alta = 27 pts. (Poblado/herbáceo, semidesnudo/arbustivo)

Muy alta = 81 pts. (Desnudo, semidesnudo/herbáceo)

Clima

Se evalúan los siguientes factores:

8. Precipitación: Estos datos se obtienen consultando los datos meteorológicos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) de la región. En la hoja de cálculo se selecciona el dato según los rangos:

Precipitación normal anual  $\leq 200$  mm = 3 puntos

$200$  mm < Precipitación normal anual  $\leq 500$  mm = 9 puntos

$500$  mm < Precipitación normal anual  $\leq 850$  mm = 27 puntos

Precipitación normal anual  $> 850$  mm = 81 puntos

9. Infiltración: Se obtiene el dato de acuerdo a la apariencia del talud con respecto a su saturación. En la hoja de cálculo se selecciona de acuerdo a:

Sin humedad: 3 puntos

Húmedo/mojado: 9 puntos

Goteando: 27 puntos

Agua escurriendo: 81 puntos

Geología

En esta categoría, es necesario identificar qué tipo de roca presenta el talud. Luego, se ingresan los datos requeridos de cada factor para dicho tipo de roca. Por ejemplo, si es roca sedimentaria, sólo se ingresan datos sobre este tipo de roca, y no es necesario rellenar las casillas de los demás (roca cristalina, bloques en matriz, o suelos residuales).

Rocas Sedimentarias

Se evalúan los siguientes factores:

10. Socavación del talud: Se obtiene el dato midiendo la longitud de desgaste y la cantidad de material erosionado en el pie del talud. En la hoja de cálculo se selecciona entre:

0 a 0.3 m: 3 puntos

0.3 m a 0.6 m: 9 puntos

0.6 m a 1.5 m: 27 puntos

> 1.5 m: 81 puntos

11. Grado de Interstratificación: Se evalúa el grado de interstratificaciones débiles y su espesor, considerando las siguientes opciones, y que están en la hoja de cálculo:

1 a 2 interestratos débiles < 15cm: 3 puntos

1 a 2 interestratos débiles > 15cm: 9 puntos

Más de 2 interestratos < 15cm: 27 puntos

Más de 2 interestratos > 15cm: 81 puntos

12. Formación de Surcos: Los datos se refieren a las dimensiones de los surcos que se presentan en taludes. En la hoja de cálculo se seleccionará entre los rangos:

Profundidad  $\leq$  5cm o Ancho  $\leq$  2cm: 3 puntos

5 < Profundidad  $\leq$  10cm o 2cm < Ancho  $\leq$  5cm: 9 puntos

10 < Profundidad  $\leq$  20cm o 5cm < Ancho  $\leq$  10cm: 27 puntos

Profundidad > 20cm o Ancho > 10cm: 81 puntos

Roca Cristalina:

Se evalúan los siguientes factores:

13. Tipo de roca: este factor se considera según el grado de variación litológica del macizo rocoso que tiene el talud en estudio. Se selecciona en la hoja de cálculo:

Homogéneo/macizo. Implica las variaciones litológicas y mineralógicas en pocas proporciones dentro del macizo rocoso: 3 puntos.

Pequeñas venas/fallas fuertes. La masa presenta poca pérdida de resistencia en roca: 9 puntos.

Esquistos/zonas de cizallamiento < 15 cm. Zonas de esquistos dentro del macizo rocoso, aumentando su erosión física y química: 27 puntos.

Pegmatitas débiles/micas/zonas de cizallamiento > 15 cm. Debilitan unión entre las rocas: 81 puntos.

14. Grado de salientes: se consideran las dimensiones de las rocas salientes cuyos rangos se presentan en la hoja de cálculo:

De 0 a 30 cm: 3 puntos

De 30 cm a 60 cm: 9 puntos

De 60 cm a 120 cm: 27 puntos

Mayores a 120 cm: 81 puntos

15. Grado de erosión: Se obtiene de los signos visuales del nivel de degradación o deterioro de la roca en el talud. Se considera en la hoja de cálculo:

Es reciente y no hay signos visibles de deterioro en la roca, pero sí un leve descoloramiento: 3 puntos.

Tiene superficie decolorada/desgastada (deterioro en la superficie): 9 puntos.

Ligera alteración. Una parte de la roca está desintegrada: 27 puntos.

Una parte de la roca aún no se desintegra y presenta descoloramiento: 81 puntos.

16. Tamaño de bloques: Estos datos se obtienen con medidas del espaciamiento entre discontinuidades, y el volumen de los bloques caídos. Se selecciona el dato en la hoja de cálculo mediante los siguientes rangos:

< 0.3 m / < 0.5 m<sup>3</sup>: 3 puntos

0.3 m a 0.60 m / 0.5 m<sup>3</sup> a 2 m<sup>3</sup>: 9 puntos

0.60 m a 1.50 m / 2 m<sup>3</sup> a 6 m<sup>3</sup>: 27 puntos

> 1.50 m / > 6 m<sup>3</sup>: 81 puntos

17. Grupo de discontinuidades: Se obtienen datos con el número de familias de discontinuidades observados en el talud. En la hoja de cálculo, se selecciona entre:

1: 3 puntos

1 aleatorio: 9 puntos

2: 27 puntos

> 2: 81 puntos

18. Persistencia/orientación: Los datos se obtienen con el tamaño del bloque que puede deslizarse y con la dirección en la que iría. En Excel se selecciona de acuerdo a los rangos:

< 3m /buzamiento hacia adentro del talud: 3 puntos

> 3m /buzamiento hacia adentro del talud: 9 puntos

< 3m /orientación hacia la carretera: 27 puntos

> 3m /orientación hacia la carretera: 81 puntos

19. Abertura: Se toma el dato de la distancia entre paredes de una discontinuidad. Se ingresa el dato en la hoja de cálculo de acuerdo a los rangos siguientes:

Cerradas: 3 puntos

0.1mm a 1mm: 9 puntos

1mm a 5mm: 27 puntos

> 5mm: 81 puntos

20. Condiciones de erosión: Se obtiene los datos con respecto al grado de erosión en las discontinuidades; y según los rangos, se selecciona en la hoja de cálculo:

Reciente. Tiene un leve descoloramiento, pero no hay deterioro visible: 3 puntos

Superficie decolorada/desgastada que indica deterioro de la superficie roca: 9 puntos.

Aberturas con material granular que puede ocasionar fallas y asentamientos: 27ptos.

Aberturas con material arcilloso. La arcilla indica alto riesgo de deslizamiento: 81ptos.

21. Fricción: Se obtiene el dato observando el talud y su superficie rugosa, y se ingresa en la hoja de cálculo según las opciones:

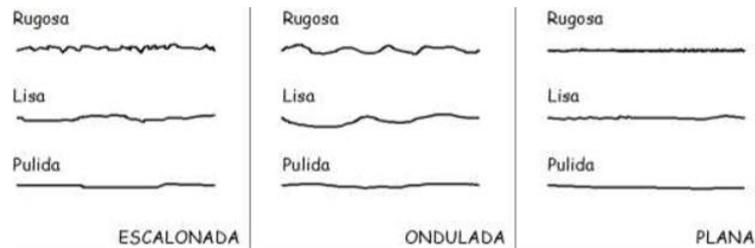


Figura N° 102: Perfiles de rugosidad.

Fuente: ISRM (1981)

Rugosa: 3 puntos

Ondulada: 9 puntos

Planar: 27 puntos

Planar lisa: 81 puntos

Bloques de matriz:

Se evalúan los siguientes factores:

22. Tamaño del bloque: Se ingresan datos según las dimensiones del bloque del talud en estudio, y los siguientes rangos en la hoja de cálculo:

< 0.30 m: 3 puntos

0.30 m a 0.60 m: 9 puntos

0.61 m a 1.50 m: 27 puntos

> 1.50 m: 81 puntos

23. Forma el bloque: se ingresa el dato en la hoja de cálculo de acuerdo a la forma del bloque y las siguientes opciones:

Bloques tabulares con 3 puntos

Bloques cúbicos con 9 puntos

Cúbicos a angulares con 27 puntos

Redondas y lisas, y rocas con buzamiento hacia afuera, con 81 puntos

24. Deslizamientos/Desplazamientos: Se introduce el dato en la hoja de cálculo de acuerdo a los signos visuales de deformaciones o pequeñas fallas que se presentan en el talud según las siguientes opciones:

Agrietamientos en corona: 3 puntos

Agrietamientos y hundimientos en cuerpo del talud: 9 puntos

Presencia de material suelto, así como vegetación inclinada y acumulación en la base del talud. 27 puntos

Gradas: 81 puntos

Suelos residuales

25. Perfil de meteorización: Se obtiene los datos de acuerdo al tipo de material que lo constituye, que se observa en el talud. Se ingresa el dato en la hoja de cálculo según el horizonte que indica la figura N°:

Horizonte B-C: 3 puntos

Horizonte B: 9 puntos

Horizonte A-B: 27 puntos

Horizonte A: 81 puntos

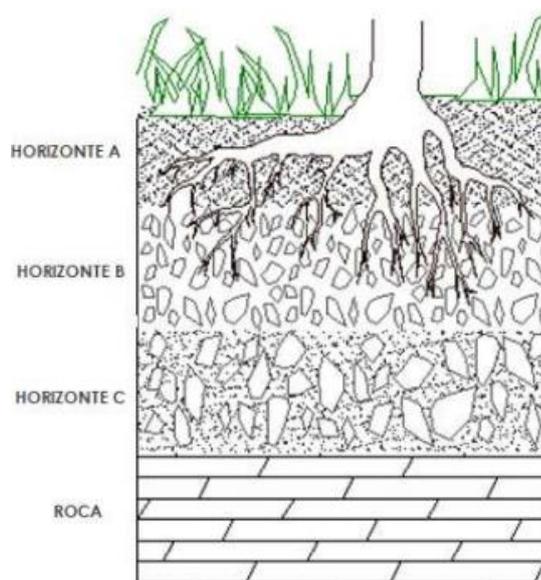


Figura N° 103: Perfil teórico del suelo.

Fuente: IMT (2012)

26. Esguerrimiento Superficial: Se selecciona el dato en la hoja de cálculo de acuerdo a las marcas de agua o formación de torrentes que presenta el talud:

Si el talud presenta pequeños torrentes: 3 puntos

Presencia de inicios de formación de surcos: 9 puntos

Si hay torrentes y surcos en más de la mitad del cuerpo del talud: 27 puntos

Existencia de cárcavas: 81 puntos

## 27. Contacto suelo sobre roca:

Se selecciona el dato en la hoja de cálculo de acuerdo a la rugosidad que presente la superficie:

Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud: 3 puntos

Salientes de roca cúbica con tamaños de 30 a 60cm: 9 puntos

Rocas con superficie de fricción onduladas: 27 puntos

Rocas con superficie de fricción planar lisa: 81 puntos

### 5.2.2 Expedientes

Se evaluaron 8 expedientes técnicos de carreteras que presentan casos de deslizamientos en diferentes tramos:

- Rehabilitación y mejoramiento de camino vecinal Pacobamba-Huironay-Ccerabamba- Abra Cuzqueña-Distrito de Pacobamba-Andhuaylas.Apurimac (AP-525)
- Mejoramiento y Rehabilitación del camino vecinal tramo Nogalpampa - Cotarma - Piscaya, Distrito Pichirhua (AP-654 y AP-655).
- Mejoramiento de la carretera Ilabaya – Cambaya, Camilaca (TA-563)
- Informe técnico de evaluación por deslizamiento en la carretera Chilete - San Pablo - CC.PP. Kuntur Wasi, Provincia San Pablo – Cajamarca (CA-103)
- Evaluación del deslizamiento del Km 38+700 de la carretera Cuñumbuque - Zapatero - San José de Sisa (SM-102)
- Rehabilitación del camino vecinal tramo San Fernando – Trapiche – Arcay – Alparmarca– Distrito de Parcoy, Pataz, La Libertad. (LI-862)

#### 1. Rehabilitación y mejoramiento de camino vecinal Pacobamba-Huironay-Ccerabamba- Abra Cuzqueña-Distrito de Pacobamba-Andhuaylas.Apurimac (AP-525):

Departamento: Apurímac

Provincia: Andahuaylas

Distrito: Pacobamba

Carretera: AP - 525

Tramo: Pacobamba – Huironay – Ccerabamba – Abra Cuzqueña

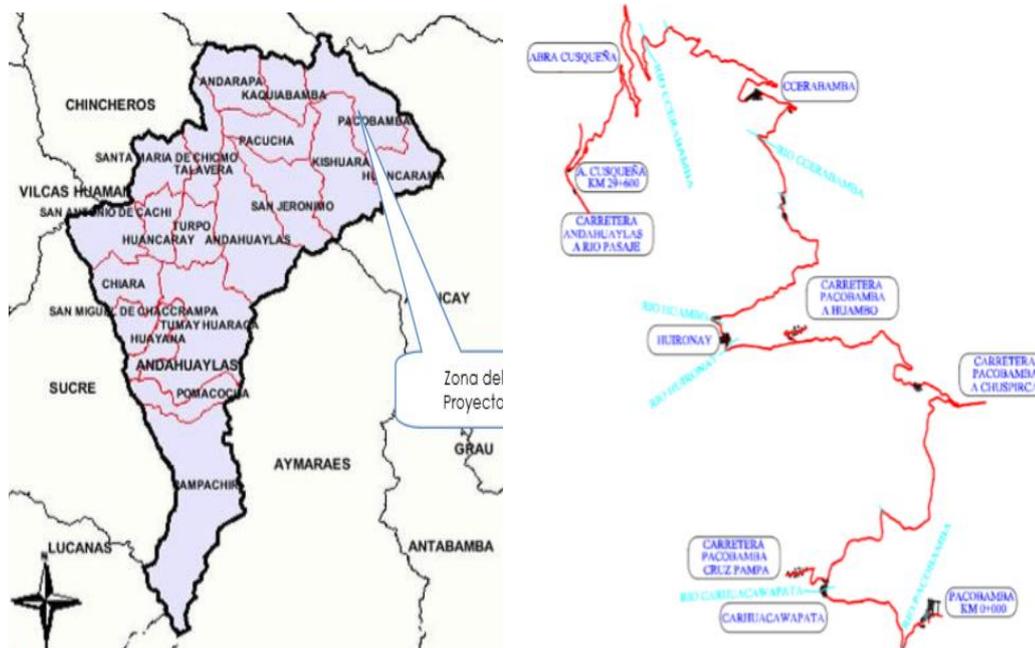


Figura N° 104: Provincia de Andahuaylas y zona crítica de la carretera.

Fuente: Estudio de Pre-inversión Mejoramiento y Rehabilitación Camino Vecinal Pacobamba- Andahuaylas (2016)

Vías de acceso:

Para llegar a la vía, se sigue la ruta por la vía principal entre Andahuaylas y Abancay hasta Huancarama, donde se toma la variante hacia Pacobamba. Cuenta con transporte público y tránsito de carga, ya que es una zona agrícola (producción de maíz, frijol, papa, frutícolas, menestras y tubérculos). Son 184.3 Km de carretera, que conecta con los centros poblados y distritos en los caminos de herradura. Cuenta con un IMD de 79 veh/día.

Tabla N° 19: Acceso a zona del proyecto.

De	A	Km.	Tipo de Vía	Medio Transporte	Tiempo (hr)	Frecuencia
Andahuaylas	Pacobamba	85	Carretera afirmada	Vehicular	2	Diaria
Abancay	Pacobamba	78	Carretera afirmada	Vehicular	1	
Pacobamba	Abra Cusqueña	28.834	Carretera afirmada	Vehicular	40 min.	

Fuente: Estudio de Pre-inversión Mejoramiento y Rehabilitación Camino Vecinal Pacobamba- Andahuaylas (2016)

Se analizan 11 zonas críticas de la carretera en las progresivas siguientes: 0+550, 5+680, 13+860, 16+640, 23+860, 24+740, 24+800, 25+060, 25+640, 26+450, y 28+240.

2. Mejoramiento y Rehabilitación del camino vecinal tramo Nogalpampa - Cotarma - Piscaya, Distrito Pichirhua (AP-654 y AP-655).Ubicación geográfica:

Departamento: Apurímac

Provincia: Abancay

Distrito: Pichirhua

Carretera: Ruta AP-654 y AP-655

Tramo: Nogalpampa – Cotarma - Piscaya

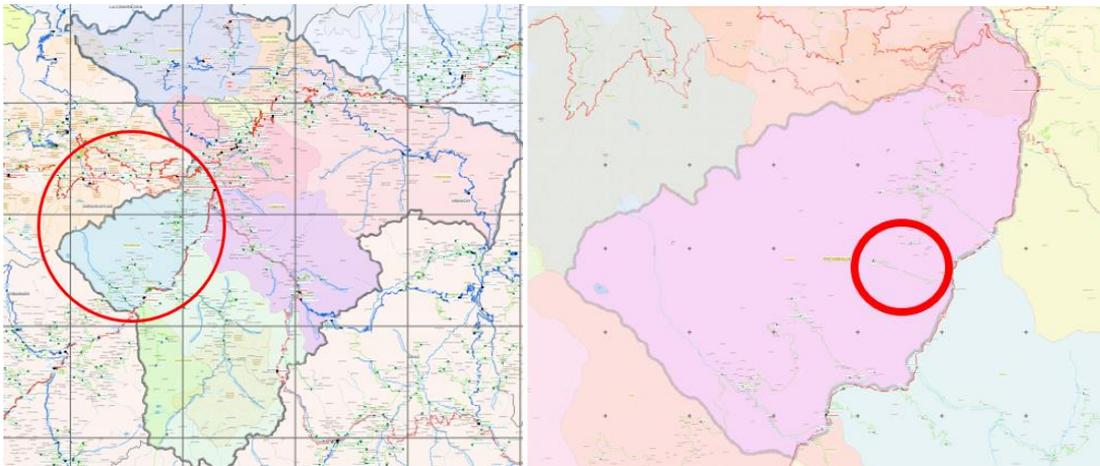


Figura N° 105: Provincia de Abancay y zona de Ruta AP-654 y AP-655.

Fuente: Mejoramiento y Rehabilitación del camino vecinal tramo Nogalpampa - Cotarma - Piscaya, Distrito Pichirhua

Vías de acceso:

La vía Vecinal (Nogalpampa – Cotarma), tiene una longitud de 12+476 Km., con ancho promedio de 3.80 m., el material predominante es roca descompuesta (50%), Conglomerado(20%), Roca fija (5%), Roca suelta (5%), material suelto (20%), la sección transversal es accidentada (30% - 70%), las curvas de volteo son angostas las que dificulta el volteo de los camiones de 2E (oscila el radio entre 7 m. – 9 m. como máximo), la pendiente de la sección longitudinal oscila entre 3% y 9%, la vía no cuenta con afirmado y presenta deformaciones y erosiones.

Se analizan 5 zonas críticas de la carretera en las progresivas siguientes:

En el tramo Nogalpampa – Cotarma se estudia la zonas de las progresivas 01+210, 05+600, 07+775, y en el tramo Inupata – Piscaya se analiza la zona de las progresivas 02+210 y 03+680.

3. Mejoramiento de la carretera Ilabaya – Cambaya, Camilaca (TA-563):

Departamento: Tacna

Provincia: Jorge Basadre

Distrito: Ilabaya

Carretera: Ruta TA-563

Tramo: Ilabaya – Cambaya – Camilaca

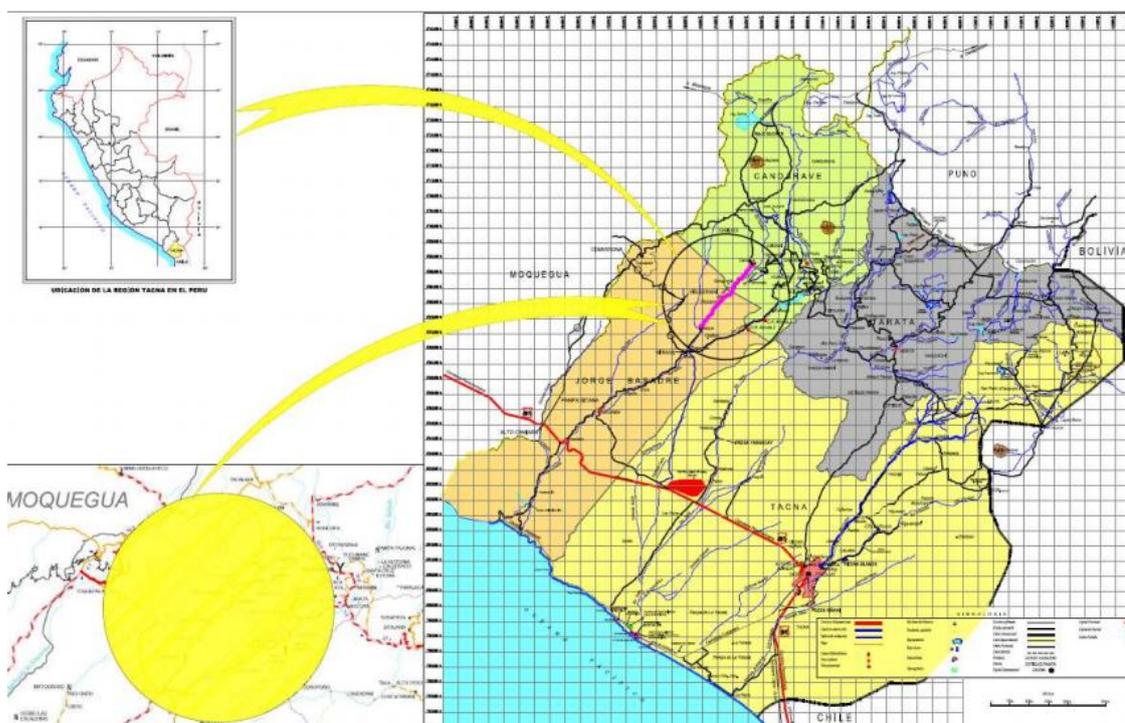


Figura N° 106: Tacna y zona de la carretera.

Fuente: Mejoramiento de la carretera Ilabaya – Cambaya – Camilaca.

Vías de acceso:

La carretera se inicia en el distrito de Ite que enlaza a su vez a la Carretera Costanera Tacna – Ilo, hasta su intersección con la Carretera Panamericana. El acceso a la carretera Ilabaya – Camilaca se encuentra en la localidad de Camiara ubicada a 82 km al norte de la ciudad de Tacna, que es la ciudad más importante de la zona. Desde Camiara se asciende hacia los poblados

de Locumba, Sagollo, Chipec, Mirave e Ilabaya. Este es el inicio del tramo en estudio.

Se analizan 3 zonas críticas de la carretera en las progresivas siguientes: 6+170, 13+790 y 1+790.

4. Informe técnico de evaluación por deslizamiento en la carretera Chilete - San Pablo - CC.PP. Kuntur Wasi, Provincia San Pablo – Cajamarca (CA-103):

Departamento: Cajamarca

Provincia: San Pablo

Distrito: San Pablo

Carretera: Chilete- San Pablo

Tramo: CA-103

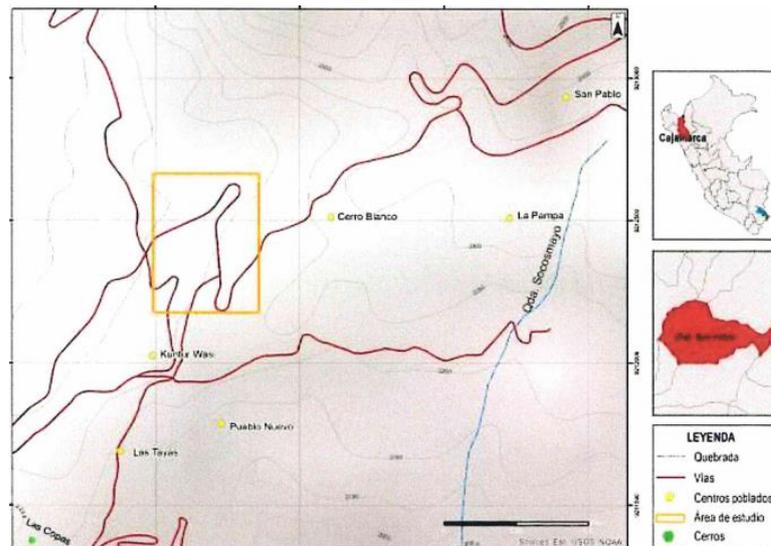


Figura N° 107: Ubicación de zona crítica de la carretera.

Fuente: Informe técnico de evaluación por deslizamiento en la carretera Chilete - San Pablo - CC.PP. Kuntur Wasi, Provincia San Pablo – Cajamarca.

La zona de estudio se ubica entre los km 24+000 y 25+000 de la carretera Chilete – San Pablo, flanco noroccidental del cerro Las Copas, a 426 m con dirección norte 27° del centro poblado Kuntur Wasi, distrito y provincia San Pablo, departamento Cajamarca. Entre las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 17):

Longitud: 738571 – 738729 E

Latitud: 9212542 – 9212199S

Altitud: 2166 – 2234 msnm

Vías de acceso:

Tabla N° 20: Vías de acceso carretera Chilete - San Pablo, Cajamarca.

Tramo		Kms.	Tipo de vía	Duración (h)
Lima	Cajamarca	826	Asfaltada	13:07
Cajamarca	Kuntur Wasi - Km 25+000	66.6	Asfaltada	1:46

Fuente: Informe técnico de evaluación por deslizamiento en la carretera Chilete - San Pablo - CC.PP.

Kuntur Wasi, Provincia San Pablo – Cajamarca.

Se analizan 2 zonas críticas de la carretera en las progresivas siguientes:

24+520 y 25+000

5. Evaluación del deslizamiento del Km 38+700 de la carretera Cuñumbuque - Zapatero - San José de Sisa (SM-102):

Departamento: San Martín

Provincia: El Dorado

Distrito: San José de Sisa

Carretera: Cuñumbuque - Zapatero - San José de Sisa

Tramo: SM-102

La zona de estudio se encuentra en el km 38+700 de la carretera departamental ruta SM-102, tramo EMP. PE-05 Cuñumbuque – Zapatero – San José de Sisa, la cual se ubica aproximadamente a 50 km de la ciudad de Tarapoto, circunscrita en el distrito de San José de Sisa, provincia de El Dorado, región San Martín.

Tabla N° 21: Coordenadas de ubicación de la zona evaluada

Sector Evaluado	Coordenadas UTM, Zona 18 S		Coordenadas Geográficas	
	Norte	Este	Latitud	Longitud
km 38+700 Carretera Cuñumbuque - Zapatero - San José de Sisa	9266485	320772	6°38'0.21"S	76°37'16.49"O

Fuente: Evaluación del deslizamiento del Km 38+700 de la carretera Cuñumbuque - Zapatero - San José de Sisa.

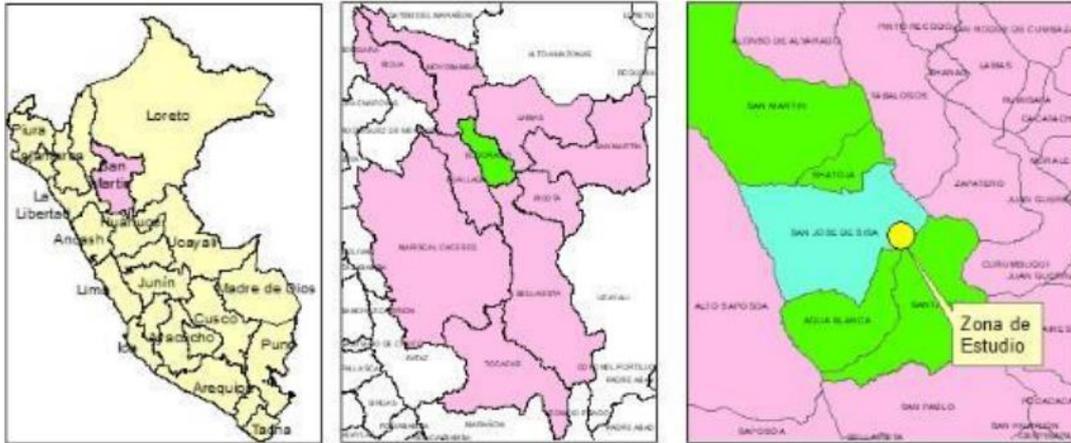


Figura N° 108: Mapa de ubicación del área de la zona de estudio.

Fuente: Evaluación del deslizamiento del Km 38+700 de la carretera Cuñumbuque - Zapatero - San José de Sisa.

Vías de acceso:

El acceso a la zona de evaluación se realiza siguiendo el itinerario indicado en la tabla N°22, partiendo de la ciudad de Tarapoto.

Tabla N° 22: Ruta de acceso a la zona de evaluación.

Tramo	Tipo de Acceso	Tipo de Vía	Longitud (km)	Duración
Tarapoto - Desvío a Cuñumbuque	Terrestre	Asfaltada	16.00	20 minutos
Desvío a Cuñumbuque - Zapatero - San José de Sisa	Terrestre	Asfaltada	37+800	1 hora

Fuente: Evaluación del deslizamiento del Km 38+700 de la carretera Cuñumbuque - Zapatero - San José de Sisa.

Se analiza una zona crítica en la carretera:

38+700

6. Rehabilitación del camino vecinal tramo San Fernando – Trapiche – Arcay – Alpamarca– Distrito de Parcoy, Pataz, La Libertad. (LI-862):

Departamento: La Libertad

Provincia: Pataz

Distrito: Parcoy

Carretera: Ruta LI-862

Tramo: San Fernando – Trapiche – Arcay - Alpamarca

La carretera tiene su punto inicial (Progresiva 0+000) en el Caserío de San Fernando y su punto final en el caserío Alpamarca (Progresiva 10+310). El

proyecto consiste en la rehabilitación del camino vecinal hacia Alpamarca que tiene una longitud de 10.310 Km, pasando por el caserío de El Trapiche y anexo Arcay. Geográficamente el proyecto se encuentra emplazado en el flanco occidental de la Cordillera Oriental de los Andes.



Figura N° 109: Departamento de la Libertad.

Fuente: Rehabilitación del camino vecinal tramo San Fernando – Trapiche – Arcay – Alpamarca– Distrito de Parcoy, Pataz, La Libertad.



Figura N° 110: Provincia y zona de la carretera.

Fuente: Rehabilitación del camino vecinal tramo San Fernando – Trapiche – Arcay – Alpamarca– Distrito de Parcoy, Pataz, La Libertad.

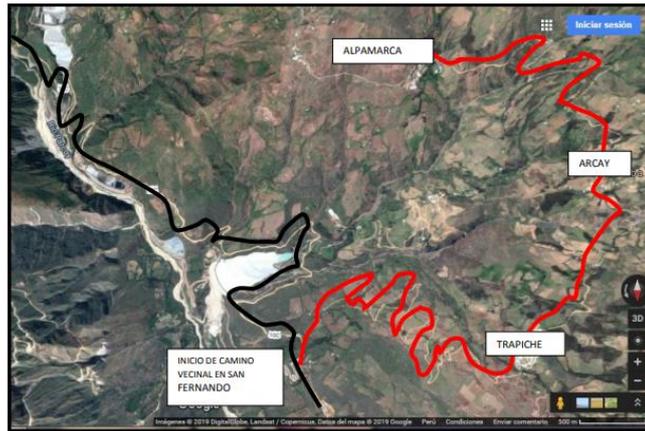


Figura N° 111: Zona donde se ubica la carretera.

Fuente: Rehabilitación del camino vecinal tramo San Fernando – Trapiche – Arcay – Alpamarca– Distrito de Parcoy, Pataz, La Libertad.

El acceso se realiza siguiendo la siguiente ruta desde la ciudad de Trujillo: Trujillo – Otuzco. Carretera asfaltada Otuzco – Huamachuco – Laguna Sausacocha carretera afirmada Sausacocha – Chugay – El Molino – Aricapampa – Corrales – Chagual – San Fernando: Trocha Carrozable.

Se analizan 18 zonas críticas en diferentes puntos de la carretera:

1+039, 1+069, 2+060, 2+080, 2+180, 2+240, 3+240, 3+640, 4+920, 4+940, 5+070, 5+810, 8+370, 9+350, 9+610, 9+740, 9+860, 10+000.

### 5.2.3 Determinación de política de gestión

#### Política general

Los lineamientos generales que se establecen para el uso de esta guía son:

- Minimizar el tiempo de interrupción de la vía a causa de deslizamientos, que puede estar bloqueada por un día como máximo si es mayor o igual a 100 veh/día, y 2 días si es menor.
- Mantener bajo el puntaje de niveles de riesgo de las zonas de deslizamiento.
- Comunicación directa de los municipios locales con la comunidad para concientizarlos de los problemas actuales e informarles de los beneficios del implemento de la guía.
- Capacitar a los usuarios involucrados para uniformizar la evaluación de los factores en el uso de la guía.

Actividades previas ante la ocurrencia de deslizamiento (medidas de prevención)

- Identificar los puntos, sectores o zonas críticas por deslizamientos.
- Participación de la comunidad, de forma que ellos mismos actúen ante deslizamientos.
- Contar con maquinaria cerca de las zonas de deslizamiento con nivel de riesgo alto.
- Tener comunicación constante con la comunidad.
- Estar alerta en las zonas críticas ante posibles deslizamientos.
- Implementar un sistema de monitoreo del clima en temporada de lluvias (pluviómetros, extensómetros, inclinómetros).
- Llevar un registro de lluvias en la zona mediante monitoreo o alcances de entidades como el SENAMHI.
- Construcción de estructuras con materiales locales en los taludes, donde se requiera de acuerdo a características particulares, como: gaviones, muro de llantas, siembra de vegetación, enrocado, clavar estacas vivas para minimizar el impacto, etc.

Actividades posteriores a la ocurrencia de deslizamientos (medidas de prevención)

- La comunidad debe dar aviso a la entidad sobre la ocurrencia del deslizamiento.
- Se deberá realizar capturas fotográficas para tener registro.
- Limpieza de material deslizado, manual o con maquinaria.
- La municipalidad debe compensar a los usuarios afectados que trabajen en la ejecución de las medidas de mitigación.
- Avisos que alerten a la población sobre las amenazas en zonas críticas.

### 5.3 APLICACIÓN DEL MODELO

Se aplicó la metodología del IMT en los casos de los expedientes técnicos en una hoja de cálculo (Ver Tabla N°39 en Anexo) para determinar el nivel de riesgo (alto, medio, bajo), siendo estos los siguientes:

Tabla N° 23: Rangos de puntuaciones IGEcc.

Inestabilidad	Rangos	Color
Baja	$IGE < 250$	Verde
Media	$250 \leq IGE < 400$	Amarillo
Alta	$IGE \geq 400$	Rojo

Fuente: IMT (2012)

#### 5.3.1 Rehabilitación y mejoramiento de camino vecinal Pacobamba-Huironay-Ccerabamba- Abra Cuzqueña. Apurímac (AP-525)

Progresiva 0+550 Km (1)

IMD: 68 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento traslacional

Altura: Se observa una altura no mayor a 5 m. Puntuación de 3 puntos.

Mantenimiento/Limpieza: Menor

Ángulo: el suelo tiene un ángulo aproximado de 50°, por lo tanto, tiene 27 puntos.

Irregularidades: Presenta irregularidad por deslizamiento de material coluvial. 27 puntos.

Tipo de sección transversal: tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27 puntos.

Área de captación de material caído: Para una altura de 5m y ángulo de 50°, y medidas reales del área de captación de 0.20m (Wa) y 0.30m (Da), según el criterio de Whiteside en figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 25%. Puntuación 81.

Vegetación:

El cuerpo del talud se encuentra poblado y con muchas hierbas, puntaje 9.

En la corona hay pocas hierbas y arbustos. Su puntuación es de 27.

Clima:

- Precipitación: Se encuentra en el rango de 500 a 850mm. Puntaje 27.

- Infiltración: La zona se presenta con humedad y mojado. Puntaje 9.

Geología (Suelos residuales)

- Perfil de meteorización: presenta material coluvial. Se puede indicar que el horizonte va de A a B. 27 puntos.
- Escurrimiento superficial: surcos, pequeñas cárcavas con erosión. 81 pts.
- Contacto suelo sobre roca: Presenta pocas rocas fracturadas. 3 puntos.

Puntaje total: 351

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Medio

Solución del expediente: Estabilidad con muro.

Medidas de mitigación: Muro de gaviones, la altura no es más de 5 metros y la ladera tiene una inclinación menor a 60%. Concentración de sólidos al pie del talud: Remoción de masas de deslizamiento.

Progresiva 5+680 Km (2)

IMD: 55 veh/día

Deslizamiento: Caída de rocas

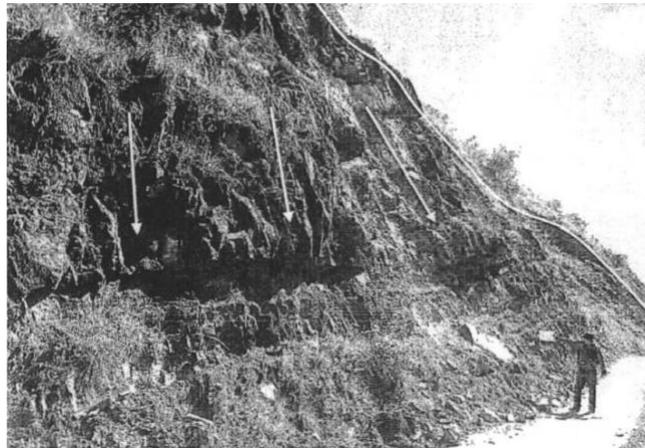


Figura N° 112: Sector crítico km 5+680.

Fuente: Telmo Ingenieros

Altura: Presenta una gran altura no más de 10 metros. 9 puntos.

Mantenimiento/Limpieza: Menor

Ángulo de roca: tiene un ángulo de 75°, y categoría de II a IV según la figura N°102. 9 puntos.

Irregularidades: Tiene alteraciones en la superficie del talud. Presentan rocas moderadamente fracturadas y meteorizadas. 27 puntos.

Tipo de sección transversal: Sección tipo balcón. 27 puntos.

Área de captación de material caído: Para una altura de 10m y ángulo de 75°, y medidas reales del área de captación de 0.50m (Wa) y 0.40m (Da), según el criterio de Whiteside en la figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 45%. Puntuación 27.

Vegetación: El cuerpo del talud es poblado y con muchas hierbas, su puntuación es de 9.

La corona tiene superficie semidesnuda arbórea y con algunos arbustos. 27ptos.

Clima:

- Precipitación: de 500 a 850mm. 27 puntos.

- Infiltración: Goteando. 27 puntos.

Geología (Roca Sedimentaria):

- Socavación al pie del talud: Se aprecia deslizamiento de material coluvial y rocas al pie del talud, de 0.3 a 0.6m aproximadamente. 9 puntos.

- Grado de Interestratificación: Areniscas con limolita, con grano fino color pardo rojizo fracturadas. Mayores a 15cm. 9 puntos.

- Formación de surcos: grandes formaciones de surcos con profundidades mayores a 20 cm y algunos con anchos mayores a 10 cm. Puntaje 81.

Puntaje total: 273 puntos

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Medio

Solución del expediente: Desquinche y Limpieza

Medida de mitigación: Zanjas de coronación con revestimiento de piedra y trinchos en taludes, porque se presenta formaciones de surcos grandes y alta infiltración a pesar de tener vegetación. Desquinche y malla anclada para controlar la caída de rocas.

Progresiva 13+860 Km (3)

IMD: 25 veh/día

Tipo de deslizamiento: Hundimiento



Figura N° 113: Sector crítico km 13+860.

Fuente: Telmo Ingenieros

Altura: Se observa una altura no mayor a 5 m. Está en el rango de 0 a 5m. 3 puntos

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: ángulo de  $72^\circ$ . Según la figura N°102, tiene categoría 2 a 4. 9ptos.

Irregularidades: Menor. 9ptos.

Tipo de sección transversal: Balcón sin fallas. 27ptos.

Área de captación de material caído: Altura de casi 5m, ángulo de  $72^\circ$ , y medidas reales del área de captación de 0.30m ( $W_a$ ) y 0.25m ( $D_a$ ), según el criterio de Whiteside en la figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 27.5%.

Puntuación 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Presenta poblada cobertura vegetal. 3ptos.
- Corona del talud: Presenta poblada cobertura vegetal. 3ptos.

Clima:

- Precipitación: 800mm. Rango: 501 a 850mm. 27 puntos.
- Infiltración: se aprecia filtración de agua hacia el pie del talud y genera hundimiento en la plataforma de la vía. 81ptos.

Geología (Roca Sedimentaria):

- Socavación al pie del talud: 0.6 a 1.5m. 27 puntos.
- Grado de interestratificación: Más de 2 interestratos  $< 15\text{cm}$ . 27 puntos.
- Formación de surcos:  $5 < \text{Profundidad} \leq 10\text{cm}$  o  $2 < \text{Ancho} \leq 5\text{cm}$ . 81 pts.

Puntaje total: 309 puntos.

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Medio

Solución del expediente: Cuneta de coronación y subdrenaje

Medida de mitigación: Zanjas de coronación con revestimiento de piedra, ya que presenta gran precipitación, y alta infiltración a pesar de la vegetación. Muro de roca con pantallas de drenaje.

Progresiva 16+640 Km (4)

IMD: 25 veh/día

Tipo de deslizamiento: Caída de rocas

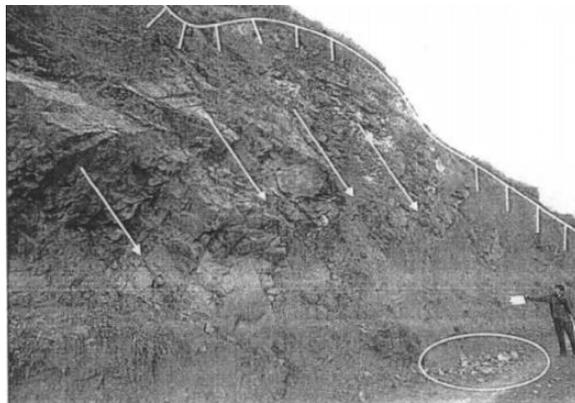


Figura N° 114: Sector crítico km 16+640.

Fuente: Telmo Ingenieros

Altura: Se ve una altura no mayor a 10m. Está en el rango 5m a 10m. 9 puntos.

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos

Ángulo: ángulo de roca  $65^\circ$ , se encuentra en categoría de 2 a 4 según figura N°102.  
9 pts

Irregularidades: Cuerpos de rocas menores de 2m en cara del talud. Moderada. 27 puntos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27 puntos.

Área de captación de material caído: Para una altura de 10m y ángulo de  $65^\circ$ , y medidas reales del área de captación de 0.50m (Wa) y 0.20m (Da), según el criterio de Whiteside en la figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 35%. Puntuación 27.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Desnudo. 81 puntos
- Cuerpo de la corona Poblado/herbáceo/semidesnudo/arbustivo. 27 ptos.

Clima:

- Precipitación: 501 a 850mm. 27 puntos
- Infiltración: Sin humedad. 3 puntos

Geología Roca Sedimentaria:

- Socavación en pie del talud: 0 a 0.3m. 3 puntos
- Grado de Interestratificación: Más de 2 interestratos < 15cm. 27 puntos.
- Formación de surcos.  $5 < \text{Prof.} \leq 10\text{cm}$  o  $2 < \text{Ancho} \leq 5\text{cm}$ . 9 puntos.

Puntaje total: 279

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Bajo

Solución del expediente: Desquinche y limpieza

Medida de mitigación: Cobertura vegetal con estacas vivas porque presenta relieve con irregularidades pronunciadas y muy poco o nada de vegetación. Mallas ancladas.

Progresiva 23+860 Km (5)

IMD: 25 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento traslacional



Figura N° 115: Sector crítico km 23+860.

Fuente: Telmo Ingenieros

Altura: 5m a 10m. 9 puntos

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos

Ángulo: el ángulo de roca de 70°, categoría de 2 a 4 según la figura N°102. 9 puntos.

Irregularidades: Rocas dispersas mayores a 60cm en cara del talud. Moderada. 27 puntos.

Tipo de sección transversal: Balcón con fallas en la superficie de rodadura. 81 puntos.

Área de captación de material caído: altura 8m, ángulo 70°. Área de captación actual 2m y 0m. Criterio de Whiteside en Figura N°104, tiene una efectividad de 100%. 3ptos.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Poblado/ Arbustivo. 3 puntos.

- Corona del talud: Poblado/arbustivo/ semidesnudo/arbóreo. 9 puntos.

Clima:

- Precipitación: de 501 a 850mm. 27 puntos.

- Infiltración: Se observa agua escurriendo. 81 puntos.

Geología (Roca Sedimentaria):

- Socavación en pie del talud: 0.3 a 0.6m. 9 puntos

- Grado de Interestratificación: Más de 2 interestratos > 15cm. 81 puntos.

- Formación de surcos. Prof. > 20cm o Ancho > 10cm. 81 puntos.

Puntaje total: 423

Nivel de riesgo: Alta

Nivel de riesgo en Expediente: Alto

Solución del expediente: Muro de gaviones y cuneta de coronación.

Medida de mitigación: Muro de gaviones, zanjas de coronación y trinchos.

Presenta fallas en la superficie de rodadura, por lo tanto, en suelo entre el talud y el camino se ven afectados. La zanja de coronación reducirá el nivel de infiltración y la formación de surcos pueden controlarse con trinchos en esa zona del talud, ya que son cárcavas.

Progresiva 24+740 Km (6)

IMD: 25 veh/día

Tipo de deslizamiento: Derrumbe, deslizamiento traslacional

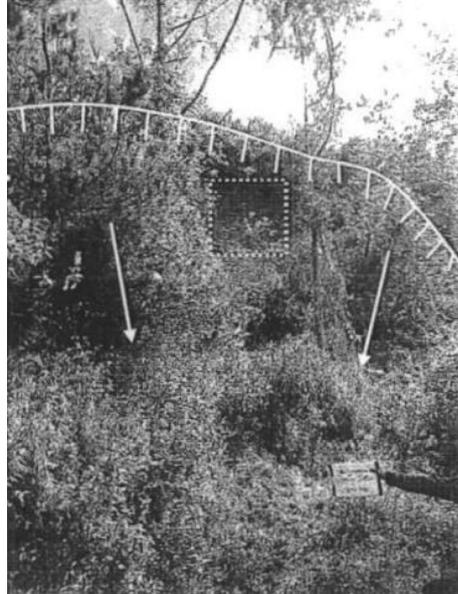


Figura N° 116: Sector crítico km 24+740.

Fuente: Telmo Ingeniero

Altura: La altura está en el rango de 0 a 5m. 3 puntos

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: el ángulo de la roca es  $67^\circ$ , por lo tanto, según la Figura N°102, está en la categoría de 2 a 4. 9 puntos.

Irregularidades: Se observan pocas rocas dispersas en el talud. Menor. 9ptos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón sin fallas en superficie de rodadura. 27ptos.

Área de captación de material caído: Para una altura de casi 5m y ángulo de  $67^\circ$ , y medidas reales del área de captación de 0.5 m (Wa) y 0.3 m (Da), según el criterio de Whiteside en la figura N°104, se tiene una efectividad de 40%.

Puntuación 27.

Vegetación: Cuerpo del talud y de la corona son poblados: 3 puntos

Clima:

- Precipitación: 501 a 850mm. 27 puntos

- Infiltración: Agua escurriendo. 81 puntos

Geología (Roca Sedimentaria):

- Socavación en el pie de cada capa: de 0 a 0.3m. 3 puntos
- Grado de interestratificación: Más de 2 interestratos < 15cm. 27 puntos.
- Formación de surcos. Profundidad  $\leq$  5cm o Ancho  $\leq$  2cm. 3 puntos.

Puntaje total: 225

Nivel de riesgo: Baja

Nivel de riesgo en Expediente: Bajo

Solución del expediente: Muro de gaviones.

Medida de mitigación: El nivel de riesgo de los derrumbes es bajo, y se presenta debido al nivel de infiltración, lo cual se puede controlar mediante zanjas en la corona del talud.

Progresiva 24+800Km (7)

IMD: 25 veh/día

Tipo de deslizamiento: Derrumbe



Figura N° 117: Sector crítico km 24+800.

Fuente: Telmo Ingenieros

Altura: La altura mide entre 5 a 10m. El puntaje es 9.

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo de roca: 75°, y según Figura N°102 está en la categoría de 2 a 4. 9 pts.

Irregularidades: Cúmulos de roca en la cara del talud. Moderada. 27 puntos.

Sección transversal: Tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura, 27ptos.

Área de captación de material caído: altura de más de 5m y ángulo de 75°, y medidas reales del área de captación de 0.5 m (Wa) y 0.2 m (Da), según el criterio de Whiteside (figura N°104), se tiene un porcentaje de efectividad de 35%. 27ptos.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Se observa que una vegetación cercana a Semidesnudo/herbáceo. 27 puntos
- Corona del talud: Poblado/herbáceo/ semidesnudo/arbustivo. 27 puntos

Clima:

- Precipitación: 501 a 850mm. 27 puntos.
- Infiltración: Goteando. 27 puntos.

Geología (Roca Sedimentario):

- Socavación en el pie de cada capa: de 0 a 0.3m. 3 puntos
- Grado de interestratificación: Más de 2 interestratos > 15cm. 81 puntos.
- Formación de surcos. Profundidad  $\leq$  5cm o Ancho  $\leq$  2cm. 3 puntos.

Puntaje total: 297

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Bajo

Solución del expediente: Desquinche y limpieza

Medida de mitigación: Cobertura vegetal con estacas, y desquinche. Tiene alto grado de infiltración y vegetación semipoblado, lo cual se controla con vegetación, y mediante las estacas se retiene los posibles derrumbes.

Progresiva 25+060 Km (8)

IMD: 25 veh/día

Tipo de deslizamiento: Derrumbes y caída de rocas



Figura N° 118: Sector crítico km 25+060.

Fuente: Telmo Ingenieros

Altura: 5 a 10m. 3 puntos

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo roca:  $84^\circ$ , entonces, según Figura N°102, es categoría de 4 a 8. 27 puntos.

Irregularidades: Se observa poca dispersión de rocas en la cara del talud. Menor. 9 puntos.

Tipo de sección transversal: tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27 puntos.

Área de captación de material caído: Para una altura de más de 5m y ángulo de  $84^\circ$ , y medidas reales del área de captación de 0.2 m (Wa) y 0.2 m (Da), según el criterio de Whiteside en la figura N°104, se tiene una efectividad de 13.33%.

Puntuación 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Semidesnudo/ herbáceo. 27 puntos.

- Corona del talud: Poblado/herbáceo/ semidesnudo/arbustivo. 27 puntos.

Clima:

- Precipitación: 501 a 850mm. 27 puntos.

- Infiltración: Se nota humedad. Húmedo/mojado. Puntaje 9.

Geología (Roca sedimentaria):

- Socavación en el pie de cada capa: 0.3 a 0.6m. 9 puntos

- Grado de interestratificación: Más de 2 interestratos < 15cm. 27 puntos.

- Formación de surcos:  $10 < \text{Prof.} \leq 20\text{cm}$  o  $5 < \text{Ancho} \leq 10\text{cm}$ . 27 puntos.

Puntaje total: 309

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Medio

Solución del expediente: Estabilidad con muro.

Medida de mitigación: Desquinche, muro de gaviones de facha escalonada de dos a tres niveles, cobertura vegetal para poblar el cuerpo del talud y rastrillado para controlar la formación de surcos.

Progresiva 25+640 Km (9)

IMD: 25 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento traslacional



Figura N° 119: Sector crítico km 25+640.

Fuente: Telmo Ingenieros

Altura: El talud tiene una altura que mide entre 10 a 20m. Puntaje 27.

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: ángulo de roca  $68^\circ$ , por lo tanto, según Figura N°102, categoría de 2 a 4. 9 puntos.

Irregularidades: Tiene dispersas algunas rocas en el talud. Menor, 9 puntos.

Tipo de sección transversal: tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27 puntos.

Área de captación de material caído: Para una altura de más de 10m y ángulo de  $68^\circ$ , y medidas reales del área de captación de 0.4 m (Wa) y 0.4 m (Da), según el criterio de Whiteside en la figura N°104, se tiene efectividad de 25%. Puntaje 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Se ve poblado y con arbustos. 3 puntos.
- Corona del talud: Poblado/herbáceo/ semidesnudo/arbustivo. 27 puntos.

Clima:

- Precipitación: 501 a 850mm, puntaje 27.
- Infiltración: Goteando. 27 puntos.

Geología (Roca sedimentaria):

- Socavación en el pie de cada capa: Desgaste de 0 a 0.3m. 3 puntos.
- Grado de interestratificación: 1 a 2 interestratos débiles  $> 15\text{cm}$ . 9 puntos.
- Formación de surcos: Profundidad  $\leq 5\text{cm}$  o Ancho  $\leq 2\text{cm}$ . 3 puntos.

Puntaje total: 255

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Bajo

Solución del expediente: Muro de gaviones y cuneta de coronación.

Medida de mitigación: Muro de gaviones de dos niveles con subdren y zanja de coronación, ya que tiene una infiltración alta y presenta una altura de más de 10 metros.

Progresiva 26+450Km (10)

IMD: 25 veh/día

Tipo de deslizamiento: Derrumbe



Figura N° 120: Sector crítico km 26+450.

Fuente: Telmo Ingenieros

Altura: La altura aproximadamente mide entre 0 a 5m

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: ángulo de la roca  $75^\circ$ , y, según la Figura N°102, está en categoría de 2 a 4. 9pts.

Irregularidades: Algunas rocas sueltas. Menor. 9 puntos.

Tipo de sección transversal: tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27 puntos.

Área de captación de material caído: altura de casi 5m y ángulo de  $75^\circ$ , y medidas reales del área de captación de 0.5 m ( $W_a$ ) y 0.4 m ( $D_a$ ), según el criterio de Whiteside en la figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 45%. Puntuación 27.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Vegetación poblada y con arbustos. 3 puntos.

- Corona del talud: Poblado/arbustivo/ semidesnudo/arbóreo. 9 puntos.

Clima:

- Precipitación: 501 a 850mm. 27 puntos.

- Infiltración: Húmedo/mojado. 9 puntos.

Geología (Roca sedimentaria):

- Socavación en el pie de cada capa: Se nota un desgaste entre 0 a 03m de longitud, entonces tiene un puntaje de 3.

- Grado de interestratificación: 1 a 2 interestratos débiles < 15cm. 3 puntos.

- Formación de surcos: Profundidad  $\leq$  5cm o Ancho  $\leq$  2cm. 3ptos.

Puntaje total: 135

Nivel de riesgo: Baja

Nivel de riesgo en Expediente: Bajo

Solución del expediente: Limpieza

Medida de mitigación: Eliminación de material removido y limpieza, presenta una altura de aproximadamente 3 metros y cuenta con un nivel bajo de riesgo.

Progresiva 28+240 Km (11)

IMD: 25 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento traslacional

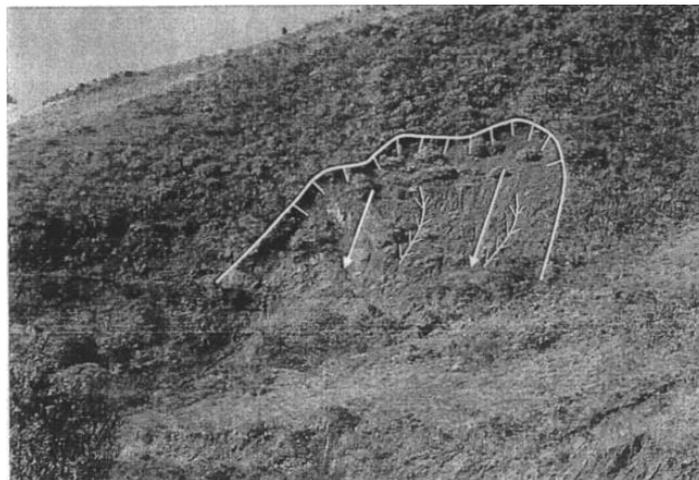


Figura N° 121: Sector crítico km 28+240.

Fuente: Telmo Ingenieros

Altura: La altura tiene una medida entre 5 a 10m. 3 puntos.

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: ángulo de la roca 81°, y, según Figura N°102, está en categoría de 4 a 8. 27 ptos.

Irregularidades: Cúmulos de roca mayor a 60cm. Moderada. 27ptos.

Tipo de sección transversal: tipo balcón con fallas en la superficie de rodadura. 81 puntos.

Área de captación de material caído: altura de más de 5m y ángulo de 81°, y medidas reales del área de captación de 0.5 m (Wa) y 0.35 m (Da), según el criterio de Whiteside en la figura N°104, tiene un porcentaje de efectividad de 28%.

Puntuación 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: superficie semidesnuda de vegetación y hierbas. 27ptos.
- Corona del talud: Poblado/herbáceo/ semidesnudo/arbustivo. 27ptos.

Clima:

- Precipitación: 501 a 850mm. 27 puntos
- Infiltración: Goteando. 27 puntos

Geología (Roca sedimentaria):

- Socavación en el pie de cada capa: el desgaste es de 0 a 0.3m- 3 puntos.
- Grado de interestratificación: 1 a 2 interestratos débiles > 15cm. 9 puntos.
- Formación de surcos: Prof. > 20cm o Ancho > 10cm. 81 puntos.

Puntaje total: 429

Nivel de riesgo: Alta

Nivel de riesgo en Expediente: Alto

Solución del expediente: Muro de gaviones y cuneta de coronación.

Medida de mitigación: Muro de gaviones de 6metros, cobertura vegetal, zanjas de coronación y trinchos, ya que presenta una gran altura, un cuerpo semidesnudo de vegetación, se encuentra goteando por la alta infiltración, y tiene formación de cárcavas.

A continuación, se presenta el gráfico de barras de cada caso según el nivel de riesgo bajo, medio o alto de la carretera evaluada:

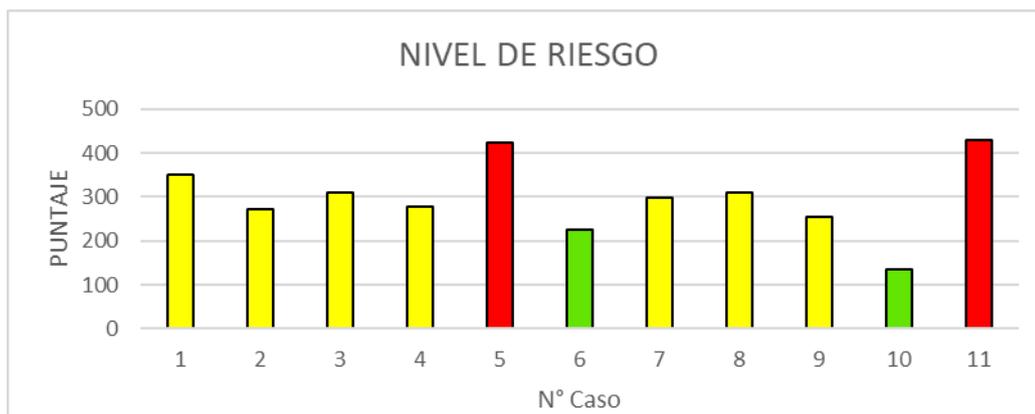


Figura N° 122: Nivel de riesgo en zonas críticas de la carretera.

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.2 Mejoramiento y Rehabilitación del camino vecinal tramo Nogalpampa - Cotarma - Piscaya, Distrito Pichirhua (AP-654 y AP-655).

Tramo Nogalpampa – Cotarma:

Progresiva 01+210 Km (12)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Derrumbe



Figura N° 123: Cunetas obstruidas por deslizamiento en la progresiva 01+210.

Fuente: Mejoramiento y rehabilitación del camino vecinal tramo Nogalpampa-Cotarma-Piscaya-Camilaca.

Altura: Mide entre 10 y 20m. Puntaje 27

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: ángulo de roca 70°, por lo tanto, según Figura N°102, categoría de 2 a 4. 27 ptos.

Irregularidades: Algunas rocas dispersas. Menor. 9 puntos.

Tipo de sección transversal: tipo Balcón con fallas en superficie de rodadura. 81 puntos.

Área de captación de material caído: Para altura entre 10 y 20m, ángulo de 72°, y medidas reales del área de captación de 0.8 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en la figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 45%. Puntuación 27.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Se observa una superficie con hierbas, pero poca vegetación. Semidesnuda/herbáceo. 27 puntos.
- Corona del talud: Desnudo/semidesnudo /herbáceo. 81 puntos.

Clima:

- Precipitación: 501 a 850mm. 27 puntos
- Infiltración: Húmedo/mojado. 9 puntos

Geología (Roca sedimentaria):

- Socavación en el pie de cada capa: 0.3 a 0.6m. 9 puntos
- Grado de interestratificación: 1 a 2 interestratos débiles < 15cm. 3 puntos
- Formación de surcos: 5 < Prof. ≤ 10cm ó 2 < Ancho ≤ 5cm. 9 punto

Puntaje total: 321

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Bajo

Solución del expediente: Limpieza

Medida de mitigación: Se propone zanja de coronación, la limpieza de cunetas, rastrillado y la siembra de vegetación: la obstrucción de cunetas provoca la acumulación del paso del agua generando lodazales en la carretera.

Progresiva 05+600 Km (13)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento traslacional

Altura: Mide entre 10 y 20m. Puntaje 27

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: ángulo de roca 80°. Según la Figura N°102, está en categoría de 4 a 8. 27 puntos.

Irregularidades: Cúmulos de roca poco más de 60cm. Moderada. 27 puntos

Tipo de sección transversal: tipo balcón con fallas en la superficie de rodadura. 81 puntos.

Área de captación de material caído: Para una altura de más de 10m y ángulo de 72°, y medidas reales del área de captación de 0.6 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en la figura N°104, se tiene efectividad de 16%. Puntaje 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Poblado/herbáceo. 9 puntos
- Corona del talud: Poblado/arbustivo/ semidesnudo/arbóreo. 9 puntos

Clima:

- Precipitación: 501 a 850mm. 27 puntos
- Infiltración: Goteando. 27 puntos

Geología (Roca sedimentaria):

- Socavación en el pie de cada capa: 0.6 a 1.5. 27 puntos.
- Grado de interestratificación: 1 a 2 interestratos débiles > 15cm. 9 puntos.
- Formación de surcos:  $10 < \text{Prof.} \leq 20\text{cm}$  o  $5 < \text{Ancho} \leq 10\text{cm}$ . 27 puntos.

Puntaje total: 381

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Bajo

Solución del expediente: Limpieza

Medida de mitigación: Rastrillado en taludes para el control de surcos, y zanjas de coronación, porque se encuentra goteando debido a la infiltración y alta precipitación.

Progresiva 07+775 Km (14)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento traslacional

Altura: Mide entre 10 y 20m. Puntaje 27

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo de roca: 69°. Según la Figura N°102, está en categoría de 2 a 4. 9 puntos.

Irregularidades: Cúmulos de roca de casi 2m. Moderada. 27 puntos

Tipo de sección transversal: tipo balcón con fallas en la superficie de rodadura. 81 puntos.

Área de captación de material caído: Para una altura entre 10 y 20m y ángulo de 69°, y medidas reales del área de captación de 0.5 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 30%. Puntuación 27.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Semidesnudo/herbáceo. 27 puntos
- Corona del talud: Desnudo/semidesnudo/herbáceo. 81 puntos

Clima:

- Precipitación: 501 a 850mm. 27 puntos
- Infiltración: Húmedo/mojado. 9 puntos

Geología (Roca sedimentaria):

- Socavación en el pie de cada capa: 0.3 a 0.6. 9 puntos.
- Grado de interestratificación: 1 a 2 interestratos débiles > 15cm. 9 puntos.
- Formación de surcos:  $5 < \text{Prof.} \leq 10\text{cm}$  o  $2 < \text{Ancho} \leq 5\text{cm}$ . 9 puntos.

Puntaje total: 345

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Bajo

Solución del expediente: Limpieza

Medida de mitigación: Limpieza y remoción, ya que presenta una sección transversal con fallas. Cobertura vegetal, ya que la corona presenta una superficie semidesnuda y herbácea. Desquinche debido a las irregularidades en el talud.

Tramo Inupata - Piscaya

Progresiva 02+210 Km (15)

IMD: 5 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento rotacional



Figura N° 124: Rehabilitación de muro de piedra en la progresiva 02+210.

Fuente: Mejoramiento y rehabilitación del camino vecinal tramo Nogalpama-Cotarma-Piscaya-Camilaca.

Altura: Mide entre 5 y 10m. Puntaje 9

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: ángulo de roca 65°. Según la Figura N° 102, está en la categoría de 2 a 4. 9 puntos.

Irregularidades: cúmulos de roca menores a 60cm en la cara del talud. Menor. 9 pts

Tipo de sección transversal: balcón con fallas en la superficie de rodadura. 81 puntos.

Área de captación de material caído: Para altura de casi 10m, ángulo de 65°, y medidas reales del área de captación de 0.5 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N° 104, se tiene un porcentaje de efectividad de 30%. Puntuación 27.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: se ve poblado y herbáceo. 9 puntos.
- Corona del talud: Poblado/herbáceo/ semidesnudo/arbustivo. 27 puntos

Clima:

- Precipitación: 501 a 850mm. 27 puntos
- Infiltración: Húmedo/mojado. 9 puntos

Geología (Roca sedimentaria):

- Socavación en el pie de cada capa: 0.6 a 1.5. 27 puntos.
- Grado de interestratificación: Más de 2 interestratos < 15cm. 27 puntos.
- Formación de surcos:  $10 < \text{Prof.} \leq 20\text{cm}$  o  $5 < \text{Ancho} \leq 10\text{cm}$ . 27 puntos.

Puntaje total: 291

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Bajo

Solución del expediente: Limpieza y rehabilitación de muro de piedra

Medida de mitigación: Rastrillado de la superficie donde se encuentra formación de surcos, y mayor vegetación en la corona y cuerpo del talud. Muro de roca (enrocado).

Progresiva 03+680 Km (16)

IMD: 5 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento traslacional

Altura: Mide entre 10 y 20m. Puntaje 27

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: ángulo de roca 70°. Según Figura N°102, está en la categoría de 2 a 4. 9 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca de más de 60cm. Moderada. 27 puntos

Tipo de sección transversal: tipo balcón con fallas en la superficie de rodadura. 81 puntos.

Área de captación de material caído: Para una altura de poco más de 10m y ángulo de 70°, y medidas reales del área de captación de 0.4 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en figura N°104, se tiene una efectividad de 25%. Puntuación 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Semidesnudo/ herbáceo. 27 puntos

- Corona del talud: Poblado/arbustivo/ semidesnudo/arbóreo. 9 puntos

Clima:

- Precipitación: 501 a 850mm. 27 puntos

- Infiltración: Húmedo/ mojado. 9 puntos

Geología (Roca sedimentaria):

- Socavación en el pie de cada capa: 0.3 a 0.6. 9 puntos.

- Grado de interestratificación: 1 a 2 interestratos débiles < 15cm. 3 puntos.

- Formación de surcos: 5 < Prof. ≤ 10cm o 2 < Ancho ≤ 5cm. 9 puntos.

Puntaje total: 321

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Bajo

Solución del expediente: Limpieza

Medida de mitigación: Desquinchado, ya que presenta cúmulos de roca en el talud de 60cm a 2m. Limpieza y eliminación de material removido. Tiene vegetación semidesnuda, por lo que se debe regular para controlar las altas precipitaciones.

A continuación, se presenta el gráfico de barras de cada caso según el nivel de riesgo bajo, medio o alto de la carretera evaluada:

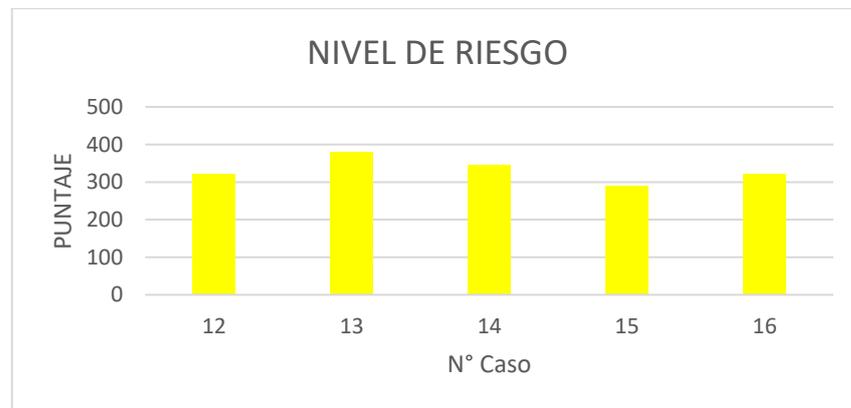


Figura N° 125: Nivel de riesgo en zonas críticas de la carretera.

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.3 Mejoramiento de la carretera Ilabaya – Cambaya, Tacna (TA-563)

Progresiva 6+170 Km (17)

IMD: 150 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento traslacional



Figura N° 126: Progresiva 6+170.

Fuente: Mejoramiento de la carretera Ilambaya- Piscaya-Camilaca

Altura: Una gran altura, mayor a 20 metros. Puntaje 81

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: La sección vista en el expediente, indica que tiene un ángulo de 55°. 81 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca moderada. 27ptos.

Tipo de sección transversal: tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27 puntos.

Área de captación de material caído: Para una altura mayor a 20m y ángulo de 55°, y medidas reales del área de captación de 0.2 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 15%. Puntuación 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Desnudo. 81 puntos.

- Corona del talud: Desnudo/semidesnudo /herbáceo. 81 puntos.

Clima:

- Precipitación: < a 200mm. 3 puntos.

- Infiltración: Sin humedad. 3 puntos.

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte B. 9 puntos.

- Escurrimiento superficial: Formación de torrentes pequeños. 3 puntos

- Contacto suelo sobre roca: Presenta rocas con superficie de fricción onduladas.  
27 puntos

Puntaje total: 429

Nivel de riesgo: Alta

Nivel de riesgo en Expediente: Alto

Solución del expediente: Muro de gaviones

Medida de mitigación: Limpieza y remoción de material caído. Desquinchado.  
Muro de gaviones.

Progresiva 13+790Km (18)

IMD: 150 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento rotacional



Figura N° 127: Progresiva 13+790.

Fuente: Mejoramiento de la carretera Ilambaya- Piscaya-Camilaca

Altura: Mide entre 5 y 10m. Puntaje 9

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: el ángulo de la roca mide entre 40° a 60°. 27 puntos.

Irregularidades: Presenta pocos cúmulos de rocas menores a 60cm. Menor. 9 puntos

Tipo de sección transversal: tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27 puntos.

Área de captación de material caído: Para una altura de casi 10m, ángulo de 55°, y medidas reales del área de captación de 0.3 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 20%. Puntuación 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: desnudo. 81 puntos
- Corona del talud: Desnudo/semidesnudo /herbáceo. 81 puntos.

Clima:

- Precipitación: Menor a 200mm. 3 puntos
- Infiltración: Sin humedad. 3 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte B. 9 puntos.
- Esguerramiento superficial: Formación de torrentes pequeños. 3 puntos

- Contacto suelo sobre roca: Presenta rocas con superficie de fricción onduladas.

27 puntos

Puntaje total: 363

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Medio

Solución del expediente: Muro de gaviones

Medida de mitigación: Muro de gaviones ya que presenta ángulo alto, vegetación en el cuerpo y corona del talud.

Progresiva 17+320 Km (19)

IMD: 150 veh/día

Tipo de deslizamiento: Caída de rocas



Figura N° 128: Zona crítica progresiva 17+320.

Fuente: Mejoramiento de la carretera Ilambaya- Piscaya-Camilaca

Altura: Mide entre 5 y 10m. Puntaje 9

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: el ángulo de la roca mide entre 40° a 60°. 27 puntos.

Irregularidades: Presenta pocos cúmulos de rocas menores a 60cm. Menor. 9 puntos

Tipo de sección transversal: tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27 puntos.

Área de captación de material caído: altura de casi 10m, ángulo de 55°, y medidas reales del área de captación de 0.2 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de

Whiteside en Figura N°104, tiene un porcentaje de efectividad de 15%. Puntaje 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Desnudo. 81 puntos
- Corona del talud: Desnudo/semidesnudo /herbáceo. 81 puntos.

Clima:

- Precipitación: Menor a 200mm. 3 puntos
- Infiltración: Sin humedad. 3 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte A-B. 27 puntos.
- Escurrimiento superficial: Formación de torrentes pequeños. 3 puntos
- Contacto suelo sobre roca: Salientes de roca cúbica con tamaños de 30 a 60cm. 9 puntos

Puntaje total: 363

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Medio

Solución del expediente: Muro terramesh

Medida de mitigación: Muro alcancía como barrera contra caídos de roca, construido con bloques de roca, suelo reforzado, o gaviones. Pueden construirse junto a trincheras para aumentar su capacidad de intercepción.

A continuación, se presenta el gráfico de barras de cada caso según el nivel de riesgo bajo, medio o alto de la carretera evaluada:

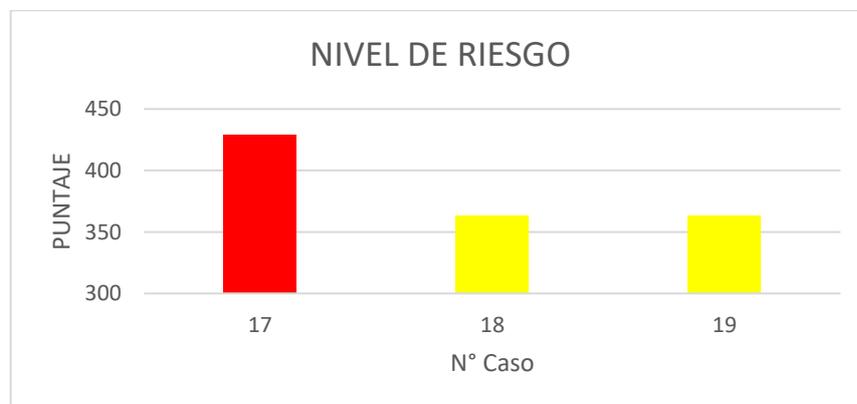


Figura N° 129: Nivel de riesgo en zonas críticas de la carretera.

Fuente: Elaboración Propia

5.3.4 Informe técnico de evaluación por deslizamiento en la carretera Chilete - San Pablo - CC.PP. Kuntur Wasi, Provincia San Pablo – Cajamarca (CA-103)

Progresiva 24+520Km (20)

IMD: 208 veh/día

Tipo de deslizamiento: Caída de rocas



Figura N° 130: Progresiva 24+520.

Fuente: Informe técnico de evaluación por deslizamiento en la carretera Chilete - San Pablo - CC.PP. Kuntur Wasi, Provincia San Pablo - Cajamarca.

Altura talud: Mayor a 20m. Puntaje 81

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: ángulo de 40° y categoría > 8 según la figura N°102. 81 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de rocas mayores a 60cm. Moderada. 27 puntos

Tipo de sección transversal: tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27 puntos.

Área de captación de material caído: Para una altura de casi 10m, ángulo de 40°, y medidas reales del área de captación de 0.1 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene efectividad de 7%. Puntuación 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Semidesnudo/ herbáceo. 27 puntos

- Corona del talud: Poblado/herbáceo/ semidesnudo/arbustivo. 27 puntos.

Clima:

- Precipitación: 501 a 850. 27 puntos

- Infiltración: Goteando. 27 puntos

Geología:

- Socavación en pie del talud: 0.3 a 0.6m. 9 puntos
- Grado de interestratificación: 1 a 2 interestratos débiles > 15cm. 9 puntos
- Formación de surcos:  $5 < \text{Prof.} \leq 10\text{cm}$  o  $2 < \text{Ancho} \leq 5\text{cm}$ . 9 puntos.

Puntaje total: 435

Nivel de riesgo: Alta

Nivel de riesgo en Expediente: Medio

Solución del expediente: Revestimiento de canales, reforestación de laderas

Medida de mitigación: Desquinchado para reducir las caídas de rocas. Cobertura vegetal para controlar las precipitaciones, ya que tanto la corona como el cuerpo del talud presentan una vegetación semidesnuda. Revestimiento de piedras en los canales existentes. Muro de gaviones.

Progresiva 25+000Km (21)

IMD: 208 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento rotacional

Altura talud: entre 10 a 20m. Puntaje 27

Mantenimiento/Limpieza: Moderado. 3 puntos.

Ángulo: ángulo de roca  $85^\circ$  y categoría de 4 a 8 según la figura N°102. 27 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de rocas mayores a 60cm. Moderada. 27 puntos

Tipo de sección transversal: tipo cajón con fallas en la superficie de rodadura. 9 puntos.

Área de captación de material caído: Para una altura de poco más de 10m, ángulo de  $85^\circ$ , y medidas reales del área de captación de 0.5 m (Wa) y 0.5 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 33%. Puntuación 27.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Se observa poblado de vegetación y arbustivo. 3 puntos
- Corona del talud: Poblado/arbustivo/ semidesnudo/arbóreo. 9 puntos.

Clima:

- Precipitación: 501 a 850. 27 puntos
- Infiltración: Agua escurriendo. 81 puntos

Geología:

- Socavación en pie del talud: 0.3 a 0.6m. 9 puntos
- Grado de interestratificación: 1 a 2 interestratos débiles > 15cm. 9 puntos
- Formación de surcos: Prof. > 20cm o Ancho > 10cm. 81 puntos.

Puntaje total: 345

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Medio

Solución del expediente: Cobertura vegetal y zanjas de coronación

Medida de mitigación: Desquinchado por las irregularidades de más de 60cm en la cara del talud. Zanjas de coronación, para controlar infiltración por precipitaciones. Rastrillado por pequeños surcos presentes. Aumentar vegetación del cuerpo del talud.

A continuación, se presenta el gráfico de barras de cada caso según el nivel de riesgo bajo, medio o alto de la carretera evaluada:



Figura N° 131: Nivel de riesgo en zonas críticas de la carretera.

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.5 Evaluación del deslizamiento del Km 38+700 de la carretera Cuñumbuque

- Zapatero - San José de Sisa, San Martín (SM-102)

Progresiva 38+700 Km (22)

IMD: 200 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento rotacional



Figura N° 132: Progresiva 38+700.

Fuente: Evaluación del deslizamiento del Km 38+700 de la carretera Cuñumbuque - San José de Sisa

Altura: Mide entre 10m a 20m. Puntaje 27

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: ángulo de  $37^\circ$  y categoría  $> 8$  según la figura N°102. 81 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca moderada. 27ptos.

Tipo de sección transversal: tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27 puntos.

Área de captación de material caído: Para una altura mayor a 10m y ángulo de  $37^\circ$ , y medidas reales del área de captación de 0.2 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene efectividad de 7%. Puntuación 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Semidesnudo/ herbáceo. 27 puntos.

- Corona del talud: Poblado/arbóreo. 3 puntos.

Clima:

- Precipitación: mayor a 850mm. 81 puntos.

- Infiltración: Goteando. 27 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Socavación en pie del talud:  $>1.5m$ . 81 puntos

- Grado de interestratificación: Más de 2 interestratos  $< 15cm$ . 27 puntos

- Formación de surcos: Prof.  $> 20cm$  o Ancho  $> 10cm$ . 81 puntos.

Puntaje total: 573

Nivel de riesgo: Alta

Nivel de riesgo en Expediente: Alto

Solución del expediente: Limpieza y conformación de banquetas de 4 m de altura de talud H:V=1:0.5.

Medida de mitigación: Trinchos para controlar la formación de surcos, zanjas de coronación para evitar la infiltración y alta precipitación. Muro de gaviones con subdren.

A continuación, se presenta el gráfico de barras de cada caso según el nivel de riesgo bajo, medio o alto de la carretera evaluada:



Figura N° 133: Nivel de riesgo en zonas críticas de la carretera.

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.6 Rehabilitación del camino vecinal tramo San Fernando – Trapiche – Arcay – Alpamarca– Distrito de Parcoy, Pataz, La Libertad. (LI-862)

Progresiva 1+039Km (23)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento traslacional



Figura N° 134: Zona crítica progresiva 1+039.

Fuente: Rehabilitación del camino vecinal Tramo San Fernando - Trapiche - Arcay - Alpamarca, Distrito de Parcoy, Pataz, La Libertad

Altura: Mide entre 10m a 20m. Puntaje 27

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: La sección indica un ángulo de suelo menor a 30°. 3 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca moderada. 27ptos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27 puntos.

Área de captación de material caído: Altura entre 10 y 20m, ángulo de 27°, y medidas reales del área de captación de 0.6 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 35%. Puntuación 27.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Poblado/arbustivo. 3 puntos.

- Corona del talud: Poblado/arbóreo. 3 puntos.

Clima:

- Precipitación: mayor a 850mm. 81 puntos.

- Infiltración: Húmedo/mojado. 9 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte B. 9 puntos

- Esguerramiento superficial: Menos de ½ de corte presenta torrentes y canales. 9 puntos

- Contacto suelo sobre roca: Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud. 3 puntos.

Puntaje total: 231

Nivel de riesgo: Bajo

Nivel de riesgo en Expediente: Media

Solución expediente: Corte talud, eliminación material removido, zanjas de coronación.

Medida de mitigación: Zanjas de coronación para la precipitación, eliminación de material removido.

Progresiva 1+0.69Km (24)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento traslacional

Altura: Mayor a 20m. Puntaje 81

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: La sección indica un ángulo de suelo menor a 30°. 3 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca moderada. 27ptos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27 puntos.

Área de captación de material caído: Altura mayor a 20m, ángulo de 24°, y medidas reales del área de captación de 0.6 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 35%. Puntuación 27.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Poblado/arbustivo. 3 puntos.

- Corona del talud: Poblado/arbóreo. 3 puntos.

Clima:

- Precipitación: mayor a 850mm. 81 puntos.

- Infiltración: Goteando. 27 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte B. 9 puntos

- Esguerramiento superficial: Menos de 1/2 de corte, torrentes y canales. 9ptos.

- Contacto suelo sobre roca: Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud. 3 puntos.

Puntaje total: 303

Nivel de riesgo: Medio

Nivel de riesgo en Expediente: Media

Solución expediente: Corte talud, eliminación material removido, zanjas de coronación.

Medida de mitigación: Zanjas de coronación para la precipitación. Eliminación de material removido.

Progresiva 2+060Km (25)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento traslacional



Figura N° 135: Zona crítica progresiva 2+060.

Fuente: Rehabilitación del camino vecinal Tramo San Fernando - Trapiche - Arcay – Alpamarca.

Altura: Mide entre 0m a 5m. Puntaje 3

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: La sección indica un ángulo de suelo menor a 30°. 3 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca moderada. 27ptos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27 puntos.

Área de captación de material caído: Altura entre 0 y 5m, ángulo de 25°, y medidas reales del área de captación de 1 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 34%. Puntuación 27.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Semidesnudo/herbáceo. 27 puntos.
- Corona del talud: Poblado/arbustivo/semidesnudo/arbóreo. 9 puntos.

Clima:

- Precipitación: mayor a 850mm. 81 puntos.
- Infiltración: Húmedo/mojado. 9 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte A-B. 27 puntos
- Esguerramiento superficial: Formación de torrentes pequeños. 3 puntos

- Contacto suelo sobre roca: Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud. 3 puntos.

Puntaje total: 249

Nivel de riesgo: Bajo

Nivel de riesgo en Expediente: Bajo

Solución del expediente: Limpieza de material removida

Medida de mitigación: Limpieza de material removido.

Progresiva 2+080Km (26)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento traslacional

Altura: Mide entre 0m a 5m. Puntaje 3

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: La sección indica un ángulo de suelo menor a 30°. 3 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca moderada. 27ptos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27 puntos.

Área de captación de material caído: Altura entre 0 y 5m, ángulo de 23°, y medidas reales del área de captación de 1 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 34%. Puntuación 27.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Semidesnudo/herbáceo. 27 puntos.

- Corona del talud: Poblado/arbustivo/semidesnudo/arbóreo. 9 puntos.

Clima:

- Precipitación: mayor a 850mm. 81 puntos.

- Infiltración: Goteando. 27 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte B-C. 3 puntos

- Escurrimiento superficial: Formación de torrentes pequeños. 3 puntos

- Contacto suelo sobre roca: Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud. 3 puntos.

Puntaje total: 243

Nivel de riesgo: Bajo

Nivel de riesgo en Expediente: Bajo

Solución del expediente: Limpieza de cuneta y retiro de bloques inestables

Medida de mitigación: Limpieza de cunetas. Solo ello porque tiene bajo nivel de riesgo.

Progresiva 2+180Km (27)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento traslacional



Figura N° 136: Zona crítica progresiva 2+180.

Fuente: Rehabilitación del camino vecinal Tramo San Fernando - Trapiche - Arcay - Alpamarca, Distrito de Parcoy, Pataz, La Libertad

Altura: Mide entre 0m a 5m. Puntaje 3

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: La sección indica un ángulo de 30° a 40°. 9 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca moderada. 27ptos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27 puntos.

Área de captación de material caído: Altura entre 0 y 5m, ángulo de 37°, y medidas reales del área de captación de 0.1 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en la figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 6%.

Puntuación 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Poblado/arbustivo. 3puntos.
- Corona del talud: Poblado/arbóreo. 3 puntos.

Clima:

- Precipitación: mayor a 850mm. 81 puntos.
- Infiltración: Agua escurriendo. 81 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte B-C. 3 puntos
- Esguerrimiento superficial: Menos de medio corte presenta torrentes y canales. 9 puntos
- Contacto suelo sobre roca: Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud. 3 puntos.

Puntaje total: 333

Nivel de riesgo: Medio

Nivel de riesgo en Expediente: Bajo

Solución del expediente: Eliminar el material removido

Medida de mitigación: Eliminación de material removido. Pantalla de drenaje

Progresiva 2+240Km (28)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento traslacional

Altura: Mide entre 0m a 5m. Puntaje 3

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: La sección indica un ángulo de 30° a 40°. 9 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca moderada. 27ptos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27 puntos.

Área de captación de material caído: Altura entre 0 y 5m, ángulo de 35°, y medidas reales del área de captación de 0.1 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 6%. Puntuación 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Poblado/arbustivo. 3puntos.

- Corona del talud: Poblado/arbóreo. 3 puntos.

Clima:

- Precipitación: mayor a 850mm. 81 puntos.

- Infiltración: Goteando. 27 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte B-C. 3 puntos

- Escurrimiento superficial: Más de medio corte presenta torrentes y canales. 27 puntos

- Contacto suelo sobre roca: Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud. 3 puntos.

Puntaje total: 297

Nivel de riesgo: Medio

Nivel de riesgo en Expediente: Bajo

Solución del expediente: Eliminar el material removido

Medida de mitigación: Eliminación de material removido.

Progresiva 3+240Km (29)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Reptación



Figura N° 137: Zona crítica progresiva 3+240.

Fuente: Rehabilitación del camino vecinal Tramo San Fernando - Trapiche - Arcay – Alpamarca.

Altura: Mide entre 0m a 5m. Puntaje 3

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: La sección indica un ángulo de 30° a 40°. 9 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca moderada. 27ptos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura.  
27 puntos.

Área de captación de material caído: Altura entre 0 y 5m, ángulo de 32°, y medidas reales del área de captación de 0.2 m (Wa) y 0.2 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 20%.  
Puntuación 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Poblado/herbáceo. 9puntos.
- Corona del talud: Poblado/arbustivo/Semidesnudo/arbóreo. 9 puntos.

Clima:

- Precipitación: mayor a 850mm. 81 puntos.
- Infiltración: Goteando. 27 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte B. 9 puntos
- Escurrimiento superficial: Formación de torrentes pequeños. 3 puntos
- Contacto suelo sobre roca: Salientes de roca cúbica con tamaños de 30 a 60cm.  
9 puntos.

Puntaje total: 297

Nivel de riesgo: Medio

Nivel de riesgo en Expediente: Media

Solución del expediente: Eliminar el material removido

Medida de mitigación: Eliminación de material removido.

Progresiva 3+640Km (30)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Reptación

Altura: Mide entre 0m a 5m. Puntaje 3

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: La sección indica un ángulo de 30° a 40°. 9 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca moderada. 27ptos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura.  
27 puntos.

Área de captación de material caído: Altura entre 0 y 5m, ángulo de 35°, y medidas reales del área de captación de 0.5 m (Wa) y 0.2 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 35%.  
Puntuación 27.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Poblado/herbáceo. 3puntos.
- Corona del talud: Poblado/herbáceo/Semidesnudo/arbustivo. 27 puntos.

Clima:

- Precipitación: mayor a 850mm. 81 puntos.
- Infiltración: Húmedo mojado. 9 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte A-B. 27 puntos
- Esguerrimiento superficial: Formación de torrentes pequeños. 3 puntos
- Contacto suelo sobre roca: Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud. 3 puntos.

Puntaje total: 255

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Medio

Solución del expediente: Eliminar el material removido

Medida de mitigación: Cobertura vegetal para el cuerpo y la corona del talud ya que presentan una vegetación desnuda.

Progresiva 4+920Km (31)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Derrumbes

Altura: Mide entre 0m a 5m. Puntaje 3

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: La sección indica un ángulo de 30° a 40°. 9 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca moderada. 27ptos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón con fallas en la superficie de rodadura.  
81ptos.

Área de captación de material caído: Altura entre 0 y 5m, ángulo de 38°, y medidas reales del área de captación de 0.5 m (Wa) y 0.2 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 35%.  
Puntuación 27.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Semidesnudo/herbáceo. 27 puntos.
- Corona del talud: Desnudo/Semidesnudo/ herbáceo. 81 puntos.

Clima:

- Precipitación: mayor a 850mm. 81 puntos.
- Infiltración: Agua escurriendo. 81 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte A-B. 27 puntos
- Escurrimiento superficial: Desprendimientos y concentración de sólidos de arrastre en el pie. 81 puntos
- Contacto suelo sobre roca: Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud. 3 puntos.

Puntaje total: 531

Nivel de riesgo: Alta

Nivel de riesgo en Expediente: Alto

Solución del expediente: Construcción de cunetas

Medida de mitigación: Construcción de zanjas de coronación para controlar las precipitaciones. Cobertura vegetal en el cuerpo del talud, ya que presenta una vegetación desnuda. Pantalla de drenaje.

Progresiva 4+940Km (32)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Derrumbes

Altura: Mide entre 0m a 5m. Puntaje 3

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: La sección indica un ángulo de 30° a 40°. 9 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca moderada. 27ptos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón con fallas en la superficie de rodadura. 81ptos.

Área de captación de material caído: Altura entre 0 y 5m, ángulo de 38°, y medidas reales del área de captación de 0.4 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 25%.  
Puntuación 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Desnudo. 81 puntos.
- Corona del talud: Poblado/ herbáceo/Semidesnudo/ arbustivo. 27 puntos.

Clima:

- Precipitación: mayor a 850mm. 81 puntos.
- Infiltración: Agua escurriendo. 81 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte B. 9 puntos
- Escurrimiento superficial: Desprendimientos y concentración de sólidos de arrastre en el pie. 81 puntos
- Contacto suelo sobre roca: Salientes de roca cúbica con tamaños de 30 a 60cm. 9 puntos.

Puntaje total: 573

Nivel de riesgo: Alta

Nivel de riesgo en Expediente: Alto

Solución del expediente: Badén de concreto y muro de protección

Medida de mitigación: Construcción de zanjas de coronación para controlar las precipitaciones. Cobertura vegetal en el cuerpo del talud, ya que presenta una vegetación desnuda. Pantalla de drenaje.

Progresiva 5+070Km (33)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Erosión de ladera y derrumbes

Altura: Mide entre 0m a 5m. Puntaje 3

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: La sección indica un ángulo mayor a 60°. 9 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca menor a 60 cm. 9ptos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27ptos.

Área de captación de material caído: Altura entre 0 y 5m, ángulo de 67°, y medidas reales del área de captación de 0.1 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 10%.  
Puntuación 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Poblado/herbáceo. 9 puntos.
- Corona del talud: Poblado/ herbáceo/Semidesnudo/ arbustivo. 27 puntos.

Clima:

- Precipitación: mayor a 850mm. 81 puntos.
- Infiltración: Goteando. 27 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte B. 9 puntos
- Escurrimiento superficial: Menos de 1/2 corte presenta torrentes y canales. 9 puntos
- Contacto suelo sobre roca: Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud. 3puntos.

Puntaje total: 351

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Medio

Solución del expediente: Cunetas

Medida de mitigación: Construcción de zanjas de coronación para el control de las altas precipitaciones. Cobertura vegetal, ya que presenta una vegetación desnuda. Y enrocado con subdren.

Progresiva 5+810Km (34)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Reptación

Altura: Mide entre 0m a 5m. Puntaje 3

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: La sección indica un ángulo entre 40 a 60°. 27 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca menor a 60 cm. 9ptos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27ptos.

Área de captación de material caído: Altura entre 0 y 5m, ángulo de 50°, y medidas reales del área de captación de 0.3 m (Wa) y 0.2 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 20%.  
Puntuación 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Poblado/herbáceo. 9 puntos.
- Corona del talud: Poblado/ herbáceo/Semidesnudo/ arbustivo. 27 puntos.

Clima:

- Precipitación: mayor a 850mm. 81 puntos.
- Infiltración: Agua escurriendo. 81 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte B-C. 3 puntos
- Escurrimiento superficial: Formación de torrentes pequeños. 3 puntos
- Contacto suelo sobre roca: Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud. 3puntos.

Puntaje total: 357

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Medio

Solución del expediente: Eliminar material removido

Medida de mitigación: Remoción de material suelto, y vegetación, para controlar las precipitaciones e infiltración.

Progresiva 6+790Km (35)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento rotacional

Altura: Mide entre 0m a 5m. Puntaje 3

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: La sección indica un ángulo entre 30° a 40°. 9 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca de forma moderada. 27ptos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27ptos.

Área de captación de material caído: Altura entre 0 y 5m, ángulo de 35°, y medidas reales del área de captación de 0.3 m (Wa) y 0.3 m (Da), según el criterio de

Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 30%.

Puntuación 27.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Semidesnudo/ herbáceo. 27 puntos.
- Corona del talud: Desnudo/semidesnudo /herbáceo. 81 puntos.

Clima:

- Precipitación: mayor a 850mm. 81 puntos.
- Infiltración: Húmedo/mojado. 9 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte A-B. 27 puntos
- Escurrimiento superficial: Formación de torrentes pequeños. 3 puntos
- Contacto suelo sobre roca: Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud. 3puntos.

Puntaje total: 327

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Medio

Solución del expediente: Corte de talud adecuado y revegetación.

Medida de mitigación: Cobertura vegetal, para controlar infiltración y fuertes precipitaciones, ya que tiene una vegetación desnuda en cuerpo y corona.

Desquinche.

Progresiva 9+350Km (36)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Vuelcos

Altura: Mide entre 0m a 5m. Puntaje 3

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: ángulo de roca 84°. Según figura N°102, categoría mayor a 8. 81 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca menores a 60cm. 9ptos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27ptos.

Área de captación de material caído: Altura entre 0 y 5m, ángulo de 84°, y medidas reales del área de captación de 0.3 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de

Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 20%.

Puntuación 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Semidesnudo/ herbáceo. 27 puntos.
- Corona del talud: Poblado/herbáceo/ semidesnudo/arbustivo. 27 puntos.

Clima:

- Precipitación: mayor a 850mm. 81 puntos.
- Infiltración: Sin humedad, 3 puntos

Geología (Roca Sedimentaria):

- Socavación en el pie de cada capa: desgaste de menos de 30cm. 3 puntos.
- Grado de interestratificación: 1 a 2 interestratos débiles < 15cm. 3 puntos
- Formación de surcos: Profundidad  $\leq$  5cm o Ancho  $\leq$  2cm. 3 puntos

Puntaje total: 351

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Medio

Solución del expediente: Corte de talud adecuado.

Medida de mitigación: Desquinchado para evitar caídas o vuelcos de material suelto y removido. Remoción de material suelto, vegetación.

Progresiva 9+610Km (37)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento rotacional

Altura: Mide entre 5m a 10m. Puntaje 9

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: La sección indica un ángulo entre 30° a 40°. 9 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca menores a 60cm. 9ptos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27ptos.

Área de captación de material caído: Altura entre 0 y 5m, ángulo de 35°, y medidas reales del área de captación de 0.3 m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 20%.

Puntuación 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Semidesnudo/ herbáceo. 27 puntos.
- Corona del talud: Poblado/arbustivo/ semidesnudo/arbóreo. 9 puntos.

Clima:

- Precipitación: mayor a 850mm. 81 puntos.
- Infiltración: Húmedo/mojado. 9 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte B. 9 puntos
- Esguerrimiento superficial: Más de 1/2 corte presenta torrentes y canales. 27ptos
- Contacto suelo sobre roca: Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud. 3puntos.

Puntaje total: 303

Nivel de riesgo: Media

Nivel de riesgo en Expediente: Medio

Solución del expediente: Cortar el talud hasta eliminar el material removido

Medida de mitigación: Limpieza de material removido, y cobertura vegetal en el cuerpo del talud ya que presenta una vegetación semidesnuda.

Progresiva 9+740Km (38)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento rotacional

Altura: Mide entre 5m a 10m. Puntaje 9

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: La sección indica un ángulo entre 40° y 60°. 27 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca menores entre 60cm a 2m. 27ptos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27ptos.

Área de captación de material caído: Altura entre 0 y 5m, ángulo de 47°, y medidas reales del área de captación de 0.1m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 10%.

Puntuación 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Semidesnudo/ herbáceo. 27 puntos.
- Corona del talud: Desnudo/semidesnudo /herbáceo. 81 puntos.

Clima:

- Precipitación: mayor a 850mm. 81 puntos.

- Infiltración: Goteando. 27 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte A-B. 27 puntos

- Escurrimiento superficial: Desprendimientos y concentración de sólidos de arrastre en el pie. 81ptos

- Contacto suelo sobre roca: Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud. 3puntos.

Puntaje total: 501

Nivel de riesgo: Alta

Nivel de riesgo en Expediente: Alto

Solución del expediente: Cortar el talud hasta no más de 40°, revegetación, construcción de cunetas y zanjas de coronación.

Medida de mitigación: Construcción de cunetas y zanjas de coronación, para controlar las aguas superficiales, y cobertura vegetal en el cuerpo y corona del talud, para controlar las precipitaciones.

Progresiva 9+860Km (39)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento rotacional

Altura: Mide entre 0m a 5m. Puntaje 3

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: La sección indica un ángulo menor a 30°. 3 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca menores a 60cm. 9ptos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27ptos.

Área de captación de material caído: Altura entre 0 y 5m, ángulo de 25°, y medidas reales del área de captación de 0.5m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 30%. Puntuación 27.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Poblado/ Arbustivo. 3 puntos.

- Corona del talud: Poblado/arbustivo/ semidesnudo/arbóreo. 81 puntos.

Clima:

- Precipitación: mayor a 850mm. 81 puntos.

- Infiltración: Húmedo/mojado. 9 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte B-C. 3 puntos

- Escurrimiento superficial: Formación de torrentes pequeños. 3 puntos

- Contacto suelo sobre roca: Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud. 3puntos.

Puntaje total: 183

Nivel de riesgo: Baja

Nivel de riesgo en Expediente: Bajo

Solución del expediente: Cortar el talud hasta eliminar el material removido.

Medida de mitigación: Remoción de material suelto en el talud.

Progresiva 10+000Km (40)

IMD: 12 veh/día

Tipo de deslizamiento: Deslizamiento rotacional

Altura: Mide entre 0m a 5m. Puntaje 3

Mantenimiento/Limpieza: Menor. 3 puntos.

Ángulo: La sección indica un ángulo entre 30° a 40°. 9 puntos.

Irregularidades: Presenta cúmulos de roca menores a 60cm. 9ptos.

Tipo de sección transversal: Tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura. 27ptos.

Área de captación de material caído: Altura entre 0 y 5m, ángulo de 35°, y medidas reales del área de captación de 0.3m (Wa) y 0.1 m (Da), según el criterio de Whiteside en Figura N°104, se tiene un porcentaje de efectividad de 20%.

Puntuación 81.

Vegetación:

- Cuerpo del talud: Poblado/ Herbáceo. 9 puntos.

- Corona del talud: Poblado/arbóreo. 3 puntos.

Clima:

- Precipitación: mayor a 850mm. 81 puntos.

- Infiltración: Húmedo/mojado. 9 puntos

Geología (Suelos residuales):

- Meteorización: Horizonte B. 9 puntos

- Escorrimento superficial: Formación de torrentes pequeños. 3 puntos

- Contacto suelo sobre roca: Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud. 3 puntos.

Puntaje total: 249

Nivel de riesgo: Baja

Nivel de riesgo en Expediente: Bajo

Solución del expediente: Cortar el talud hasta eliminar el material removido.

Medida de mitigación: Remoción de material suelto en el talud.

A continuación, se presenta el gráfico de barras de cada caso según el nivel de riesgo bajo, medio o alto de la carretera evaluada:

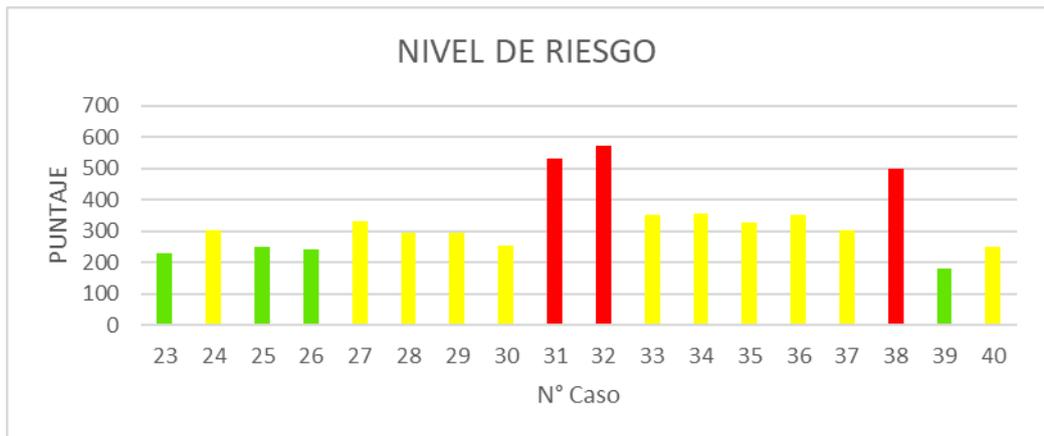


Figura N° 138: Nivel de riesgo en zonas críticas de la carretera.

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.4 Presentación de Resultados

Con los datos de cada zona crítica en carreteras, tomadas de 6 expedientes de carreteras vecinales, se aplicó el modelo en una hoja de cálculo, y se obtuvieron los siguientes resultados:

En la Figura N°142 se observan los niveles de riesgo de todas las zonas críticas estudiadas, siendo de mayor número las de un nivel medio de riesgo.

De 40 casos, se presentan 8 casos con un alto nivel de riesgo, teniendo así un 20% de casos con alto nivel de riesgo de deslizamiento. La probabilidad de que se interrumpa el tráfico es del 20%.

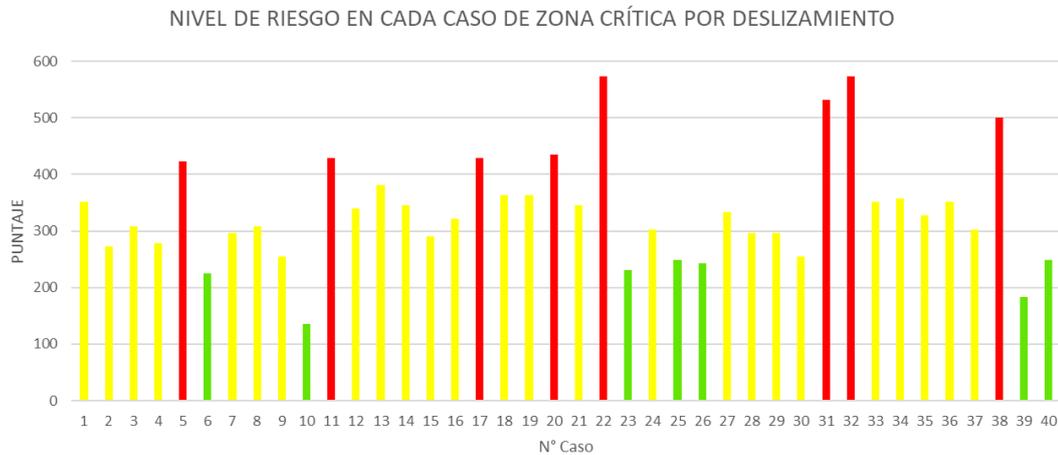


Figura N° 139: Nivel de riesgo en carreteras vecinales estudiadas.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N°143 se observa la relación entre el tipo de deslizamiento y el nivel de riesgo en los casos evaluados de las carreteras vecinales. Entre los casos con mayor nivel de riesgo se encuentran 2 deslizamientos traslacionales, 3 deslizamientos rotacionales, una caída de rocas y 2 derrumbes.

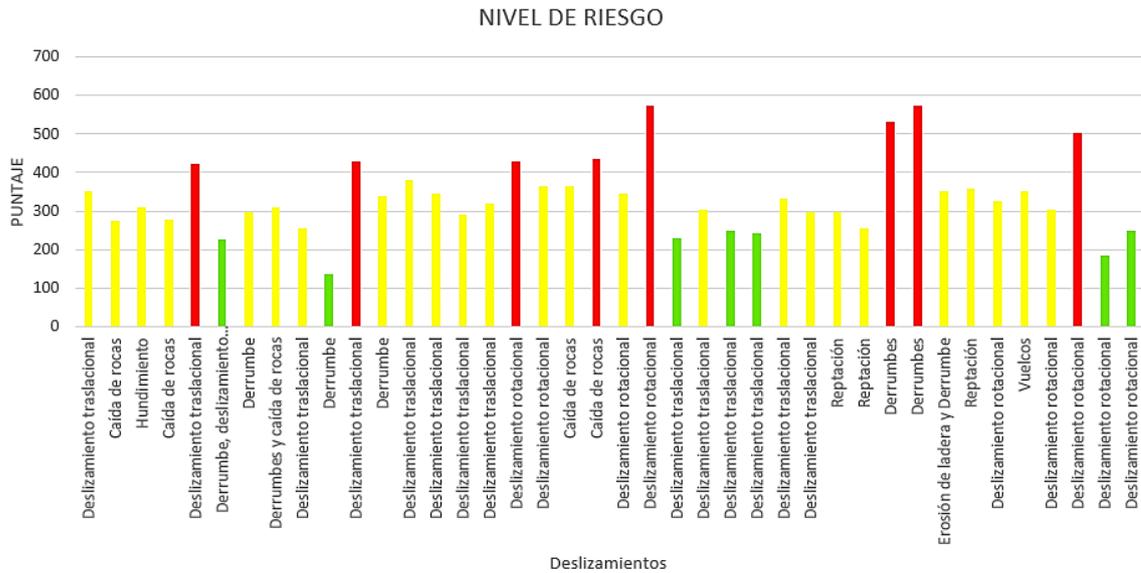


Figura N° 140: Nivel de riesgo en carreteras vecinales por deslizamiento.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N°144 se puede observar que los deslizamientos traslacionales tienen presencia de un 35% en las zonas críticas evaluadas y es la falla que más se presenta. El deslizamiento rotacional es el segundo 23% del total de casos. El deslizamiento que menos se presentó en los casos evaluados es la erosión de ladera, que representa el 2% del total.

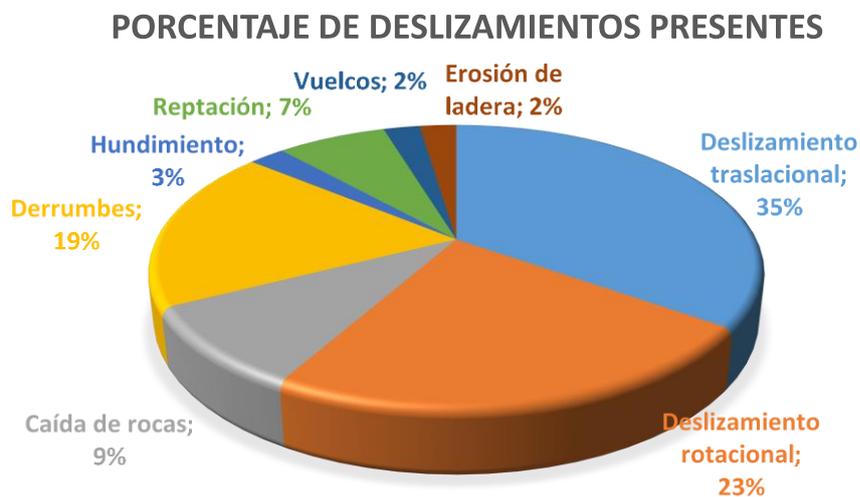


Figura N° 141: Porcentaje de los deslizamientos presentes en los casos evaluados.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°24 se presenta la influencia del factor clima (precipitación e infiltración) en la ocurrencia de deslizamientos para los casos evaluados, siendo 37 los casos donde se presenta precipitación, y 21 casos de infiltración, siendo estos casos con puntajes alto y muy alto (27 y 81).

Tabla N° 24: Influencia del factor clima en Deslizamientos.

EXPEDIENTE	CASO	Con puntaje 27		Con puntaje 81		NIVEL DE RIESGO
		PRECIPITACIÓN	INFILTRACIÓN	PRECIPITACIÓN	INFILTRACIÓN	
Rehabilitación y mejoramiento de camino vecinal Pacobamba-Huironay-Ccerabamba- Abra Cuzqueña-Distrito de Pacobamba- Andhuaylas.Apurímac	1	X				MEDIA
	2	X	X			MEDIA
	3	X			X	MEDIA
	4	X				MEDIA
	5	X			X	ALTA
	6	X			X	BAJA
	7	X	X			MEDIA
	8	X				MEDIA
	9	X	X			MEDIA
	10	X				BAJA
	11	X	X			ALTA
Mejoramiento y Rehabilitación del camino vecinal tramo Nogalpampa - Cotarma - Piscaya, Distrito Pichirhua	12	X				MEDIA
	13	X	X			MEDIA
	14	X				MEDIA
	15	X				MEDIA
	16	X				MEDIA
MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ILABAYA – CAMBAYA - CAMILACA	17					ALTA
	18					MEDIA
	19					MEDIA
Informe técnico de evaluación por deslizamiento en la carretera Chilete - San Pablo - CC.PP. Kuntur Wasí, Provincia San Pablo - Cajamarca.	20	X	X			ALTA
	21	X			X	MEDIA
Evaluación del deslizamiento del Km 38+700 de la carretera Cuñumbuque - Zapatero - San José de Sisa	22		X	X		ALTA
Rehabilitación del camino vecinal Tramo San Fernando - Trapiche - Arcay - Alpamarca, Distrito de Parcoy, Pataz, La Libertad	23			X		BAJA
	24		X	X		MEDIA
	25			X		BAJA
	26		X	X		BAJA
	27			X	X	MEDIA
	28		X	X		MEDIA
	29		X	X		MEDIA
	30			X		MEDIA
	31			X	X	ALTA
	32			X	X	ALTA
	33		X	X		MEDIA
	34			X	X	MEDIA
	35			X		MEDIA
	36			X		MEDIA
	37			X		MEDIA
	38		X	X		ALTA
	39			X		BAJA
	40			X		BAJA
<b>TOTAL</b>		<b>18</b>	<b>13</b>	<b>19</b>	<b>8</b>	

Fuente: Elaboración propia.

De los 40 casos, se observa en la Tabla N°25 que el clima, con un puntaje de 81, presenta lo siguiente: se tiene 19 zonas críticas en las que las precipitaciones son mayores a 850mm, y 8 casos en los que las infiltraciones presentan agua escurriendo en los taludes.

Tabla N° 25: Casos en los que influye el Clima en el nivel de riesgo.

CARRETERA	CASO	CLIMA		NIVEL DE RIESGO
		Precipitación	Infiltración	
1 Rehabilitación y mejoramiento de camino vecinal Pacobamba-Huironay-Ccerabamba- Abra Cuzqueña-Distrito de Pacobamba- Andhuaylas.Apurimac	1	-	-	MEDIA
	2	-	-	MEDIA
	3	-	X	MEDIA
	4	-	-	MEDIA
	5	-	X	ALTA
	6	-	X	BAJA
	7	-	-	MEDIA
	8	-	-	MEDIA
	9	-	-	MEDIA
	10	-	-	BAJA
	11	-	-	ALTA
2 Mejoramiento y Rehabilitación del camino vecinal tramo Nogalpampa - Cotarma - Piscaya, Distrito Pichirhua	12	-	-	MEDIA
	13	-	-	MEDIA
	14	-	-	MEDIA
	15	-	-	MEDIA
	16	-	-	MEDIA
3 MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ILABAYA – CAMBAYA - CAMILACA	17	-	-	ALTA
	18	-	-	MEDIA
	19	-	-	MEDIA
4 Informe técnico de evaluación por deslizamiento en la carretera Chilete - San Pablo - CC.PP. Kuntur Wasi, Provincia San Pablo - Cajamarca.	20	-	-	ALTA
	21	-	X	MEDIA
5 Evaluación del deslizamiento del Km 38+700 de la carretera Cuñumbuque - Zapatero - San José de Sisa	22	X	-	ALTA
6 Rehabilitación del camino vecinal Tramo San Fernando - Trapiche - Arcay - Alpamarca, Distrito de Parcoy, Pataz, La Libertad	23	X	-	BAJA
	24	X	-	MEDIA
	25	X	-	BAJA
	26	X	-	BAJA
	27	X	X	MEDIA
	28	X	-	MEDIA
	29	X	-	MEDIA
	30	X	-	MEDIA
	31	X	X	ALTA
	32	X	X	ALTA
	33	X	-	MEDIA
	34	X	X	MEDIA
	35	X	-	MEDIA
	36	X	-	MEDIA
	37	X	-	MEDIA
	38	X	-	ALTA
	39	X	-	BAJA
	40	X	-	BAJA

Fuente: Elaboración Propia

La tabla N°26, presenta la medida de mitigación ante el factor infiltración. En 21 casos se presenta un nivel alto a muy alto de infiltración, donde se propuso zanjas de coronación como medida de mitigación para controlar el efecto del agua en los taludes.

Tabla N° 26: Casos de factor infiltración mitigado con zanjas de coronación.

CARRETERA		CASO	INFILTRACIÓN		Medida de mitigación	NIVEL DE RIESGO
			Con puntaje 27	Con puntaje 81	Zanjas de coronación	
1	Rehabilitación y mejoramiento de camino vecinal Pacobamba-Huironay-Ccerabamba- Abra Cuzqueña- Distrito de Pacobamba- Andhuaylas.Apurimac	1	-		-	MEDIA
		2	X		X	MEDIA
		3	-	X	X	MEDIA
		4	-		-	MEDIA
		5	-	X	X	ALTA
		6	-	X	X	BAJA
		7	X		-	MEDIA
		8	-		-	MEDIA
		9	X		X	MEDIA
		10	-		-	BAJA
		11	X		X	ALTA
2	Mejoramiento y Rehabilitación del camino vecinal tramo Nogalpampa - Cotarma - Piscaya, Distrito Pichirhua	12	-		X	MEDIA
		13	X		X	MEDIA
		14	-		-	MEDIA
		15	-		-	MEDIA
		16	-		-	MEDIA
3	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ILABAYA – CAMBAYA - CAMILACA	17	-		-	ALTA
		18	-		-	MEDIA
		19	-		-	MEDIA
4	Informe técnico de evaluación por deslizamiento en la carretera Chilete - San Pablo - CC.PP. Kuntur Wasi, Provincia San Pablo - Cajamarca.	20	X		-	ALTA
		21	-	X	X	MEDIA
5	Evaluación del deslizamiento del Km 38+700 de la carretera Cuñumbuque - Zapatero - San José de Sisa	22	X		X	ALTA
6	Rehabilitación del camino vecinal Tramo San Fernando - Trapiche - Arcay - Alpamarca, Distrito de Parcoy, Pataz, La Libertad	23	-		X	BAJA
		24	X		X	MEDIA
		25	-		-	BAJA
		26	X		-	BAJA
		27	-	X	-	MEDIA
		28	X		-	MEDIA
		29	X		-	MEDIA
		30	-		-	MEDIA
		31	-	X	X	ALTA
		32	-	X	X	ALTA
		33	X		X	MEDIA
		34	-	X	-	MEDIA
		35	-		-	MEDIA
		36	-		-	MEDIA
		37	-		-	MEDIA
		38	X		X	ALTA
		39	-		-	BAJA
40	-		-	BAJA		

Fuente: Elaboración propia.

La tabla N°27, presenta la medida de mitigación ante el factor Formación de surcos. En 9 casos se presenta un nivel alto a muy alto de formación de surcos, donde se propuso rastrillado y trinchos como medida de mitigación para controlar las cárcavas y surcos.

Tabla N° 27: Factor Formación de surcos, mitigado con rastrillado y trinchos.

CARRETERA	CASO	Formación de Surcos		Medida de mitigación		NIVEL DE RIESGO
		Con puntaje 27	Con puntaje 81	Rastrillado	Trinchos	
1 Rehabilitación y mejoramiento de camino vecinal Pacobamba-Huironay-Ccerabamba- Abra Cuzqueña- Distrito de Pacobamba- Andhuaylas.Apurimac	1	-	-	-	-	MEDIA
	2	-	X	-	X	MEDIA
	3	-	-	-	-	MEDIA
	4	-	-	-	-	MEDIA
	5	-	X	-	X	ALTA
	6	-	-	-	-	BAJA
	7	-	-	-	-	MEDIA
	8	X	-	X	-	MEDIA
	9	-	-	-	-	MEDIA
	10	-	-	-	-	BAJA
	11	-	X	-	X	ALTA
2 Mejoramiento y Rehabilitación del camino vecinal tramo Nogalpampa - Cotarma - Piscaya, Distrito Pichirhua	12	X	-	X	-	MEDIA
	13	X	-	X	-	MEDIA
	14	-	-	-	-	MEDIA
	15	X	-	X	-	MEDIA
	16	-	-	-	-	MEDIA
3 MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ILABAYA – CAMBAYA - CAMILACA	17	-	-	-	-	ALTA
	18	-	-	-	-	MEDIA
	19	-	-	-	-	MEDIA
4 Informe técnico de evaluación por deslizamiento en la carretera Chilete - San Pablo - CC.PP. Kuntur Wasi, Provincia San Pablo - Cajamarca.	20	-	-	-	-	ALTA
	21	-	X	X	-	MEDIA
5 Evaluación del deslizamiento del Km 38+700 de la carretera Cuñumbuque - Zapatero - San José de Sisa	22	-	X	-	X	ALTA
6 Rehabilitación del camino vecinal Tramo San Fernando - Trapiche - Arcay - Alpamarca, Distrito de Parcoy, Pataz, La Libertad	23	-	-	-	-	BAJA
	24	-	-	-	-	MEDIA
	25	-	-	-	-	BAJA
	26	-	-	-	-	BAJA
	27	-	-	-	-	MEDIA
	28	-	-	-	-	MEDIA
	29	-	-	-	-	MEDIA
	30	-	-	-	-	MEDIA
	31	-	-	-	-	ALTA
	32	-	-	-	-	ALTA
	33	-	-	-	-	MEDIA
	34	-	-	-	-	MEDIA
	35	-	-	-	-	MEDIA
	36	-	-	-	-	MEDIA
	37	-	-	-	-	MEDIA
	38	-	-	-	-	ALTA
	39	-	-	-	-	BAJA
40	-	-	-	-	BAJA	

Fuente: Elaboración propia.

## 5.5 Análisis de resultados

Como podemos observar en las tablas N°28 y 29, las 2 zonas críticas con mayor nivel de riesgo (Alto), ambos con puntaje 573, tienen en común el factor de Precipitación, con un puntaje de 81, lo que genera problemas en la estabilidad de los taludes en estudio. Además, el área de captación tiene una baja efectividad en ambos casos, por tener dimensiones pequeñas, en las cuales se proponen, para contrarrestar el factor Clima (precipitación), zanjas de coronación y reforestar la zona media de deslizamiento.

Evaluación del deslizamiento de la progresiva Km 38+700 (22) de la carretera Cuñumbuque - Zapatero - San José de Sisa:

Tabla N° 28: Resumen de puntaje por factor para nivel de riesgo.

FACTORES		PUNTUACIÓN
Características del talud	Altura	27
	Mantenimiento / limpieza	3
	Angulo	81
	Irregularidades	27
	Tipo de sección	27
	Área de captación	81
	Vegetación cuerpo	27
	Vegetación corona	3
Clima	Precipitación media anual (mm)	81
	Infiltración	27
Geología: Roca sedimentaria	Socavación	81
	Grado de interestratificación	27
	Formación de surcos	81
<b>Puntaje</b>		<b>573</b>

Fuente: Elaboración propia

Rehabilitación del camino vecinal de la progresiva Km 4+940 (32) del Tramo San Fernando - Trapiche - Arcay - Alpamarca, Distrito de Parcoy, Patatz, La Libertad:

Tabla N° 29: Resumen de puntaje por factor para nivel de riesgo.

FACTORES		PUNTUACIÓN
Características del talud	Altura	3
	Mantenimiento / limpieza	3
	Angulo	9
	Irregularidades	27
	Tipo de sección	81
	Área de captación	81
	Vegetación cuerpo	81
	Vegetación corona	27
Clima	Precipitación media anual (mm)	81
	Infiltración	81
Geología: Suelo residual	Meteorización	9
	Escurrimiento superficial	81
	Contacto suelo sobre roca	9
<b>Puntaje</b>		<b>573</b>

Fuente: Elaboración propia

Rehabilitación y mejoramiento de camino vecinal Pacobamba-Huironay-Ccerabamba-Abra Cuzqueña. Apurímac (AP-525)

El sector crítico de la carretera Pacobamba-Huironay-Ccerabamba-Abra Cuzqueña en la progresiva 0+550 Km (1), presenta el caso con un nivel de riesgo promedio del total de nivel de riesgo de casos evaluados, con un ángulo de suelo entre 40° y 60°, irregularidad y tipo de sección irregular, área de captación crítica, vegetación y precipitación regular, altos escurrimientos y 351 puntos. Ver tabla N°30.

Además, la misma carretera presenta también el nivel más bajo de riesgo en la progresiva 26+450 Km (10), con una altura menor a 5m, poca infiltración, una vegetación poblada en la cara del talud y 135 puntos. Ver tabla N°31.

Tabla N° 30: Resumen de puntaje por factor para nivel de riesgo.

FACTORES		PUNTUACIÓN
Características del talud	Altura	3
	Mantenimiento / limpieza	3
	Angulo	27
	Irregularidades	27
	Tipo de sección	27
	Área de captación	81
	Vegetación cuerpo	9
	Vegetación corona	27
Clima	Precipitación media anual (mm)	27
	Infiltración	9
Geología:	Meteorización	27
Suelo residual	Escurrimiento superficial	81
	Contacto suelo sobre roca	3
<b>Puntaje</b>		<b>351</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 31: Resumen de puntaje por factor de caso con menor nivel de riesgo.

FACTORES		PUNTUACIÓN
Características del talud	Altura	3
	Mantenimiento / limpieza	3
	Angulo	9
	Irregularidades	9
	Tipo de sección	27
	Área de captación	27
	Vegetación cuerpo	3
	Vegetación corona	9
Clima	Precipitación media anual (mm)	27
	Infiltración	9
Geología:	Socavación	3
Roca Sedimentaria	Grado de interestratificación	3
	Formación de surcos	3
<b>Puntaje</b>		<b>135</b>

Fuente: Elaboración propia

En las Tablas N°32 y N°33 se presenta la relación de los 40 casos evaluados, con los factores que pueden causar deslizamientos en cada zona crítica del camino vecinal de acuerdo a su puntaje obtenido en el IGEcc: 27 puntos de color amarillo y 81 puntos de color naranja. Se observa los factores que influyen con respecto a los tipos deslizamiento en cada caso evaluado a partir de los expedientes de las carreteras vecinales.

En las Tablas N°32 y N°33, se observa que los casos estudiados se producen mayormente por los siguientes factores:

Características del talud: por la sección transversal tipo balcón presente en el 98% de casos (39), donde 9 casos tienen 81 puntos debido a la presencia de fallas en la superficie de rodadura. Por el área de captación, que tiene muy poca efectividad en el 98% de casos (39), debido a sus pequeñas dimensiones, donde 22 casos tienen 81 puntos. En vegetación en el cuerpo del talud, el 50% de los casos tiene una alta puntuación, donde 5 de ellos presenta 81 puntos con una vegetación desnuda; y en vegetación en corona, el 50% de los casos presenta alta puntuación, donde 8 casos tienen vegetación desnuda.

Categoría Clima: se producen efectos de precipitación mayor a 850mm en 19 casos (48%), y 18 casos entre 500 y 850mm (45%), representando en total el 93% de los casos evaluados.

Geología: el 33% de casos (13) tiene Roca Sedimentaria con un nivel alto o muy alto del puntaje, donde 5 de ellos presenta formación de surcos con profundidad mayor a 20cm o ancho mayor a 10cm (cárcavas), 3 casos presentan grado de interestratificación con más de dos interestratos mayores a 15cm, y un caso de socavación con desgaste mayor a 1.5m en Suelos Residuales donde presenta meteorización, que indican un tipo de suelo suelto y con gravas.

El 30% de casos (12) tiene Suelos residuales con un nivel alto o muy alto del puntaje, donde 7 de ellos presenta meteorización con horizonte A-B, 6 casos presentan escurrimiento superficial, donde 4 de ellos presentan desprendimientos y concentración de sólidos de arrastre en el pie, y dos casos del factor contacto de suelo sobre roca, con rocas con superficie de fricción onduladas.

Tabla N° 32: Factores de Características del talud vs. deslizamientos.

CASO	Tipo de deslizamiento	CARACTERÍSTICAS DEL TALUD								
		Altura	Mantenimiento /limpieza	Ángulo suelo	Ángulo roca	Irregularidades	Sección transversal	Efectividad de Área de captación (%)	Vegetación cuerpo	Vegetación corona
1	Deslizamiento traslacional									
2	Caída de rocas									
3	Hundimiento									
4	Caída de rocas									
5	Deslizamiento traslacional									
6	Derrumbe, deslizamiento traslacional									
7	Derrumbe									
8	Derrumbes y caída de rocas									
9	Deslizamiento traslacional									
10	Derrumbe									
11	Deslizamiento traslacional									
12	Derrumbe									
13	Deslizamiento traslacional									
14	Deslizamiento traslacional									
15	Deslizamiento traslacional									
16	Deslizamiento traslacional									
17	Deslizamiento rotacional									
18	Deslizamiento rotacional									
19	Caída de Rocas									
20	Caída de rocas									
21	Deslizamiento rotacional									
22	Deslizamiento rotacional									
23	Deslizamiento traslacional									
24	Deslizamiento traslacional									
25	Deslizamiento traslacional									
26	Deslizamiento traslacional									
27	Deslizamiento traslacional									
28	Deslizamiento traslacional									
29	Reptación									
30	Reptación									
31	Derrumbes									
32	Derrumbes									
33	Erosión de ladera y Derrumbe									
34	Reptación									
35	Deslizamiento rotacional									
36	Vuelcos									
37	Deslizamiento rotacional									
38	Deslizamiento rotacional									
39	Deslizamiento rotacional									
40	Deslizamiento rotacional									

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 33: Factores de Clima y Geología vs. deslizamiento.

CASO	Tipo de deslizamiento	CLIMA		GEOLOGÍA: ROCA SEDIMENTARIA			GEOLOGÍA: SUELOS RESIDUALES		
		Precipitación	Infiltración	Socavación en el pie de cada capa	Grado de interestratificación	Formación de surcos / canales	Meteorización	Escorrimento superficial	Contacto suelo sobre roca
1	Deslizamiento traslacional								
2	Caída de rocas								
3	Hundimiento								
4	Caída de rocas								
5	Deslizamiento traslacional								
6	Derrumbe, deslizamiento traslacional								
7	Derrumbe								
8	Derrumbes y caída de rocas								
9	Deslizamiento traslacional								
10	Derrumbe								
11	Deslizamiento traslacional								
12	Derrumbe								
13	Deslizamiento traslacional								
14	Deslizamiento traslacional								
15	Deslizamiento traslacional								
16	Deslizamiento traslacional								
17	Deslizamiento rotacional								
18	Deslizamiento rotacional								
19	Caída de Rocas								
20	Caída de rocas								
21	Deslizamiento rotacional								
22	Deslizamiento rotacional								
23	Deslizamiento traslacional								
24	Deslizamiento traslacional								
25	Deslizamiento traslacional								
26	Deslizamiento traslacional								
27	Deslizamiento traslacional								
28	Deslizamiento traslacional								
29	Reptación								
30	Reptación								
31	Derrumbes								
32	Derrumbes								
33	Erosión de ladera y Derrumbe								
34	Reptación								
35	Deslizamiento rotacional								
36	Vuelcos								
37	Deslizamiento rotacional								
38	Deslizamiento rotacional								
39	Deslizamiento rotacional								
40	Deslizamiento rotacional								

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan 3 tablas relacionadas a los factores que causan los deslizamientos traslacionales, rotacionales, y los deslizamientos que tienen un Nivel de Riesgo Alto. Los cuadros indican su puntaje obtenido en el IGEcc, teniendo en cuenta que las celdas que tienen color amarillo son factores con 27 puntos, y color naranja los factores con 81 puntos.

En la Tabla N°34 se observa que los 15 deslizamientos traslacionales presentes en los casos estudiados, se producen por los siguientes factores:

En características del talud, por irregularidades en la cara del talud con cúmulos de rocas entre 60cm a 2m de diámetro, sección transversal tipo balcón (el 57% de ellos con fallas en la superficie de rodadura), y por el área de captación, que no es efectivo por sus pequeñas dimensiones.

En la categoría Clima, se producen por efectos del agua: precipitación en la temporada de lluvias.

Finalmente, en Geología, se producen por formación de surcos cuando son rocas sedimentarias en 4 casos y escurrimiento superficial en dos ocasiones.

Tabla N° 34: Deslizamientos traslacionales en los casos evaluados y sus factores.

CASO	Tipo de deslizamiento	CARACTERÍSTICAS DEL TALUD								CLIMA		GEOLOGÍA: ROCA SEDIMENTARIA			GEOLOGÍA: SUELOS RESIDUALES			NIVEL DE RIESGO	
		Altura	Mantenimiento /limpieza	Ángulo suelo	Ángulo roca	Irregularidades	Sección transversal	Efectividad de Área de captación (%)	Vegetación cuerpo	Vegetación corona	Precipitación	Infiltración	Socavación en el pie de cada capa	Grado de interestratificación	Formación de surcos / canales	Meteorización	Escurrimiento superficial		Contacto suelo sobre roca
1	Deslizamiento traslacional																		MEDIA
5	Deslizamiento traslacional																		ALTA
6	Derrumbe, deslizamiento traslacional																		BAJA
9	Deslizamiento traslacional																		MEDIA
11	Deslizamiento traslacional																		ALTA
13	Deslizamiento traslacional																		MEDIA
14	Deslizamiento traslacional																		MEDIA
15	Deslizamiento traslacional																		MEDIA
16	Deslizamiento traslacional																		MEDIA
23	Deslizamiento traslacional																		BAJA
24	Deslizamiento traslacional																		MEDIA
25	Deslizamiento traslacional																		BAJA
26	Deslizamiento traslacional																		BAJA
27	Deslizamiento traslacional																		MEDIA
28	Deslizamiento traslacional																		MEDIA

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N°35 se observa que los 9 deslizamientos rotacionales presentes en los casos estudiados, se producen mayormente por los siguientes factores:

Características del talud, por la sección transversal tipo balcón sin fallas en la superficie de rodadura, por el área de captación, que no es efectivo por sus pequeñas dimensiones donde 6 casos tienen 81 puntos, en vegetación en el cuerpo del talud, que presenta 2 casos de vegetación desnuda y 4 semidesnuda, y en vegetación en corona donde tiene 4 casos de vegetación desnuda.

Categoría Clima, donde se producen efectos de precipitación mayor a 850mm en 6 casos, y un caso entre 500 y 850mm.

Geología, donde 2 casos de Roca Sedimentaria presentan formación de surcos con profundidad mayor a 20cm y ancho mayor a 10cm (cárcavas); y en Suelos Residuales se presenta meteorización con horizonte A-B, que indican un tipo de suelo suelto y con gravas.

Tabla N° 35: Deslizamientos rotacionales en los casos evaluados y sus factores.

CASO	Tipo de deslizamiento	CARACTERÍSTICAS DEL TALUD								CLIMA		GEOLOGÍA: ROCA SEDIMENTARIA			GEOLOGÍA: SUELOS RESIDUALES			NIVEL DE RIESGO	
		Altura	Mantenimiento /limpieza	Ángulo suelo	Ángulo roca	Irregularidades	Sección transversal	Efectividad de Área de captación (%)	Vegetación cuerpo	Vegetación corona	Precipitación	Infiltración	Socavación en el pie de cada cara	Grado de interestratificación	Formación de surcos / canales	Meteorización	Escorrentamiento superficial		Contacto suelo sobre roca
17	Deslizamiento rotacional																		ALTA
18	Deslizamiento rotacional																		MEDIA
21	Deslizamiento rotacional																		MEDIA
22	Deslizamiento rotacional																		ALTA
35	Deslizamiento rotacional																		MEDIA
37	Deslizamiento rotacional																		MEDIA
38	Deslizamiento rotacional																		ALTA
39	Deslizamiento rotacional																		BAJA
40	Deslizamiento rotacional																		BAJA

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N°36 se observa los 8 casos con Alto Nivel de Riesgo presentes en los casos estudiados, y el 38% son deslizamientos rotacionales, el 25% deslizamientos traslacionales, otro 25% de derrumbes y 12% de caída de rocas. Lo que presentan en común los 8 casos de nivel de alto riesgo es que se ven afectadas en cuanto a:

Características de talud, donde presentan irregularidades con cúmulos de roca entre 60cm y 2m de diámetro, el 100% de casos son sección transversal tipo balcón y 4 casos presentan fallas en la superficie de rodadura, la casi nula efectividad del área de captación en el 75% de los 8 casos, y la vegetación en cuerpo y corona del talud, donde el 25% presenta puntaje de 81; es decir, una vegetación desnuda.

Categoría Clima, ya que en temporada de lluvias presentan una precipitación mayor a 850mm en el 50% de los casos y 3 casos van de 500mm a 850mm, con infiltración en casi todos los casos donde el 38% presenta agua escurriendo, y el 50%, goteando.

Categoría Geología, donde el 50% son Rocas Sedimentarias y en 3 casos tienen formación de surcos con profundidad mayor a 20cm y ancho mayor a 10cm (cárcavas). Y en Suelos Residuales, donde el 38% presenta escurrimiento superficial, de modo que tiene desprendimientos y concentración de sólidos en el pie del talud.

Tabla N° 36: Casos con Nivel de Riesgo Alto y sus factores.

CASO	Tipo de deslizamiento	CARACTERÍSTICAS DEL TALUD									CLIMA		GEOLOGÍA: ROCA SEDIMENTARIA			GEOLOGÍA: SUELOS RESIDUALES			NIVEL DE RIESGO
		Altura	Mantenimiento /limpieza	Ángulo suelo	Ángulo roca	Irregularidades	Sección transversal	Efectividad de Área de captación (%)	Vegetación cuerpo	Vegetación corona	Precipitación	Infiltración	Socavación en el pie de cada capa	Grado de interestratificación	Formación de surcos / canales	Meteorización	Escurrimiento superficial	Contacto suelo sobre roca	
5	Deslizamiento traslacional																		ALTA
11	Deslizamiento traslacional																		ALTA
17	Deslizamiento rotacional																		ALTA
20	Caída de rocas																		ALTA
22	Deslizamiento rotacional																		ALTA
31	Derrumbes																		ALTA
32	Derrumbes																		ALTA
38	Deslizamiento rotacional																		ALTA

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°37 se observa las soluciones que tiene cada factor de la categoría Características del talud, donde presentan una mayor frecuencia en cuanto a Remoción de material suelto y desquinces. En cuanto a ángulos y altura se usa estabilización con estructuras de contención como contrapesos al pie del talud, enrocados, muros con ladrillos, llantas y gaviones.

Tabla N° 37: Factores de Características del talud y sus soluciones.

SOLUCIONES/FACTORES		CARACTERÍSTICAS DEL TALUD								
		Altura	Mantenimiento	Ángulo o suelo	Ángulo roca	Irregularidades	Sección	Área de captación	Vegetación cuerpo	Vegetación corona
Elusión de la amenaza	Remoción total de la masa de los deslizamientos o los materiales inestables	X	X	X	X	X	X	X		
	Desquinche	X	X	X	X	X		X		
Control y protección de deslizamientos	Trincheras									
	Barreras de retención	Mallas con postes flexibles	X		X				X	
		Mallas ancladas	X			X	X			
		Muro alcancía	X				X		X	
	Trinchos									
	Rastrillado									
Diques de retención										
Estabilización	Recubrimiento de la superficie	Sellado de grietas								
		Vegetación					X		X	X
	Control de agua superficial y subterránea	Zanjas de coronación								
		Pantallas de drenaje								
	Estructuras de contención	Contrapesos al pie del deslizamiento	X		X					
		Enrocado	X		X	X				
		Muros de ladrillo o mampostería	X		X	X				
Muro de gaviones		X		X	X					
	Muro de contención con llantas	X		X	X					

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°38 se observa las soluciones que tiene cada factor de las categorías Clima y Geología. En clima, se presenta una mayor frecuencia de soluciones con vegetación para controlar las fuertes precipitaciones, diques con rocas y zanjas de coronación, algo similar a la infiltración, donde, además del control de agua superficial y subterránea, se aplican enrocados y muros de gaviones, ladrillo o llantas.

En Rocas Sedimentarias, se tiene mayores soluciones para socavaciones, teniendo en cuenta el recubrimiento de la superficie, control de aguas y estructuras de contención, dependiendo del grado de desgaste, algo similar con los escurrimientos superficiales en los Suelos residuales.

Tabla N° 38: Factores de Clima y Geología con sus soluciones.

SOLUCIONES/FACTORES		CLIMA		ROCAS SEDIMENTARIAS			SUELOS RESIDUALES			
		Precipitación	Infiltración	Socavación al pie del talud	Grado de interstratificación	Formación de surcos	Meteorización	Escurrimiento superficial	Contacto suelo sobre roca	
Elusión de la amenaza	Remoción total de la masa de los deslizamientos o los materiales inestables			X				X		
	Desquinche				X					
Control y protección de deslizamientos	Trincheras									
	Barreras de retención	Mallas con postes flexibles						X		
		Mallas ancladas								
		Muro alcancía								
	Trinchos					X		X		
	Rastrillado					X		X		
Diques de retención	X									
Estabilización	Recubrimiento de la superficie	Sellado de grietas			X	X				
		Vegetación	X	X	X	X		X	X	
	Control de agua superficial y subterránea	Zanjas de coronación	X	X					X	
		Pantallas de drenaje		X	X		X		X	
	Estructuras de contención	Contrapesos al pie del deslizamiento			X			X		X
		Enrocado		X	X			X	X	X
		Muros de ladrillo o mampostería		X	X	X		X	X	X
		Muro de gaviones		X	X	X		X	X	X
Muro de contención con llantas		X	X	X		X	X	X		

Fuente: Elaboración propia.

## 5.6 Contrastación de Hipótesis

Hipótesis específicas

Hipótesis alterna 1:

El factor más influyente que interviene en deslizamientos en carreteras vecinales es el clima, siendo más crítico en los meses de octubre a mayo, que es la temporada de lluvias.

Hipótesis nula 1 (H<sub>0</sub>):

El factor más influyente que interviene en deslizamientos en carreteras vecinales no es el clima, siendo más crítico en los meses de octubre a mayo, que es la temporada de lluvias.

En el capítulo V, en el ítem 5.4, se formuló la Tabla N°24 extrayéndose información sobre la influencia del factor clima (precipitación e infiltración) en deslizamientos de los 40 casos evaluados, siendo el 93% los casos donde se presenta precipitación (37), y 53% casos de infiltración (21), con puntajes 27 (para precipitaciones de 500 a 850 mm, e infiltración de agua goteando) y 81 (para precipitaciones mayores a 850mm e infiltración con agua escurriendo).

De todos los casos, se puede determinar que en 21 de ellos coinciden los factores de precipitación e infiltración con puntajes de alto y muy alto, influyendo en más del 50% de los casos.

En la tesis de Iberico (2015), se busca determinar los tipos de fallas y causas posibles de los problemas geotécnicos de los taludes en una carretera, y propone alternativas de solución, concluyendo que el factor hidrológico influye mucho en la estabilidad del talud, y el agua actúa como el principal agente erosivo. En su estudio determinó que bajo condiciones climáticas donde la presencia de aguas es mayor (temporada de lluvias), el factor de seguridad tiene un valor por debajo del mínimo establecido en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

Por lo antes mencionado, se valida la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

Hipótesis alterna 2:

Los niveles de riesgo más altos de deslizamientos se deben al factor precipitación, con lluvias mayores a 850mm.

Hipótesis nula 2 (H<sub>0</sub>):

Los niveles de riesgo más altos de deslizamientos no se deben al factor precipitación, con lluvias mayores a 850mm.

En el capítulo V, en el ítem 5.4, se formuló la Tabla N°25, donde podemos observar que, de los 40 casos evaluados, el factor clima se presenta, con precipitaciones mayores a 850mm, en 48% de las zonas críticas.

De los 19 casos donde interviene el factor precipitación, el 21% son nivel de riesgo alto.

De los 19 casos donde interviene el factor precipitación, el 53% son nivel de riesgo medio.

De los 8 casos que presentan un nivel de riesgo alto, el factor precipitación interviene en el 50% de ellos.

De los 25 casos que presentan un nivel de riesgo medio, el factor precipitación interviene en el 40% de ellos.

Barrantes (2012) en su tesis concluye que los tramos estudiados que presentaron mayor riesgo y donde han ocurrido la mayor cantidad de eventos adversos, han sido producto de las lluvias en un 64%.

Por lo antes mencionado, se valida la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

Hipótesis alterna 3:

Las medidas de mitigación más recomendables para la infiltración de aguas en los taludes, son zanjas de coronación, y para la formación de surcos es el rastrillado en dimensiones menores a 30cm de altura.

Hipótesis Nula 3 (H<sub>0</sub>):

Las medidas de mitigación más recomendables para la infiltración de aguas en los taludes, no son zanjas de coronación, y para la formación de surcos no es el rastrillado en dimensiones menores a 30cm de altura.

En el capítulo V, en el ítem 5.4, se formularon las Tablas N°26 y N°27, donde podemos observar que, de los 40 casos evaluados:

En 21 casos se presenta un nivel alto o muy alto de infiltración, que representa el 53% del total de casos evaluados, donde en 14 de estos se propuso zanjas de coronación como medida de mitigación para controlar el efecto del agua en los taludes.

En 9 casos se presenta un nivel alto o muy alto de formación de surcos que representa el 23% del total de casos evaluados, donde en 5 de estos se propuso rastrillado, y en 4 se propuso trinchos como medida de mitigación para controlar las cárcavas y surcos.

Según Norabuena (2015), los métodos de mayor importancia para la estabilización de taludes son la captación de aguas superficiales con canales (zanjas) de coronación y cunetas en el cuerpo del talud, y según el Índice General de Estabilidad de Cortes Carreteros del Instituto Mexicano de Transporte (2012) se puede aplicar un simple rastrillado para eliminar los surcos con profundidad menores a 30cm.

Por lo antes mencionado, se valida la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

## CONCLUSIONES

1. La propuesta de la guía aplicando la metodología de IGEcc del Instituto Mexicano de Transporte, permite asegurar la transitabilidad de carreteras vecinales, minimizando la paralización del tránsito en un 80%.
2. Identificar los factores que intervienen en deslizamientos nos permite determinar el nivel de riesgo, ya sea alto, medio o bajo, de las zonas críticas en las carreteras vecinales.
3. El análisis de los niveles de riesgo, mediante la metodología de IGEcc del IMT, nos permite identificar las zonas más críticas, priorizar su intervención y definir las medidas de mitigación ante deslizamientos.
4. La propuesta de medidas de mitigación para deslizamientos en carreteras vecinales nos permite complementar la guía de intervención propuesta.
5. Los deslizamientos más comunes son: deslizamiento rotacional y traslacional, derrumbes y caída de rocas.
6. Todos los deslizamientos que presentan alta precipitación, gran altura, y/o ausencia de vegetación, tienen un nivel de riesgo alto y deben tener prioridad de mitigación.
7. Las medidas de mitigación que más se aplican para los factores en la categoría de Características del talud son la remoción de material suelto, el desquinche y vegetación.
8. Las medidas de mitigación que más se aplican para los factores en la categoría Clima son las de recubrimiento superficial del talud como vegetación y control de aguas superficiales y subterráneas, además de estructuras de contención con enrocados, muros de llantas, de ladrillos y muros de gaviones.
9. Las medidas de mitigación que más se aplican para los factores de la categoría Geología son vegetación, pantallas de drenaje, y muros de estabilización (llantas, ladrillos, gaviones).
10. La medida de mitigación que más se aplica en general para todos los factores del IGEcc son la vegetación para controlar las fuertes precipitaciones, y los muros de estabilidad como muros de gaviones y de llantas, además de la limpieza y remoción de material suelto.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda contar con el apoyo de un ingeniero geólogo en la evaluación de factores en la categoría Geología del IGEcc para determinar un puntaje adecuado.
2. Se debe dar prioridad a los casos que presenten un alto nivel de riesgo en el IGEcc, y a aquellos tramos que cuenten con un IMD mayor a 100 veh/día.
3. Se requiere conocimiento previo de cada medida de mitigación y su aplicación, ya que cada caso es único y puede manejarse de diversas maneras.
4. Se recomienda estudiar mayor número de expedientes técnicos de carreteras vecinales con la metodología del IGEcc, para validar la investigación.
5. Se recomienda seguir aplicando la metodología en campo en otras tesis y llevar a la práctica la guía de intervención para mejorar y validar, ya que, por motivos de la pandemia, no se ha hecho ninguna visita presencial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre H. (2007). *Estudio Geotécnico y solución a nivel de Ingeniería básica en el Km. 484 oleoducto nor-peruano* [Tesis para título pregrado, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional PIRHUA.
- Alberti Arroyo J., Canales Bernal R. & Sandoval B. (2006). Técnicas de Mitigación para el control de deslizamientos en taludes y su aplicación a Un caso específico [Tesis para el título de pregrado, Universidad de El Salvador]. Repositorio Institucional Universidad de El Salvador.
- Alvarado A (2014). *Estabilidad de taludes en la Costa verde Tramo Av. Sta Rosa-Jr. Virú.* (Tesis pregrado). Universidad San Martín de Porres, Lima.
- Angelone S. & Garibay M. (2003). Geología y Geotecnia: Estabilidad de Taludes. Universidad Nacional de Rosario.
- Auvinet Guihard G., Méndez Sánchez E., Juárez Camarena M., Rodríguez Rebolledo J. (). Riesgos geotécnicos para la construcción de vivienda en el valle de México. UNAM
- Barrantes, D. (2012). Evaluación y Manejo del Riesgo Geotécnico en la Carretera San José – Caldera [Tesis para Licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Repositorio Institucional UCR.
- Batista, C. M., & Szlafsztein, C. F. (2018). Experiencias Metodológicas para la Gestión del Riesgo. Corporación Universitaria de la Costa, CUC.
- Berlandria, N., Fernández, A., & Bongiorno, F. (2017). *Análisis del Riesgo en la carretera Tovar-Zea, Sector la Roca, Estado Mérida.* Obtenido de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01726537>
- Bonilla R. (2018). Estudio Geológico y Geotécnico en el mejoramiento de la carretera DV. Alcas, Acobamba, Huayruro – Región Huánuco [Tesis para título pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional UNDAC.
- Cabrera Ayaney, C. (2014). Obras de drenaje en Carreteras. *Instituto Tecnológico de Chetumal.*
- Castañón Garay, P. (2011). *Cálculo del Factor de Erosión de la Lluvia en las Estaciones Papaloapan y Cd. Alemán de la Cuenca del Papaloapan.* [Tesis de título]. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Chávez R. (2018). Estudio Comparativo empleando el aditivo PROES y CONSOLID para la estabilización de suelos en caminos vecinales, 2018 [Tesis para título pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.
- Corominas, J., Mavrouli, O., Ibarbia, I., Jugo, I., Alonso, N., Ruiz, J., . . . Navarro, J. A. (2017). *Metodología*. IX Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables.
- Cortés Urueña, P. & Gutiérrez Mora, O. (2018). Evaluación Geotécnica del suelo 1Km de vía no pavimentada, exponiendo el comportamiento físico y mecánico del mismo en el Municipio de Melgar- Tolima [Tesis para título pregrado, Universidad Piloto de Colombia – Seccional Alto Magdalena]. Repositorio Institucional UPC.
- Del Águila, I & Macedo, J. (2018). Estudio definitivo del mejoramiento del camino vecinal Achual Limón – 4 de octubre – La Unión. Provincia de Alto Amazonas – Loreto – I Etapa [Tesis para optar título profesional de ingeniero civil, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de acceso abierto.
- Del Águila, R & Juep, V. (2016). Estudio definitivo a nivel de afirmado del camino vecinal Campanilla – Ramón Castilla – San Juan de Challuayacu en el Distrito de Campanilla, Provincia de Mariscal Cáceres – Región San Martín [Tesis para optar título profesional de ingeniero civil, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de acceso abierto.
- Duran, D. (2014). Diseño Preliminar de un camino vecinal de aproximadamente 900 metros de longitud que enlaza dos caminos vecinales, Comuna San José, Parroquia Manglaralto, Cantón Santa Elena, Provincia Santa Elena, Ecuador [Monografía previa a la obtención del título de ingeniero civil, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca.
- Escobar Potes, C. & Duque Escobar, G. (2016). Geotecnia para el trópico andino. <http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/>
- Espinoza R. (2018). Sistemas de Estabilización de talud y análisis de costos del km 90+000 al 100+000 de la carretera Huancayo – Huancavelica, 2018 [Tesis para título pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.
- Espíritu, T. (2013). “Criterios geológico-hidrológicos para recomendaciones del uso de suelo en zonas sujetas a afectaciones por lluvias. Caso: sur de la ciudad de

- Tuxtla Gutiérrez, Chiapas”. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.* (80), pp. 36-54.
- Fausto J. (2019). Modelo geológico-geotécnico para definir excavación de laderas por banqueo en rocas sedimentarias para obras viales. Construcción de la carretera Kimbiri-Kepashiato, tramo Cielo Punku Quebrada Honda (km 1+000 al km 5+000) [Tesis para Magister, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional de UNMSM.
- Galindo J. & Alcántara I. (2015). Inestabilidad de laderas e infraestructura vial: análisis de susceptibilidad en la Sierra nororiental de Puebla, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.* (88), 122-145.
- Gallardo R., Guerrero T. & Macgregor A. (2013). Investigación geotécnica para la estabilización de las laderas del barrio San Fermín, municipio de Ocaña, departamento de Norte de Santander (Colombia). *INGE CUC.* Vol. 9, (2), 66–74.
- García López-Davalillo, J. (2005). Análisis de la vulnerabilidad por movimientos de ladera: Desarrollo de las metodologías para evaluación y cartografía de la vulnerabilidad.
- Garnicia A. & Pérez G. (2012). “Metodología para la gestión de cortes carreteros”. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación técnica (370).
- Garniga Anguas, P., Ramírez Culebro, J., & Pérez García, C. (2016). Propuesta de Indicadores para la gestión de taludes de corte y de terraplén. *Carreteras.*
- Gómez Orea, D. (2008). Ordenación Territorial. Ediciones Mundi-Prensa.
- Gómez Orea, D., & Gómez Villarino, A. (2013). Ordenación Territorial. Ediciones Mundi-Prensa.
- González L., Ferrer M., Ortuño L. & Oteo C. (2004). *Ingeniería Geológica.* Pearson Education.
- Grases, J., Contreras, I., & Grases, G. (1997). *Estudio de caso: Vulnerabilidad de los Sistemas de Agua Potable Frente a Deslizamientos.* Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Guerrero Chacón, R. A. (s.f.). *Guía práctica para construcción, rehabilitación y mejora de Caminos Rurales Agrícolas y Turísticos de Montaña.*
- Heredia Julca, J. (2018). Análisis Técnico comparativo entre el uso de muros de contención tipo gaviones y el muro de contención tipo paragua, en la

- estabilización de taludes del camino vecinal Potrerillo-Siete de Junio, Distrito de Jepelacio-Moyobamba- San Martín, 2017 [Tesis para título pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.
- Huamán S. (2014). Perfil para el mejoramiento del camino vecinal integrador desde Malingas, Pueblo Libre, Monteverde Bajo, Las Salinas hasta el Convento del distrito de Tambogrande-Provincia de Piura [Tesis para título pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional Universidad Ricardo Palma.
- Iberico R. (2015). *Estabilización y recuperación de taludes en carreteras, caso "IRSA Norte Tramo N° 1 km 45+690 – km 45+830"* (Tesis pregrado). Universidad Ricardo Palma.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (1973). *Mecánica de Suelos, Tomo II: Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos*. Limusa.
- Kaulicke P. (1993). Evidencias paleoclimáticas en asentamientos del Alto Piura durante el período Intermedio Temprano. *Bulleting de L'Institut Francais De'Etudes Andines*. (22), 283-311.
- Keller G. & Sherar J. (2008). *Guía de Campo para las Mejores prácticas de administración de Caminos Rurales*. Instituto Mexicano del Transporte.
- Kearley, Gene (2000). *Recommended Practices Manual*. Choctawhatchee, *Pea and Yellow Rivers Watershed Management Authority and Polyengineering Inc.*
- Kuroiwa, J. (2005). *Reducción de desastres*. Bruño
- Larrea V. (2004). Evaluación de Procesos de erosión en pistas forestales no pavimentadas de áreas de montaña (Sistema Ibérico Noroccidental) [Tesis para Grado de Doctor, Universidad de Zaragoza]. Repositorio Institucional Universidad de la Rioja.
- Marcano Ceballos, D. (2013). Bahía de Santander. Editorial de la Universidad de Cantabria.
- Medina, J., Villate, C., Caicedo, B., Yamin, L., Correal, J., Estrada, N., & Rincón, J. (2018). *Riesgo sísmico, geotécnico y estructural. El caso de estudio de los edificios San Jerónimo de Yuste en Bogotá*.
- Mestanza, L & Sánchez, E. (2018). Estudio definitivo para el mejoramiento del camino vecinal Pinshapampa - José Paraíso, Distrito de Alonso de Alvarado, Provincia de Lamas-Región San Martín [Tesis para optar título profesional de ingeniero

- civil, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de acceso abierto.
- Miranda R., Alonso G. & Jimenez Cynthia (2018). *Análisis y diseño de Muros de contención a base de neumáticos su impacto en la sociedad*. Pakbal, (43). 15-20.
- Mohedas Díaz, M., & Moreno Vega, A. (2014). Apertura y mantenimiento de vías forestales. Ediciones Paraninfo S.A.
- Montesinos Perez Efrim (2017). Voladura Controlada para Talud final en la Construcción de la Carretera Lima – Canta – La Viuda UNISH [Tesis para título pregrado, Universidad Nacional del Altiplano] Repositorio Institucional UNA-PUNO.
- Morales Salas, H. & Valiente Olivo, M. (2017). Evaluación Geotécnica de Inestabilidad de Taludes, Caso de Estudio: Institución Social Jardín Infantil Lipaya, Casco Urbano Barranquilla [Tesis para título pregrado, Universidad de Cartagena] Repositorio Institucional UC.
- Narva Puris, A. & Ponce Sacco, E. (2014). Evaluación de los riesgos potenciales en carreteras por carencia de señalizaciones y propuesta de solución para la carretera Quinoa-San Francisco (Km. 26+000 – Km. 78+500) [Tesis para título pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio Institucional UPAO.
- Norabuena R. (2015). Análisis de la reactivación y actividad del deslizamiento Pucruhacra Huarochirí-Lima [Tesis para título pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería] Repositorio Institucional UNI.
- Novela L. (2018). Procedimiento para la Evaluación geotécnica de las Obras Viales [Tesis para Máster, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa]. Revista Digital Científico Tecnológica Minería & Geología.
- Núñez Juárez, S., & Gómez Velásquez, D. (2011). *Deslizamiento de Tierra en el Cerro Pucruhacra*. INGEMMET.
- Núñez, R. & Sánchez, I (2016). Riesgo a deslizamientos en taludes del sistema vial Lampa – Pariahuanca, Huancayo [Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

- Ojeda M. (2014). Gestión de Riesgos para Obras Geotécnicas en Taludes [Tesis para título de pregrado, Universidad Internacional del Ecuador]. Repositorio Institucional UIDE.
- Ordoñez-Ruiz, J., Auvinet-Guichard, G., & Juárez-Camarena, M. (julio-setiembre de 2015). Caracterización del subsuelo y análisis de riesgos geotécnicos asociados a las arcillas expansivas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, XVI(3), 453-470. Obtenido de <https://www.revistaingenieria.unam.mx/numeros/v16n3-12.php>
- Ospina Ovalle, G. (2016). El papel de las vías secundarias y los caminos vecinales en el desarrollo de Colombia. *Revista de Ingeniería* (40), 20-27.
- Oteo Mazo, C. (2014). El riesgo geotécnico en la conservación de obras viales. *RUTAS* (158), 10-31.
- Palma Colindres, J. (2012). Análisis de Riesgo y Vulnerabilidad en Proyectos en Carreteras [Tesis para título pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional USCG.
- Pérez de Agreda, E. A. (2005). Estabilidad de Taludes. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Perles Roselló, M.J., Pardo García, S., Mérida Rodríguez, M., & Olcina Cantos, J. (2019). Metodología para la predicción de puntos de riesgos múltiples en infraestructuras viarias tras episodios torrenciales (road-risk). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 80, 2615, 1–40. <http://dx.doi.org/10.21138/bage.2615>
- Pescetto Chávez, C. J. & Quispe Pulido, A. E. (2014). Hidrología en Carreteras y Caminos. Universidad Federico Villareal.
- Rendón E. (2005). Taludes Reforzados con Geosintéticos utilizados en carreteras [Tesis para título pregrado, Universidad San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional USCG.
- Rico A. y Del Castillo H. (1976). La ingeniería de suelos en las vías terrestres. Limusa.
- Rodríguez, W. (2016). Ingeniería Geotécnica.
- Rodríguez Lopez, F., & Hruskovic, P. (2007). Estructura de desglose del riesgo (EDR). *Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*.
- Román W., Saldaña A. (2018). Propuesta de parámetros de diseño geométrico para trochas carrozables en la norma DG-2018 a fin de optimizar costos [Tesis para

- título pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional Universidad Ricardo Palma.
- Sackschewski C. (2017). *Soluciones para la estabilidad de taludes de la carretera Canta– Huayllay entre las progresivas del km 102 al km 110*. (Tesis pregrado). UNMSM, Perú.
- Santana, D., Pons, J., Rodríguez, H., Prat, E., Lopez, F., Janeras, M., . . . Paret, D. (2017). Plataforma On-line para el seguimiento geológico y geotécnico de la red ferroviaria de FGC. *ICGC*.
- Severino B. (2015). *Riesgos de taludes y terraplenes en obras lineales de la República Dominicana*. (Tesis máster). Universidad Politécnica de Madrid.
- Suarez B., L. (2016). *Análisis de estabilidad de taludes*. Medellín, Colombia.
- Suárez J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad en taludes en zonas tropicales*. Universidad Industrial de Santander.
- Suarez J. (2001). Control de erosión en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander.
- Suarez J. (2009). Deslizamientos. Análisis Geotécnico VOL.1. Universidad Industrial de Santander.
- Tito S. (2014). Mejoramiento y rehabilitación de la carretera Ayacucho - Abancay, tramo IV, Pertenece a la Ruta PE–28B [Tesis para el título de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional URP.
- Tlatempa, G. (2013). Criterios geológico-hidrológicos para recomendaciones del uso de suelo en zonas conurbadas sujetas a afectaciones por lluvias intensas. Caso de estudio: sur de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Instituciones Geográficas UNAM* (80), 36-54.
- Torres C. (2007). Valoración del Riesgo en Deslizamiento [Tesis para título pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional Universidad Ricardo Palma.
- Torres P. (2016). Estabilización de taludes con neumáticos usados. [Tesis para proyecto de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional Universidad Santo Tomás.
- Torres R. (2017). El modelo peruano para el desarrollo de caminos rurales. *Revista de Ingeniería, Universidad de los Andes* (45), 40-51.

- Ulloa Calderón, A. & Vargas Monge, W. (2007). Metodología Simplificada para evaluación de vulnerabilidad geotécnica de terraplenes en carreteras de montaña de Costa Rica. *Infraestructura Vial* (18).
- Valiente S., R. y Sobrecases M., S. (2015). “Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo”. *Civilízate*. (7), pp. 50-54.
- Wells L. E. (1987). An alluvial record of the El Niño events from northern Coastal Peru. *Journal of geophysical research*. (92), 14 463 - 14 470.
- Zamora A. (2019). Riesgo Geotécnico de Deslizamiento en los taludes del terreno del colegio “San Carlos”-Bambamarca [Tesis para título pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC.
- Zavala Carrión B. (2007). Susceptibilidad a los peligros geológicos en la carretera Pativilca – Conoccocha – Antamina. INGEMMET.

## ANEXOS

Tabla N° 39: Hoja de cálculo de análisis de nivel de riesgo a los 40 casos evaluados.

CASO	Departamento	Provincia	Distrito	Expediente	Ruta	Carretera	Clasificación	Progresiva (km)	IMD (veh/día)	Año	Características del talud				
											Zona Crítica	Altura		Mantenimiento /limpieza	
												Tipo de deslizamiento	(m)	Pts	Nivel
1	APURÍMAC	ANDAHUAYLAS	Pacobamba	Rehabilitación y mejoramiento de camino	AP-525	Pacobamba-Huironay-Ccerabamba	VEGINAL	0+550	68	2015	Deslizamiento traslacional	0 a 5 m	3	Menor	3
2	APURÍMAC	ANDAHUAYLAS	Pacobamba	Rehabilitación y mejoramiento de camino	AP-525	Pacobamba-Huironay-Ccerabamba	VEGINAL	5+680	55	2015	Caída de rocas	5 m a 10 m	9	Menor	3
3	APURÍMAC	ANDAHUAYLAS	Pacobamba	Rehabilitación y mejoramiento de camino	AP-525	Pacobamba-Huironay-Ccerabamba	VEGINAL	13+860	25	2015	Hundimiento	0 a 5 m	3	Menor	3
4	APURÍMAC	ANDAHUAYLAS	Pacobamba	Rehabilitación y mejoramiento de camino	AP-525	Pacobamba-Huironay-Ccerabamba	VEGINAL	16+640	25	2015	Caída de rocas	5 m a 10 m	9	Menor	3
5	APURÍMAC	ANDAHUAYLAS	Pacobamba	Rehabilitación y mejoramiento de camino	AP-525	Pacobamba-Huironay-Ccerabamba	VEGINAL	23+860	25	2015	Deslizamiento traslacional	5 m a 10 m	9	Menor	3
6	APURÍMAC	ANDAHUAYLAS	Pacobamba	Rehabilitación y mejoramiento de camino	AP-525	Pacobamba-Huironay-Ccerabamba	VEGINAL	24+740	25	2015	Derrumbe, deslizamiento traslacional	0 a 5 m	3	Menor	3
7	APURÍMAC	ANDAHUAYLAS	Pacobamba	Rehabilitación y mejoramiento de camino	AP-525	Pacobamba-Huironay-Ccerabamba	VEGINAL	24+800	25	2015	Derrumbe	5 m a 10 m	9	Menor	3
8	APURÍMAC	ANDAHUAYLAS	Pacobamba	Rehabilitación y mejoramiento de camino	AP-525	Pacobamba-Huironay-Ccerabamba	VEGINAL	25+060	25	2015	Derrumbes y caída de rocas	5 m a 10 m	9	Menor	3
9	APURÍMAC	ANDAHUAYLAS	Pacobamba	Rehabilitación y mejoramiento de camino	AP-525	Pacobamba-Huironay-Ccerabamba	VEGINAL	25+640	25	2015	Deslizamiento traslacional	10 m a 20 m	27	Menor	3
10	APURÍMAC	ANDAHUAYLAS	Pacobamba	Rehabilitación y mejoramiento de camino	AP-525	Pacobamba-Huironay-Ccerabamba	VEGINAL	26+450	25	2015	Derrumbe	0 a 5 m	3	Menor	3
11	APURÍMAC	ANDAHUAYLAS	Pacobamba	Rehabilitación y mejoramiento de camino	AP-525	Pacobamba-Huironay-Ccerabamba	VEGINAL	28+240	25	2015	Deslizamiento traslacional	5 m a 10 m	9	Menor	3
12	APURÍMAC	ABANCAY	Pichirhua	Mejoramiento y Rehabilitación	AP-654	Nogalpampa-Cotarma	VEGINAL	01+210	12	2018	Derrumbe	10 m a 20 m	27	Menor	3
13	APURÍMAC	ABANCAY	Pichirhua	Mejoramiento y Rehabilitación	AP-654	Nogalpampa-Cotarma	VEGINAL	05+600	12	2018	Deslizamiento traslacional	10 m a 20 m	27	Menor	3
14	APURÍMAC	ABANCAY	Pichirhua	Mejoramiento y Rehabilitación	AP-654	Nogalpampa-Cotarma	VEGINAL	07+775	12	2018	Deslizamiento traslacional	10 m a 20 m	27	Menor	3
15	APURÍMAC	ABANCAY	Pichirhua	Mejoramiento y Rehabilitación	AP-655	Inupata - Piscaya	VEGINAL	02+210	5	2018	Deslizamiento traslacional	5 m a 10 m	9	Menor	3
16	APURÍMAC	ABANCAY	Pichirhua	Mejoramiento y Rehabilitación	AP-655	Inupata - Piscaya	VEGINAL	03+680	5	2018	Deslizamiento traslacional	10 m a 20 m	27	Menor	3
17	TACNA	JORDE BASADRE	Ilabaya	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA	TA-563	Ilabaya - Cambaya - Camilaca	VEGINAL	6+170	150	2017	Deslizamiento rotacional	> 20 m	81	Menor	3
18	TACNA	JORGE BASADRE	Ilabaya	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA	TA-563	Ilabaya - Cambaya - Camilaca	VEGINAL	13+790	150	2017	Deslizamiento rotacional	5 m a 10 m	9	Menor	3
19	TACNA	JORGE BASADRE	Ilabaya	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA	TA-563	Ilabaya - Cambaya - Camilaca	VEGINAL	17+320	150	2017	Caída de rocas	5 m a 10 m	9	Menor	3
20	CAJAMARCA	SAN PABLO	San Pablo	Informe técnico de evaluación	CA-103	Chilete - San Pablo	VEGINAL	24+520	208	2017	Caída de rocas	> 20 m	81	Menor	3
21	CAJAMARCA	SAN PABLO	San Pablo	Informe técnico de evaluación	CA-103	Chilete - San Pablo	VEGINAL	25+000	208	2017	Deslizamiento rotacional	10 m a 20 m	27	Moderado	9
22	SAN MARTÍN	EL DORADO	San José de Sisa	Evaluación del deslizamiento	SM-102	Cufumbueque - Zapatero - San	VEGINAL	38+700	200	2020	Deslizamiento rotacional	10 m a 20 m	27	Menor	3
23	LA LIBERTAD	PATAZ	Parcoy	Rehabilitación del camino	LI-862	San Fernando - Trapiche -	VEGINAL	1+039	12	2018	Deslizamiento traslacional	10 m a 20 m	27	Menor	3
24	LA LIBERTAD	PATAZ	Parcoy	Rehabilitación del camino	LI-862	San Fernando - Trapiche -	VEGINAL	1+069	12	2018	Deslizamiento traslacional	> 20 m	81	Menor	3
25	LA LIBERTAD	PATAZ	Parcoy	Rehabilitación del camino	LI-862	San Fernando - Trapiche -	VEGINAL	2+060	12	2018	Deslizamiento traslacional	0 a 5 m	3	Menor	3
26	LA LIBERTAD	PATAZ	Parcoy	Rehabilitación del camino	LI-862	San Fernando - Trapiche -	VEGINAL	2+080	12	2018	Deslizamiento traslacional	0 a 5 m	3	Menor	3
27	LA LIBERTAD	PATAZ	Parcoy	Rehabilitación del camino	LI-862	San Fernando - Trapiche -	VEGINAL	2+180	12	2018	Deslizamiento traslacional	0 a 5 m	3	Menor	3
28	LA LIBERTAD	PATAZ	Parcoy	Rehabilitación del camino	LI-862	San Fernando - Trapiche -	VEGINAL	2+240	12	2018	Deslizamiento traslacional	0 a 5 m	3	Menor	3
29	LA LIBERTAD	PATAZ	Parcoy	Rehabilitación del camino	LI-862	San Fernando - Trapiche -	VEGINAL	3+240	12	2018	Reptación	0 a 5 m	3	Menor	3
30	LA LIBERTAD	PATAZ	Parcoy	Rehabilitación del camino	LI-862	San Fernando - Trapiche -	VEGINAL	3+640	12	2018	Reptación	0 a 5 m	3	Menor	3
31	LA LIBERTAD	PATAZ	Parcoy	Rehabilitación del camino	LI-862	San Fernando - Trapiche -	VEGINAL	4+920	12	2018	Derrumbes	0 a 5 m	3	Menor	3
32	LA LIBERTAD	PATAZ	Parcoy	Rehabilitación del camino	LI-862	San Fernando - Trapiche -	VEGINAL	4+940	12	2018	Derrumbes	0 a 5 m	3	Menor	3
33	LA LIBERTAD	PATAZ	Parcoy	Rehabilitación del camino vecinal Tramo	LI-862	San Fernando - Trapiche - Arcay -	VEGINAL	5+070	12	2018	Erosión de ladera y Derrumbe	0 a 5 m	3	Menor	3
34	LA LIBERTAD	PATAZ	Parcoy	Rehabilitación del camino	LI-862	San Fernando - Trapiche -	VEGINAL	5+810	12	2018	Reptación	0 a 5 m	3	Menor	3
35	LA LIBERTAD	PATAZ	Parcoy	Rehabilitación del camino	LI-862	San Fernando - Trapiche -	VEGINAL	6+790	12	2018	Deslizamiento rotacional	0 a 5 m	3	Menor	3
36	LA LIBERTAD	PATAZ	Parcoy	Rehabilitación del camino	LI-862	San Fernando - Trapiche -	VEGINAL	9+350	12	2018	Vuelcos	0 a 5 m	3	Menor	3
37	LA LIBERTAD	PATAZ	Parcoy	Rehabilitación del camino	LI-862	San Fernando - Trapiche -	VEGINAL	9+610	12	2018	Deslizamiento rotacional	5 m a 10 m	9	Menor	3
38	LA LIBERTAD	PATAZ	Parcoy	Rehabilitación del camino	LI-862	San Fernando - Trapiche -	VEGINAL	9+740	12	2018	Deslizamiento rotacional	5 m a 10 m	9	Menor	3
39	LA LIBERTAD	PATAZ	Parcoy	Rehabilitación del camino	LI-862	San Fernando - Trapiche -	VEGINAL	9+860	12	2018	Deslizamiento rotacional	0 a 5 m	3	Menor	3
40	LA LIBERTAD	PATAZ	Parcoy	Rehabilitación del camino	LI-862	San Fernando - Trapiche -	VEGINAL	10+000	12	2018	Deslizamiento rotacional	0 a 5 m	3	Menor	3

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 40: Hoja de cálculo de Características del talud, en los 40 casos evaluados.

CARACTERÍSTICAS DEL TALUD																	
Ángulo suelo		Ángulo roca		Irregularidades		Sección transversal		Efectividad de Área de captación (%)					Vegetación cuerpo		Vegetación corona		
(grados °)	Pts	Categorías	Pts	Nivel	Pts	Tipo	Pts	W actual (m)	D actual (m)	W (m) propuesto	D (m) propuesto	% efectividad	Pts	Categoría	Pts	Categoría	Pts
40° a 60°	27		0	Moderada	27	Balcón	27	0.2	0.3	1	1	25	81	Poblado/herbáceo	9	Poblado/herbáceo/semidesnudo/arbustivo	27
	0	Categoría 2 a 4	9	Moderada	27	Balcón	27	0.5	0.4	1	1	45	27	Poblado/herbáceo	9	Poblado/arbustivo/semidesnudo/arbóreo	9
	0	Categoría 2 a 4	9	Menor	9	Balcón	27	0.3	0.25	1	1	28	81	Poblado/Arbustivo	3	Poblado/arbóreo	3
	0	Categoría 2 a 4	9	Moderada	27	Balcón	27	0.5	0.2	1	1	35	27	Desnudo	81	Poblado/herbáceo/semidesnudo/arbustivo	27
	0	Categoría 2 a 4	9	Moderada	27	Balcón con fallas en superficie de	81	2	0	1	1	100	3	Poblado/Arbustivo	3	Poblado/arbustivo/semidesnudo/arbóreo	9
	0	Categoría 2 a 4	9	Menor	9	Balcón	27	0.5	0.3	1	1	40	27	Poblado/Arbustivo	3	Poblado/arbóreo	3
	0	Categoría 2 a 4	9	Moderada	27	Balcón	27	0.5	0.2	1	1	35	27	Semidesnudo / herbáceo	27	Poblado/herbáceo/semidesnudo/arbustivo	27
	0	Categoría 4 a 8	27	Menor	9	Balcón	27	0.2	0.2	2	1	13	81	Semidesnudo / herbáceo	27	Poblado/herbáceo/semidesnudo/arbustivo	27
	0	Categoría 2 a 4	9	Menor	9	Balcón	27	0.4	0.4	2	1.25	25	81	Poblado/Arbustivo	3	Poblado/herbáceo/semidesnudo/arbustivo	27
	0	Categoría 2 a 4	9	Menor	9	Balcón	27	0.5	0.4	1	1	45	27	Poblado/Arbustivo	3	Poblado/arbustivo/semidesnudo/arbóreo	9
	0	Categoría 4 a 8	27	Moderada	27	Balcón con fallas en superficie de rodadura	81	0.5	0.35	2	1	28	81	Semidesnudo / herbáceo	27	Poblado/herbáceo/semidesnudo/arbustivo	27
	0	Categoría 2 a 4	9	Menor	9	Balcón con fallas en superficie de	81	0.8	0.1	1	1	45	27	Semidesnudo / herbáceo	27	Desnudo/semidesnudo /herbáceo	81
	0	Categoría 4 a 8	27	Moderada	27	Balcón con fallas en superficie de	81	0.6	0.1	3	1.25	16	81	Poblado/herbáceo	9	Poblado/arbustivo/semidesnudo/arbóreo	9
	0	Categoría 2 a 4	9	Moderada	27	Balcón con fallas en superficie de	81	0.5	0.1	1	1	30	27	Semidesnudo / herbáceo	27	Desnudo/semidesnudo /herbáceo	81
	0	Categoría 2 a 4	9	Menor	9	Balcón con fallas en superficie de	81	0.5	0.1	1	1	30	27	Poblado/herbáceo	9	Poblado/herbáceo/semidesnudo/arbustivo	27
	0	Categoría 2 a 4	9	Moderada	27	Balcón con fallas en superficie de	81	0.4	0.1	1	1	25	81	Semidesnudo / herbáceo	27	Poblado/arbustivo/semidesnudo/arbóreo	9
40° a 60°	27		0	Ninguna	3	Balcón	27	0.2	0.1	1	1	15	81	Desnudo	81	Desnudo/semidesnudo /herbáceo	81
40° a 60°	27		0	Menor	9	Balcón	27	0.3	0.1	1	1	20	81	Desnudo	81	Desnudo/semidesnudo /herbáceo	81
40° a 60°	27		0	Menor	9	Balcón	27	0.2	0.1	1	1	15	81	Desnudo	81	Desnudo/semidesnudo /herbáceo	81
	0	Categoría >8	81	Moderada	27	Balcón	27	0.1	0.1	2	1	7	81	Semidesnudo / herbáceo	27	Poblado/herbáceo/semidesnudo/arbustivo	27
	0	Categoría 4 a 8	27	Moderada	27	Cajón con fallas en superficie de	9	0.5	0.5	2	1	33	27	Poblado/Arbustivo	3	Poblado/arbustivo/semidesnudo/arbóreo	9
	0	Categoría >8	81	Moderada	27	Balcón	27	0.2	0.1	3	1.25	7	81	Semidesnudo / herbáceo	27	Poblado/arbóreo	3
< 30°	3		0	Moderada	27	Balcón	27	0.6	0.1	1	1	35	27	Poblado/Arbustivo	3	Poblado/arbóreo	3
< 30°	3		0	Moderada	27	Balcón	27	0.6	0.1	1	1	35	27	Poblado/Arbustivo	3	Poblado/arbóreo	3
< 30°	3		0	Moderada	27	Balcón	27	1	0.1	2	1.25	34	27	Semidesnudo / herbáceo	27	Poblado/arbustivo/semidesnudo/arbóreo	9
< 30°	3		0	Moderada	27	Balcón	27	1	0.1	2	1.25	34	27	Semidesnudo / herbáceo	27	Poblado/arbustivo/semidesnudo/arbóreo	9
30° a 40°	9		0	Moderada	27	Balcón	27	0.1	0.1	2	1.25	6	81	Poblado/Arbustivo	3	Poblado/arbóreo	3
30° a 40°	9		0	Moderada	27	Balcón	27	0.1	0.1	2	1.25	6	81	Poblado/Arbustivo	3	Poblado/arbóreo	3
30° a 40°	9		0	Moderada	27	Balcón	27	0.2	0.2	1	1	20	81	Poblado/herbáceo	9	Poblado/arbustivo/semidesnudo/arbóreo	9
30° a 40°	9		0	Moderada	27	Balcón	27	0.5	0.2	1	1	35	27	Poblado/herbáceo	9	Poblado/herbáceo/semidesnudo/arbustivo	27
30° a 40°	9		0	Moderada	27	Balcón con fallas en superficie de	81	0.5	0.2	1	1	35	27	Semidesnudo / herbáceo	27	Desnudo/semidesnudo /herbáceo	81
30° a 40°	9		0	Moderada	27	Balcón con fallas en superficie de	81	0.4	0.1	1	1	25	81	Desnudo	81	Poblado/herbáceo/semidesnudo/arbustivo	27
> 60°	81		0	Menor	9	Balcón	27	0.1	0.1	1	1	10	81	Poblado/herbáceo	9	Poblado/arbustivo/semidesnudo/arbóreo	9
40° a 60°	27		0	Menor	9	Balcón	27	0.3	0.3	2	1	20	81	Poblado/herbáceo	9	Poblado/herbáceo/semidesnudo/arbustivo	27
30° a 40°	9		0	Moderada	27	Balcón	27	0.3	0.3	1	1	30	27	Semidesnudo / herbáceo	27	Desnudo/semidesnudo /herbáceo	81
	0	Categoría >8	81	Menor	9	Balcón	27	0.3	0.1	1	1	20	81	Semidesnudo / herbáceo	27	Poblado/herbáceo/semidesnudo/arbustivo	27
30° a 40°	9		0	Menor	9	Balcón	27	0.3	0.1	1	1	20	81	Semidesnudo / herbáceo	27	Poblado/arbustivo/semidesnudo/arbóreo	9
40° a 60°	27		0	Moderada	27	Balcón	27	0.1	0.1	1	1	10	81	Semidesnudo / herbáceo	27	Desnudo/semidesnudo /herbáceo	81
< 30°	3		0	Menor	9	Balcón	27	0.5	0.1	1	1	30	27	Poblado/Arbustivo	3	Poblado/arbustivo/semidesnudo/arbóreo	9
30° a 40°	9		0	Menor	9	Balcón	27	0.3	0.1	1	1	20	81	Poblado/herbáceo	9	Poblado/arbóreo	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 41: Hoja de cálculo de Clima y Geología, en los 40 casos evaluados.

Clima		GEOLOGÍA												
Precipitación (mm)	Infiltración Pts	Infiltración Pts	Socavación en el pie de cada		ROCA SEDIMENTARIA		Formación de surcos / canales		Meteorización		SUELOS RESIDUALES			
			(m)	Pts	Grado de interestratificación	Pts	Pts	Pts	Pts	Pts	Escurrimiento superficial	Pts	Contacto suelo sobre roca	Pts
501 a 850	27	Húmedo/mojado	9	0		0		0	Horizonte A-B	27	Desprendimientos y concentración de sólidos de arrastre en	81	Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud	3
501 a 850	27	Goteando	27	0.3 a 0.6	9	1 a 2 interestratos débiles > 15cm	9	Prof. > 20cm o Ancho > 10cm	81	0		0		0
501 a 850	27	Agua escurriendo	81	0.6 a 1.5	27	Más de 2 interestratos < 15cm	27	5 < Prof. ≤ 10cm o 2 < Ancho ≤ 5cm	9	0		0		0
501 a 850	27	Sin humedad	3	0 a 0.3	3	Más de 2 interestratos < 15cm	27	5 < Prof. ≤ 10cm o 2 < Ancho ≤ 5cm	9	0		0		0
501 a 850	27	Agua escurriendo	81	0.3 a 0.6	9	Más de 2 interestratos >	81	Prof. > 20cm o Ancho > 10cm	81	0		0		0
501 a 850	27	Agua escurriendo	81	0 a 0.3	3	Más de 2 interestratos < 15cm	27	Profundidad ≤ 5cm o Ancho ≤ 2cm	3	0		0		0
501 a 850	27	Goteando	27	0 a 0.3	3	Más de 2 interestratos >	81	Profundidad ≤ 5cm o Ancho	3	0		0		0
501 a 850	27	Húmedo/mojado	9	0.3 a 0.6	9	Más de 2 interestratos <	27	10 < Prof. ≤ 20cm o 5 <	27	0		0		0
501 a 850	27	Goteando	27	0 a 0.3	3	1 a 2 interestratos débiles > 15cm	9	Profundidad ≤ 5cm o Ancho ≤ 2cm	3	0		0		0
501 a 850	27	Húmedo/mojado	9	0 a 0.3	3	1 a 2 interestratos	3	Profundidad ≤ 5cm o Ancho	3	0		0		0
501 a 850	27	Goteando	27	0 a 0.3	3	1 a 2 interestratos débiles > 15cm	9	Prof. > 20cm o Ancho > 10cm	81	0		0		0
501 a 850	27	Húmedo/mojado	9	0.3 a 0.6	9	1 a 2 interestratos	3	10 < Prof. ≤ 20cm o 5 <	27	0		0		0
501 a 850	27	Goteando	27	0.6 a 1.5	27	1 a 2 interestratos	9	10 < Prof. ≤ 20cm o 5 <	27	0		0		0
501 a 850	27	Húmedo/mojado	9	0.3 a 0.6	9	1 a 2 interestratos	9	5 < Prof. ≤ 10cm o 2 < Ancho	9	0		0		0
501 a 850	27	Húmedo/mojado	9	0.6 a 1.5	27	Más de 2 interestratos <	27	10 < Prof. ≤ 20cm o 5 <	27	0		0		0
501 a 850	27	Húmedo/mojado	9	0.3 a 0.6	9	1 a 2 interestratos	3	5 < Prof. ≤ 10cm o 2 < Ancho	9	0		0		0
≤ 200	3	Sin humedad	3	0	0		0		Horizonte B	9	Formación de torrentes pequeños	3	Rocas con superficie de fricción onduladas	27
≤ 200	3	Sin humedad	3	0	0		0		Horizonte B	9	Formación de torrentes pequeños	3	Rocas con superficie de fricción onduladas	27
≤ 200	3	Sin humedad	3	0	0		0		Horizonte A-B	27	Formación de torrentes pequeños	3	Salientes de roca cúbica con tamaños de 30 a 60cm	9
501 a 850	27	Goteando	27	0.3 a 0.6	9	1 a 2 interestratos	9	5 < Prof. ≤ 10cm o 2 < Ancho	9	0		0		0
501 a 850	27	Agua escurriendo	81	0.3 a 0.6	9	1 a 2 interestratos	9	Prof. > 20cm o Ancho > 10cm	81	0		0		0
> 850	81	Goteando	27	>1.5	81	Más de 2 interestratos <	27	Prof. > 20cm o Ancho > 10cm	81	0		0		0
> 850	81	Húmedo/mojado	9	0	0		0		Horizonte B	9	Menos de 1/2 corte presenta torrentes y	9	Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud	3
> 850	81	Goteando	27	0	0		0		Horizonte B	9	Menos de 1/2 corte presenta torrentes y	9	Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud	3
> 850	81	Húmedo/mojado	9	0	0		0		Horizonte A-B	27	Formación de torrentes pequeños	3	Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud	3
> 850	81	Goteando	27	0	0		0		Horizonte B-C	3	Formación de torrentes pequeños	3	Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud	3
> 850	81	Agua escurriendo	81	0	0		0		Horizonte B-C	3	Menos de 1/2 corte presenta torrentes y	9	Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud	3
> 850	81	Goteando	27	0	0		0		Horizonte B-C	3	Más de 1/2 corte presenta torrentes y	27	Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud	3
> 850	81	Goteando	27	0	0		0		Horizonte B	9	Formación de torrentes pequeños	3	Salientes de roca cúbica con tamaños de 30 a 60cm	9
> 850	81	Húmedo/mojado	9	0	0		0		Horizonte A-B	27	Formación de torrentes pequeños	3	Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud	3
> 850	81	Agua escurriendo	81	0	0		0		Horizonte A-B	27	Desprendimientos y concentración de	81	Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud	3
> 850	81	Agua escurriendo	81	0	0		0		Horizonte B	9	Desprendimientos y concentración de	81	Salientes de roca cúbica con tamaños de 30 a 60cm	9
> 850	81	Goteando	27	0	0		0		Horizonte B	9	Menos de 1/2 corte presenta torrentes y canales	9	Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud	3
> 850	81	Agua escurriendo	81	0	0		0		Horizonte B-C	3	Formación de torrentes pequeños	3	Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud	3
> 850	81	Húmedo/mojado	9	0	0		0		Horizonte A-B	27	Formación de torrentes pequeños	3	Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud	3
> 850	81	Sin humedad	3	0 a 0.3	3	1 a 2 interestratos	3	Profundidad ≤ 5cm o Ancho	3	0		0		0
> 850	81	Húmedo/mojado	9	0	0		0		Horizonte B	9	Más de 1/2 corte presenta torrentes y	27	Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud	3
> 850	81	Goteando	27	0	0		0		Horizonte A-B	27	Desprendimientos y concentración de	81	Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud	3
> 850	81	Húmedo/mojado	9	0	0		0		Horizonte B-C	3	Formación de torrentes pequeños	3	Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud	3
> 850	81	Húmedo/mojado	9	0	0		0		Horizonte B	9	Formación de torrentes pequeños	3	Presencia de rocas fracturadas en menos de la cuarta parte del talud	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 42: Nivel de riesgo y mitigación de cada caso evaluado.

PUNTAJE TOTAL	Nivel de riesgo	MEDIDAS DE MITIGACIÓN	NIVEL DE RIESGO DEL EXPEDIENTE	SOLUCIÓN DEL EXPEDIENTE
351	MEDIA	Remoción de masas de deslizamiento, Muro alcancía	MEDIO	Estabilidad con muro
273	MEDIA	Desquinche, Trinchos, zanja de coronación con revestimiento de piedra, malla anclada	MEDIO	Desquinche y limpieza
309	MEDIA	Zanja de coronación con revestimiento de piedra, y pantalla de drenaje	MEDIO	Cuneta de coronación y subdrenaje
279	MEDIA	Cobertura vegetal con estacas vivas, desquinche y mallas ancladas	BAJO	Desquinche y limpieza
423	ALTA	Muro de gaviones, zanja de coronación y trinchos	ALTO	Muro de gaviones y cuneta de coronación.
225	BAJA	Zanja de coronación con revestimiento de piedra, y pantalla de drenaje	BAJO	Muro de gaviones
297	MEDIA	Cobertura vegetal, estacas vivas, desquinche	BAJO	Desquinche y limpieza
309	MEDIA	Rastrillado, desquinche, Muro de gaviones y cobertura vegetal	MEDIO	Estabilidad con muro
255	MEDIA	Zanja de coronación con revestimiento, muro de gaviones con subdren	BAJO	Muro de gaviones y cuneta de coronación.
135	BAJA	Remoción de material suelto	BAJO	Limpieza
429	ALTA	Cobertura vegetal, zanja de coronación, muro de gaviones, y trinchos	ALTO	Muro de gaviones y cuneta de coronación.
339	MEDIA	Zanja de coronación, Limpieza de cunetas, vegetación, rastrillado	BAJO	Limpieza
381	MEDIA	Zanjas de coronación y rastrillado	BAJO	Limpieza
345	MEDIA	Limpieza, desquinche, y cobertura vegetal	BAJO	Limpieza
291	MEDIA	Rastrillado, vegetación y enrocado	BAJO	Limpieza y rehabilitación de muro de piedra
321	MEDIA	Limpieza, vegetación, desquinchado	BAJO	Limpieza
429	ALTA	Muro de gaviones, Limpieza y remoción, desquinchado	ALTO	Muro de gaviones
363	MEDIA	Muro de gaviones, Limpieza y remoción, desquinchado. Vegetación	MEDIO	Muro de gaviones
363	MEDIA	Muro alcancía.	MEDIO	Muro terramesh
435	ALTA	Limpieza de canales, Desquinchado, cobertura vegetal, muro de gaviones	MEDIO	Revestimiento de canales, reforestación de laderas,
345	MEDIA	Zanjas de coronación, desquinchado, vegetación, trincho	MEDIO	Cobertura vegetal y zanjas de coronación
573	ALTA	Trinchos, zanjas de coronación, muro de gaviones con subdren	ALTO	Limpieza y conformación de banquetas de 4 m de altura
231	BAJA	Zanjas de coronación, desquinchado	MEDIO	Corte de talud, eliminación de material removido,
303	MEDIA	Zanjas de coronación y remoción de material suelto	MEDIO	Corte de talud, eliminación de material removido,
249	BAJA	Limpieza de material removido	BAJO	Limpieza de material removido por deslizamiento
243	BAJA	Limpieza de cunetas y eliminación de material removido	BAJO	Limpieza de cunetas y retiro de bloques inestables
333	MEDIA	Eliminación de material removido. Pantalla de drenaje	BAJO	Eliminar el material removido
297	MEDIA	Eliminación de material removido	BAJO	Eliminar el material removido
297	MEDIA	Eliminación de material removido	MEDIO	Eliminar el material removido
255	MEDIA	Eliminación de material removido	MEDIO	Eliminar el material removido
531	ALTA	Pantalla de drenaje y vegetación	ALTO	Cunetas
573	ALTA	Pantalla de drenaje y vegetación	ALTO	Badén de concreto y muro de protección
351	MEDIA	Construcción de cunetas y erocado con subdren	MEDIO	Cunetas
357	MEDIA	Remoción de material suelto y vegetación	MEDIO	Eliminar el material removido
327	MEDIA	Cobertura vegetal y desquinche.	MEDIO	Corte de talud adecuado y revegetación
351	MEDIA	Vegetación, desquinchado y remoción de material suelto.	MEDIO	Corte de talud
303	MEDIA	Limpieza de material removido y cobertura vegetal	MEDIO	Cortar el talud hasta eliminar el material
501	ALTA	Cobertura vegetal, zanjas de coronación, pantalla de drenaje.	ALTO	Cortar el talud hasta no más de 40°, revegetación, desvío
183	BAJA	Remoción de material suelto	BAJO	Cortar el talud hasta eliminar el material
249	BAJA	Remoción de material suelto	BAJO	Cortar el talud hasta eliminar el material

Fuente: Elaboración propia.