

CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos, que causan daño cada año; las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de conservación, mantenimiento y control.

Talud o pendiente restringida es la superficie de terreno expuesta situada a un ángulo con la horizontal y puede ser natural o construido. Si la superficie no es horizontal una componente de la gravedad ocasionará que el suelo se mueva hacia abajo, si la componente de la gravedad es suficientemente grande ocurrirá una falla y se deslizará.

Los taludes en las carreteras de nuestro país requieren conservación en forma continua, ya que son afectados por factores naturales o antrópicos, que provocan el deterioro de la estructura, y afectan la seguridad vial, por lo cual surge la necesidad de efectuar tareas de carácter preventivo para evitar al máximo la ocurrencia de daños en los elementos.

En el presente proyecto "Evaluación de la estabilidad de taludes en el tramo Padcaya-La Merced", se pretende determinar la estabilidad de los taludes del tramo, si muestran riesgos de deslizamiento, y así definir parámetros de conservación y mejoramiento, seleccionando tratamientos de menor costo.

Para el obtener el valor del factor de seguridad, se requiere conocer datos importantes de la zona como: topografía y características del suelo que lo conforma; los cuales determinan si existe amenaza, en tanto que, estructuralmente se debe asegurar la permanencia y funcionalidad de la estructura.

El trabajo presente trabajo puede ser utilizado por los ingenieros como una opción a soluciones para conocer y prever la estabilidad de taludes de la zona, obteniendo beneficios tales como seguridad del buen estado del talud, menor personal de trabajo y menor costo de reparaciones.

1.2. JUSTIFICACIÓN

En las regiones accidentadas o montañosas, que se encuentra en equilibrio, se ve afectado por la construcción de una obra vial, los que pueden presentar distintas inclinaciones, forma, hecho que representa una potencial amenaza, por lo tanto es de suma importancia realizar un estudio adecuado para conservar la estabilidad y seguridad de los distintos taludes.

En nuestro país la infraestructura vial es uno de los componentes principales para el desarrollo económico, ya que ayuda a la integración nacional e internacional, por tanto se debe contar con buenas carreteras para este fin.

El tramo vial Padcaya-La Merced, comprende un sub-tramo de la carretera Internacional Tarija- Bermejo, forma parte de la Red Fundamental N°1, presenta zonas con taludes inestables debido a diversos factores como fallas geológicas, periodos de lluvias, factores topográficos y ambientales, entre otros.

La factibilidad del presente proyecto se justifica de acuerdo al equipo utilizado que hará necesario el uso de la estación total para determinar los puntos topográficos y cinta métrica en algunos sectores para determinar la altura de los taludes de la zona, el equipo se encuentra en la universidad UAJMS.

Todos los equipos que se utilizaron para los ensayos de laboratorio como ser granulometría, límites de Atterberg, peso específico; corte directo; se encuentran en el laboratorio de la universidad UAJMS.

Respecto al uso de insumos necesarios, se utilizó los programas: Microsoft Excel, Microsoft Word, Civil- Cad 3D, GEOSLOPE/W.

Con relación a la accesibilidad del lugar, se puede llegar en automóvil, con acceso normal.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Situación problemática

La carretera de la red fundamental Tarija - Bermejo a la cual corresponde el tramo Padcaya- La Merced es una vía principal del departamento, este tramo presenta varios relieves montañosos y es la principal vía de comunicación para el comercio.

El tramo Padcaya - La Merced tienen taludes que no se sabe si han sido evaluados y pueden fallar debido a cambios geológicos, topográficos, presencia de agua o a factores tipo antrópico o natural que modifican su estabilidad pudiendo convertirse en un deslizamiento o derrumbe.

Es necesario realizar una evaluación de la estabilidad de taludes en el tramo Padcaya – La Merced para saber el comportamiento de la estructura, así identificar las posibles zonas de riesgo que afecten la seguridad vial y así proponer alternativas de mejoramiento de la zona en estudio.

1.3.2. Problema de investigación

¿Cuál será la incidencia que puede tener una evaluación de estabilidad de taludes a través de la determinación del factor de seguridad y amenazas de deslizamiento, para conocer el estado actual, y así considerar el mejoramiento de los taludes en el tramo Padcaya-La Merced?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la estabilidad de los taludes, a través de la determinación del factor de seguridad y amenaza de deslizamiento que hay en las zonas críticas dentro del tramo Padcaya-La Merced, conociendo los factores naturales o antrópicos que afectan a la estructura y verificando el estado de los mismos, de tal manera que se puedan establecer alternativas de protección y refuerzo para la zona.

1.4.2. Objetivos específicos

- Recopilar información bibliográfica sobre la estabilidad de taludes y los estudios realizados en el tramo Padcaya – La Merced.
- Efectuar una visita de exploración para poder identificar las zonas críticas y de riesgo.

- Establecer el tipo de amenazas y deterioro que existen en la zona, a través de la inspección visual de las características geofísicas y el estado actual de los taludes existentes.
- Realizar trabajos topográficos de la zona de estudio para conocer la geometría de los taludes.
- Extraer muestras de diferentes sectores del tramo y realizar ensayos de laboratorio: granulometría, límites de Atterberg, peso específico y corte directo para la caracterización de los suelos de los taludes del tramo en estudio.
- Determinar la mejor alternativa de estabilidad de los taludes, en base al factor de seguridad obtenido en los diferentes taludes del tramo Padcaya- La Merced.

1.5. HIPÓTESIS

Si se realiza una evaluación de la estabilidad de taludes del tramo Padcaya - La Merced, se conocerá el factor de seguridad, fallas y amenazas de las zonas críticas, lo que ayudará a determinar su estado actual; en base a los resultados se podrá determinar alternativas de conservación y mejoramiento de los mismos.

1.5.1. Identificación de variables

Variable dependiente.- Parámetros de conservación y mejoramiento

Variables independientes.- Factor de seguridad

Amenazas

Fallas

TABLA 1.1. Conceptualización y operacionalización de las variables dependientes

Variable dependiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor

Parámetros de conservación de taludes	Es el conjunto de trabajos constantes o periódicos a ejecutar para evitar el deterioro prematuro de una obra, que la mantenga en su calidad y valor.	Estabilidad del talud	Topografía	Dimensiones
			Tipo de suelo	Clasificación del suelo
			Geología	Clasificación del estrato
		Tipo de fallas	Presencia de agua	Identificación de fallas
			Erosión	
		Tipo de amenazas	Deslizamiento	Identificación de zonas de mayor riesgo
			Derrumbes	
		Nivel de deterioro	Factores naturales	Climatología
			Factores antrópicos	Geometría del talud

FUENTE: Elaboración propia

TABLA 1.2. Conceptualización y operacionalización de las variables independientes

--	--	--	--	--

Variable independiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor
Factor de seguridad	Es el estado de equilibrio del talud que garantiza la seguridad vial.	Topografía	Levantamiento de puntos	Trabajo de campo, laboratorio y gabinete.
		Tipo de suelo	Granulometría Plasticidad Peso específico Corte directo	
Fallas	Defecto del estrato, debida a fuerzas que producen desplazamientos	Tipos de fallas	Erosión	Inspección superficial del talud.
			Presencia de agua	
Amenazas	Es un fenómeno externo natural que pone en riesgo la vida de la personas.	Tipos de amenazas	Deslizamientos	Tipo de material Grado de saturación Ángulo de talud Altura de talud
			Derrumbes	

FUENTE: Elaboración propia

DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.6. IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DEL DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo está identificado con el diseño de investigación descriptiva, ya que es utilizada para pronosticar la hipótesis.

	Unidad de muestras	(Ni)						
Granulometría	Ensayo de clasificación, caracterización de suelo	45	0,5	0,5	0,25	11	0,24	31
Límites de Atterberg		45	0,5	0,5	0,25	11	0,24	31
Peso específico		60	0,5	0,5	0,25	15	0,32	41
Corte directo		40	0,5	0,5	0,25	10	0,20	26
Nº de pruebas		190				47		

FUENTE: Elaboración propia

$$n = \frac{\sum_{i=1}^l Ni \times pi \times qi}{ND + \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^l Ni \times pi \times qi} \quad (1-1)$$

$$n = 129$$

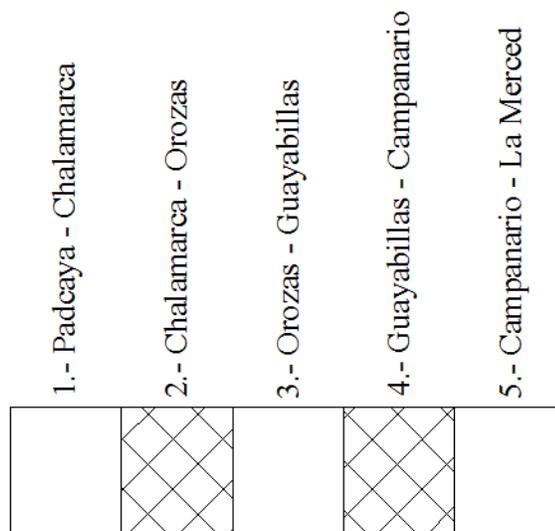
$$D = \left(\frac{e}{z}\right)^2 = \left(\frac{0,05}{2}\right)^2 = 0,000625$$

Se realizó el levantamiento topográfico en la zona inestable del tramo progresivas 21+215 a 21+530, 23+055 a 23+752 y 23+800 a 23+943.

1.7.3. Selección de las técnicas de muestreo

Muestreo sistemático para la determinación de tramos a evaluar.- cada muestra es seleccionada según la enésima posición de una división de la población, el primero se escoge al azar, su ventaja con respecto al muestreo aleatorio es la simplicidad.

FIGURA 1.1. Muestreo sistemático de tramos a evaluar



FUENTE: Elaboración propia

Muestreo aleatorio estratificado simple para la determinación de ensayos de laboratorio.- se consideraron categorías típicas diferentes entre estratos que poseen gran homogeneidad. La muestra se será extraída de la parte inferior, media y superior. Dicha distribución-reparto de la muestra se llama afijación.

1.8. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS LÓGICOS

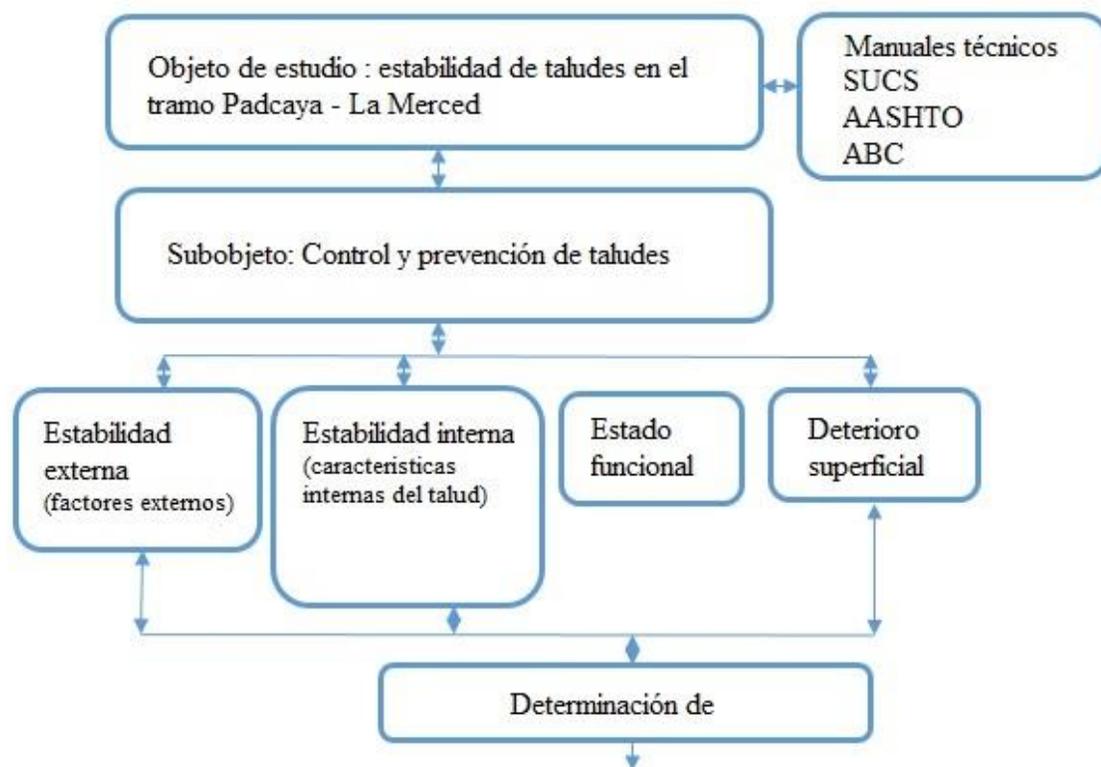
1.8.1. Listado de actividades a realizar

1. Planificar la secuencia de las actividades
2. Elaborar el marco teórico y conceptual sobre aspectos generales de la estabilidad, mantenimiento de taludes, ensayos de laboratorio y levantamientos topográficos.
3. Identificación de los factores que afectan o causas que pueden originar los deterioros en los taludes.
4. Inspección de los taludes de tramo de estudio.
5. Realizar levantamiento topográfico, mediciones geométricas.
6. Inspeccionar obras de drenaje.
7. Ubicar los focos potenciales de riesgo.
8. Extracción de muestras.

9. Programación de actividades en laboratorio.
10. Desarrollar el análisis de los datos obtenidos.
11. Evaluar los resultados obtenidos de acuerdo a manuales técnicos.
12. Resultados.
13. Conclusiones.

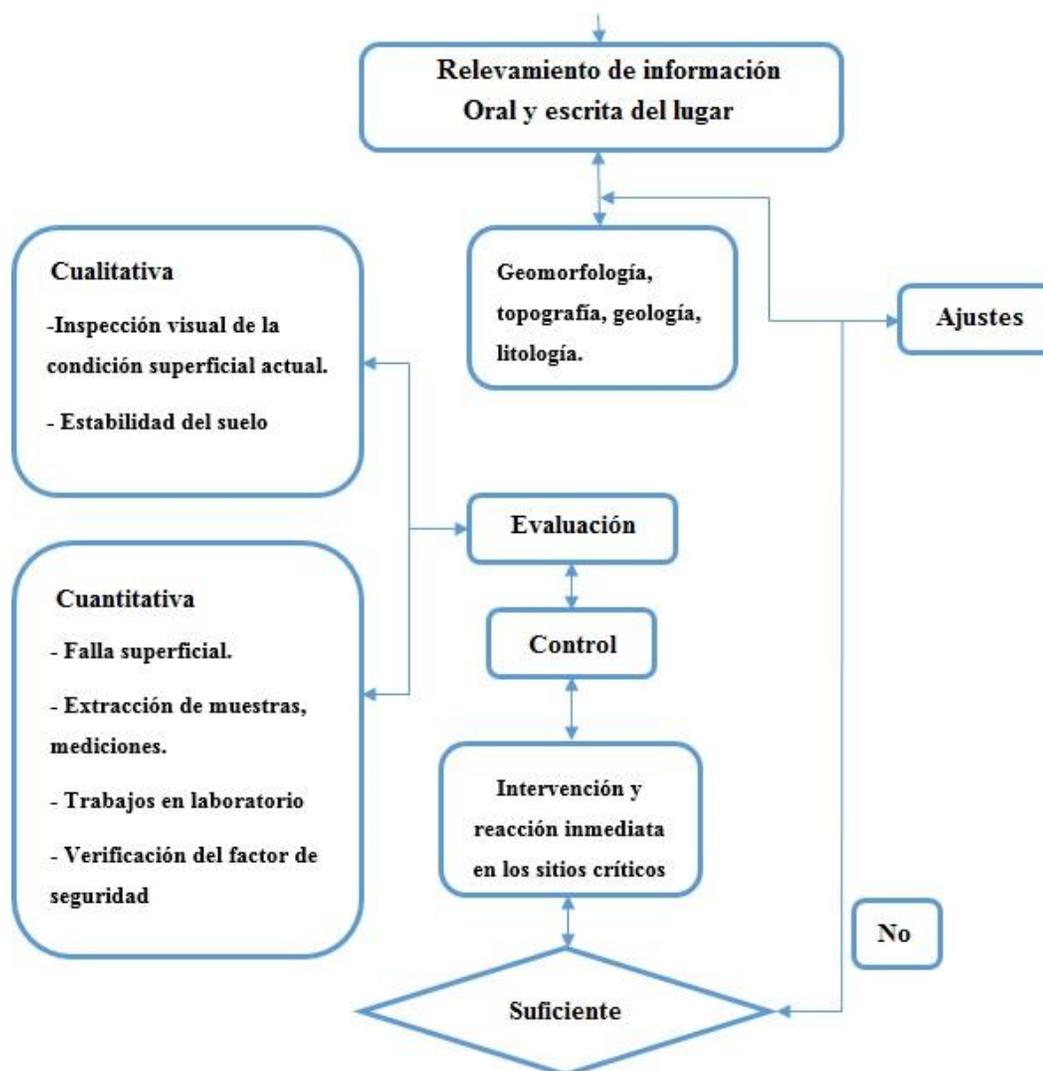
1.8.2. Esquema de actividades en función a procedimiento definido por la perspectiva

FIGURA 1.2. Recopilación de información y planificación de actividades



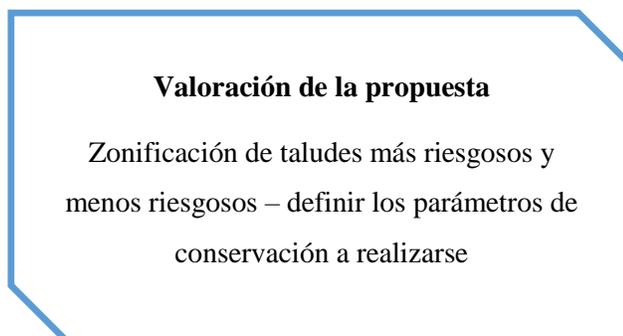
FUENTE: Elaboración propia

FIGURA 1.3. Productos esperados



FUENTE: Elaboración propia

FIGURA 1.4. Resultados esperados



FUENTE: Elaboración propia

1.8.3. Productos esperados en correspondencia con el procedimiento de la perspectiva

Relevamiento información: oral y escrita del lugar: tipo de suelo, geomorfología, topografía, geología, litología.

Evaluación:

Cualitativa: Inspección visual de la condición superficial actual.

Estabilidad del suelo que conforma el talud.

Cuantitativa: Falla superficiales.

Extracción de muestras, mediciones.

Trabajos en laboratorio.

Verificación del factor de seguridad.

Control: Intervención y reacción inmediata en los sitios críticos.

Ajustes: si es que se requieren ajusten o no.

1.9. RESULTADOS ESPERADOS

Valoración de la propuesta.

Zonificación de taludes más riesgosos— definir los parámetros de conservación y mejoramiento a realizarse.

CAPITULO II - MARCO TEÓRICO

2.1. ESTABILIDAD DE TALUDES

2.1.1. Definición de talud

Es toda aquella superficie inclinada con respecto a la horizontal que haya de adoptar permanentemente las masas de suelo, rocas, bien sea seca en forma natural (ladera) o artificial como consecuencia de la intervención humana (talud). La principal función de los taludes es la de garantizar en condiciones óptimas la transitabilidad de las carreteras, para la libre circulación vehicular, lo que implica que, en el talud no debe existir desprendimientos aislados o en bloque.

Taludes naturales o laderas.- Son los que se formaron sin ninguna participación del hombre. Las laderas que han permanecido estables por muchos años tienden a fallar en forma imprevista debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad.

Taludes artificiales.- Son estructuras diseñadas y construidas por el hombre y lo conforman los cortes y terraplenes. (*FUENTE:* Suárez Díaz, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga- Colombia).

2.1.2. Elementos que conforman el talud

En el talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos.

Altura.- Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.

Pie.- Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

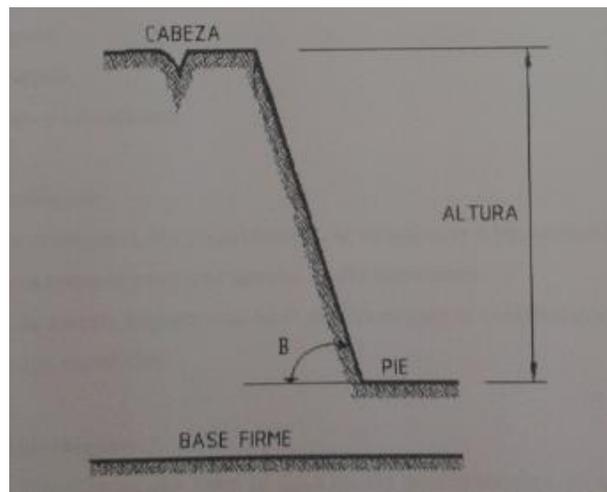
Cabeza o escarpe.- Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

Altura de nivel freático.- Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel del agua medida de la cabeza.

Pendiente.- Es la medida de la inclinación de talud o ladera puede medirse en grados, en porcentaje o en relación $m/1$, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a la unidad vertical.

Base del firme.- Es el estrato con mayor resistencia que el suelo del cuerpo del talud y que no es penetrado por la superficie del deslizamiento. (*FUENTE:* Cujar Chamorro, Germán. estabilidad de taludes. Universidad del Cauca, Instituto de postgrado en Ingeniería Civil, Popayán Colombia.)

FIGURA 2.1. Talud



FUENTE: Cujar Chamorro, Germán. Estabilidad de taludes. Universidad del Cauca, Instituto de postgrado en Ingeniería Civil, Popayán Colombia

2.1.3. Propiedades de los taludes

Cohesión.- La cohesión del suelo se refiere a la capacidad que tienen las partículas del suelo de permanecer unidas como conjunto, como resultado de la trabazón conjunta o las microestructuras existentes en el suelo como ser: la textura, tamaño, composición mineralógica de las partículas y el contenido de agua del suelo.

Para el caso de suelos compuestos de partículas con forma granular, la trabazón entre partículas, origina estructuras granulares simples y la fricción que se origina entre ellas contrarresta el deslizamiento de una respecto a otras.

A este comportamiento se lo identifica como la cohesión para el caso de suelos granulares, donde el suelo presenta resistencia contra su disgregación ocasionada por un agente externo. El grado de cohesión que presentan los suelos granulares, está en función a la textura de las partículas de forma granular.

Las partículas con textura angular logran que el suelo tenga cohesión, mientras que las partículas con textura redondeada no contribuyan a la cohesión del suelo.

La cohesión es la atracción entre partículas de suelo, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. Por lo tanto, la cohesión se mide en kg/cm^2 , Los suelos arcillosos tienen cohesión alta de $0,50 \text{ kg/cm}^2$ a $1,5 \text{ kg/cm}^2$, o más. Los suelos limosos tienen muy poca, y en las arenas es prácticamente nula.

Fricción interna.- Es la resistencia al deslizamiento causado por la fricción que hay entre las superficies de contacto de las partículas y de su densidad. Como los suelos granulares tienen superficies de contacto mayores y sus partículas, especialmente si son angulares, presentan una buena trabazón, tendrán fricciones internas altas. En cambio los suelos finos tendrán bajas.

La fricción interna de un suelo, está definida por el ángulo, cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento, a lo largo de un plano, y la fuerza normal aplicada a dicho plano.

Los valores de este ángulo llamado "ángulo de fricción interna", varían de prácticamente 0° para arcillas plásticas, cuya consistencia próxima a su límite líquido, hasta 45° o más, para gravas y arenas secas, compactas y de partículas angulares. Generalmente, el ángulo f para arenas es alrededor de 30° .

Presión de poros.- Es la presión del agua que llena los espacios vacíos de los sólidos. Ocurre que cuando esa presión llega a cierto valor, el suelo se vuelve inestable, debido a que las partículas pierden cohesión entre sí.

La presión, que actúa en un suelo, es la suma de la presión transmitida a las partículas (esqueleto del suelo) y aquella transmitida a través del agua, que se halla en los poros del suelo, que se denomina presión de poros.

Cuando un suelo está sometido a presiones, solamente el esqueleto del suelo opone resistencia a su deformación. El agua como es incompresible y no tiene resistencia a su deformación. El agua como es incompresible y no tiene resistencia al corte, no se opone a la deformación, es "presión neutra" y la presión intergranular se la denomina "presión efectiva", pues esta última es la presión real que se opone a la deformación y posterior falla de un suelo. (*FUENTE*: Suárez Díaz, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga- Colombia.)

2.1.4. Factores que influyen en la estabilidad de un talud

Los deslizamientos de un talud son principalmente el resultado de la disminución gradual de la resistencia del esfuerzo cortante del suelo y del incremento de las fuerzas gravitacionales y la influencia de muchos factores que determinan la estabilidad, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

Geológicos

- a) Hidrológicos
- b) Topográficos
- c) Vegetación
- d) Sobrecargas

a) Factores geológicos.- Las estructuras geológicas, los plegamientos, la inclinación o buzamiento de las capas tienen influencia sobre el principio general de deslizamiento.

Así como son de mucha importancia en el deslizamiento la constitución mineralógica y espesores de los materiales.

b) Factores hidrológicos.- Se sabe de la importancia que tiene el agua en los deslizamientos, ya que los cuales pueden ocurrir a causa del agua superficial o de escorrentía como también a causa del agua subterránea.

Agua superficial o de escorrentía.- El agua de la lluvia y el agua producidas por el deshielo penetran las grietas de un suelo produciendo presión hidrostática, también la presión de poros aumenta y por consiguiente la resistencia al corte de los suelos disminuye.

Agua subterránea.- El flujo de aguas subterráneas ejerce presión sobre las partículas de suelo formando cavidades dentro del talud afectando a su estabilidad. Los cambios bruscos del nivel de agua provocan presión de poros en el talud y esto conlleva a una disminución de resistencia al esfuerzo cortante.

La infiltración al suelo por las lluvias a través de grietas o fisuras tiende a aumentar flujos subsuperficiales y subterráneos, además aumenta la saturación de materiales.

c) Factores topográficos.- Los cambios en la pendiente de un talud pueden ser causados por la intervención natural o artificial ya sea por erosión o por excavación del pie del talud. El aumento en la pendiente de los taludes produce un cambio en los esfuerzos internos de la masa y las condiciones de equilibrio son alteradas por los incrementos en los esfuerzos cortantes.

La topografía provoca cambios en el clima, dando por resultado un microclima. Cuando la topografía es empinada, el transporte del material meteorizado será en general bastante rápido dejando la roca desnuda y fácilmente alcanzable para los agentes de la meteorización. De la misma manera, esta disminuirá cuando la roca en regiones planas está cubierta por una capa de material ya meteorizado.

d) La Vegetación.- La vegetación, en general, protege al suelo contra la erosión, aísla al material de agentes atmosféricos, evitando contracciones, cambios de humedad y de temperatura, ayudando a la estabilidad del talud.

Las raíces de los árboles contribuyen a secar los taludes absorbiendo parte de las aguas subterráneas.

e) Sobrecarga.- Si sobre la cabeza de un talud o ladera natural se construye un terraplén, edificaciones y otras sobrecargas como la acumulación de materiales por caídos o deslizamientos. (*FUENTE:* Cujar Chamorro, Germán. Estabilidad de taludes. Universidad del Cauca, Instituto de postgrado en Ingeniería Civil, Popayán Colombia).

2.2. REMOCIÓN EN MASA

Por remoción en masa se entiende el desplazamiento del material pendiente hacia abajo por acción de la gravedad, que actúa contra la fuerza del suelo.

Los procesos de remoción en masa rápidos, son ampliamente conocidos por sus efectos espectaculares y a veces desastrosos; sin embargo, los procesos en masa lentos son igualmente importantes, pues se observa la cantidad de material transportado, ellos exceden seguramente al primer grupo, son ellos los principales responsables por el transporte de material en los interfluvios, al lado de la erosión por escorrentía difusa.

Los principales factores que intervienen en la remoción en masa son:

Material.- La remoción en masa ocurre en toda clase de material. Podemos distinguir en material rocoso más o menos desintegrado hasta material suelto y fino. Es evidente que cierta clase de material es más susceptible a remoción en masa que otros. Es este aspecto son importantes las características físicas del material, como la fricción interna y la cohesión, que constituyen la fuerza del suelo.

Pendiente.- Remoción en masa ocurre en cualquier pendiente. Conocemos importantes movimientos en masa de pendientes hasta de 1° (Goosen, 1972), sin embargo, se concentrara en pendientes relativamente fuertes como simple consecuencia de su mecanismo; la gravedad. En estas pendientes el vector del peso del material paralelo a la pendiente será más grande que en pendientes suaves.

Condiciones del suelo.- Cuando consideramos a la gravedad como un principal mecanismo de remoción en masa, el agua es en varios casos un agente indispensable. Al llenarse los poros con agua la cohesión se reduce por efecto de la tensión capilar, mientras que la fricción disminuye como debido al efecto flotante (Ley de Arquímedes) que trae como resultado la disminución de la presión ínter granular. Además el agua hace aumentar el peso del material que resulta en un vector más grande a lo largo de la pendiente. El agua funciona a menudo como lubricante en el plano de deslizamiento. La humedad del suelo influye en la susceptibilidad a un deslizamiento y en ciertos casos el suelo debe estar más o menos saturado antes de

que ocurra la remoción en masa. (*FUENTE*: Suárez Díaz, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga- Colombia).

2.2.1. Equilibrio límite y factor de seguridad

El factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1927) presento el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material del talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$F. S. = \frac{\text{Resistencia al corte}}{\text{Esfuerzo al cortante}} \quad (2-1)$$

La mayoría de los sistemas de análisis asumen un criterio de "equilibrio límite" donde el criterio de falla de Coulomb es satisfecho a lo largo de una determinada superficie.

Se estudia un cuerpo libre en equilibrio partiendo de las fuerzas actuantes y de las fuerzas resistentes que se requieren para producir el equilibrio. Calculada esta fuerza resistente, se compara con la disponible del suelo o roca y se obtiene una indicación del Factor de Seguridad.

Un movimiento ocurre cuando la resistencia al esfuerzo cortante del suelo es excedida por los esfuerzos cortantes que se producen en una superficie relativamente continua. Por lo tanto, las fallas localizadas en un solo punto de la masa de tierra no indican necesariamente que la masa sea inestable. La inestabilidad se produce como resultado de la falla de esfuerzo de corte en una serie de puntos que definen una superficie, a lo largo de la cual se produce el movimiento.

Cualquier cosa que produzca una disminución de la resistencia del suelo o un aumento de los esfuerzos en el suelo, contribuye a la inestabilidad y deben tomarse en consideración, tanto en el proyecto de estructuras de tierra como en la corrección de fallas.

TABLA 2.1. Métodos de análisis de estabilidad de taludes

Método	Superficie de falla	Equilibrio	Características
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	De fuerzas	Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface el equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como para las dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy utilizado por su procedimiento simple.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre las dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobredeterminada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma de la superficie de falla	De fuerzas	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza cortante entre dovelas. La solución es sobredeterminada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección F_0 para tener en cuenta este

			posible error. Los factores de seguridad son bajos.
Método	Superficie de falla	Equilibrio	Características
Spencer (1970)	Cualquier forma de la superficie de falla	De momentos y fuerzas	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma de la superficie de falla	De momentos y fuerzas	Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método de Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.

FUENTE: Suárez Díaz, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga- Colombia

2.3. ANÁLISIS DE RIESGO EN TALUDES

2.3.1. Factores de riesgo

La Unión Internacional de Ciencias Geológicas IUGS (1997) determinó para el análisis cuantitativo del deslizamiento hay cuatro factores:

- a) Susceptibilidad
- b) Amenaza
- c) Vulnerabilidad
- d) Riesgo

a) Susceptibilidad del riesgo en taludes.- La susceptibilidad, generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. La probabilidad de ocurrencia de un factor detonante como una lluvia o un sismo no se considera en un análisis de susceptibilidad.

Susceptibilidad por lluvias.- Por tal motivo, durante los diseños y la construcción de las vías, se pondrá especial cuidado en evitar la desestabilización de los taludes minimizando en lo posible los cortes y estabilizando rápidamente los que presenten potencial riesgo de erosión y estabilidad.

La erosión es el fenómeno de separación, transporte y depósito de los materiales de los suelos, siendo producido por el clima (aguas y vientos) y la fuerza de gravedad puede contribuir o activar fenómenos de movimiento remoción en masa o fallas de taludes.

TABLA 2.2. Efectos de la lluvia en la erosión de terreno

Acciones directas o indirectamente erosivas de la lluvia	Mecanismos de acción	Efectos erosivos directos e indirectos	Parámetros relacionados con la lluvia	Parámetros relacionados con el tipo de suelo
Impacto de las gotas	Disgregación	Erosión por escurrimiento laminar. Erosión por escurrimiento concentrado.	Intensidad de las lluvias (hasta un límite). Velocidad del viento durante el aguacero.	Orientación del talud respecto a los vientos
Escorrimento superficial	Disgregación de transporte	Erosión diferencial por diferentes resistencias al fenómeno, en las distintas capas de terreno.	Intensidad de la lluvia y su duración.	Inclinación del talud Áreas en la superficie expuesta del talud. Velocidad del agua. Concentración de arrastre de sólido.
Infiltraciones	Elevación del nivel freático	Deslizamiento de tierras. Erosión interna.	Duración de la lluvia.	Inclinación del talud Porosidad. Permeabilidad.
Humedecimiento y secado	Expansión y concentración	Fisuramiento. Pérdida de cohesión. Flujos estacionales.	Alternancia de estaciones secas y lluviosas. Intensidad de la acción solar.	Condiciones para la infiltración y para la evaporación.

FUENTE: Suárez Díaz, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga- Colombia

Para la valoración de la susceptibilidad por lluvias se tiene la tabla propuesta por el Comité Técnico Asiático en Geotecnología para riesgos naturales en ISSMFE, 1997.

TABLA 2.3. Valoración de factores para evaluación de susceptibilidad a deslizamiento debida a lluvia

Factor	Característica	Peso
Altura de Talud	$\geq 10\text{m}$	7
	$< 10\text{m}$	3
Inclinación de Talud	$\geq 45^\circ$	1
	$< 45^\circ$	0
Salientes topográficas	Presentes	3
	Ausentes	0
Espesor de duelo superficial	$\geq 0.5\text{m}$	1
	$< 0.5\text{m}$	0
Nacimientos de Agua	Presentes	1
	Ausentes	0
Fallas alrededor del área	Presentes	3
	Ausentes	0

FUENTE: Suárez Díaz, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga-Colombia

Susceptibilidad por factores geológicos y geotécnicos.- Para la valoración de la susceptibilidad por factores geológicos y geotécnicos se tiene la tabla. La metodología recomendada es la de asignar calificaciones o valores a cada parámetro geológico o geotécnico, de acuerdo a su grado de influencia sobre la susceptibilidad y las condiciones reales del material.

TABLA 2.4. Valores relativos para la susceptibilidad a deslizamiento debido a factores geológicos y geotécnicos.

Factor	Calificación	Ejemplo
Formación geológica	0 a 5 dependiendo de la Calidad de la formación	Un coluvión matriz soportado calificación=5 Una arcillolita susceptible calificación=4 Un granito calificación=3 Una arenisca competente calificación=0
Estructura	0 a 3 dependiendo en el rumbo buzamiento y resistencia al cortante de las discontinuidades	Estructura favorable a los deslizamientos calificación=3 Estructura algo favorable calificación=2 Estructura no favorable calificación=0
Grado de meteorización	0 a 3	Muy meteorizado calificación=3 Roca sana calificación=0
Fracturación-erosión	0 a 3	Muy fracturada calificación=3 Sin fracturas importantes calificación=0
Nivel freático	0 a 5	Superficial calificación=5 No hay nivel freático calificación=0
Susceptibilidad	Suma de todas las calificaciones	

FUENTE: Suárez Díaz, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga-Colombia.

Grado de susceptibilidad.- Para la valoración del grado de susceptibilidad se tiene la tabla propuestas por Kanungo, 1992, en la misma presenta criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos.

TABLA 2.5. Valores y criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos

Valor total de susceptibilidad

Clase	Valor	Descripción de la susceptibilidad
1	0 - 5	Muy baja
2	6 - 15	Baja
3	16 - 24	Moderada
4	25 - 33	Alta
5	> 34	Muy alta

Grado de susceptibilidad	Criterio
Muy alta	Laderas con zonas de falla, masas de suelo altamente meteorizadas y saturadas, y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe alta posibilidad de que ocurran.
Alta	Laderas que tienen zonas de falla, meteorización alta o moderada y las discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.
Moderada	Laderas con zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados donde no han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.
Baja	Ladera que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados no saturados con discontinuidades favorables, donde no existen indicios que permiten predecir deslizamientos.
Muy baja	Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que pueden ocurrir deslizamientos.

FUENTE: Suárez Díaz, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga-Colombia

b) Amenazas de riesgo.- Amenaza natural es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor, en un área específica dentro de un determinado periodo de tiempo.

Amenaza por factores geológicos.- Entre los aspectos más importantes se tiene en primera instancia, la clasificación de las rocas, que pueden ser las que constituyen los taludes de las carreteras.

Según su origen se dividen en tres grupos:

Ígneas.- Son las rocas formadas por consolidación del magma, sea debajo de la corteza terrestre o en su superficie.

Metamórficas.- Son rocas formadas a partir de rocas sedimentarias o ígneas que han sufrido procesos de transformación de un tipo de roca a otro. La transformación puede afectar a la textura, a la composición mineralógica o a ambas.

Sedimentarias.- Son aquellas que se han formado en la superficie de la tierra o en los fondos del agua y que resultan de la acción de los agentes de erosión y transporte o de actividad de deposición de seres vivientes.

Sedimentos.- Son el producto de la meteorización – erosión y transporte. Todas las rocas que afloran superficialmente (puede ser una roca magmática o metamórfica o sedimentaria), sufren la acción de las fuerzas atmosféricas como temperatura, viento, flujo de agua, oxidación. De la destrucción de una roca sólida, más el transporte y la deposición (sedimentación) de estas partículas se forma un sedimento. Ej. Rocas blandas como arena y grava.

Estos sedimentos han tenido que sufrir los procesos de diagénesis que es el conjunto de cambios físicos que conducen a la consolidación y litificación de un sedimento con la intervención de tres factores determinantes: tiempo, sobrecarga (de otros sedimentos) y la cementación de partículas de arcilla, arena, grava o cantos por precipitación de sustancias disueltas en el agua que circula por sus poros.

Los sedimentos compactados y cementados forman rocas sedimentarias que, por efecto del calor y la presión, se transforman en metamórficas; los materiales fundidos y solidificados forman las rocas.

Clasificación de las rocas sedimentarias por el tamaño de sus clastos

Pselfíticas.- Cuando sus clastos son mayores a 2mm. Corresponde a gravas y bloques

Psamíticas.- Son aquellas cuyos componentes tienen dimensiones comprendidas entre 4mm y 1/16 mm. Dentro de este rango se encuentran las arenas que dan origen a las areniscas.

Pelíticas.- Las dimensiones de los individuos son menores a 1/16 mm y corresponden a las fracciones limo y arcilla.

FIGURA 2.2. Clasificación según Wentworth y DIN (por el tamaño de clastos)

Clasificación de rocas sedimentarias por el tamaño de los clastos

Clasificación según WENTWORTH				Clasificación según DIN 4022			
Grano diámetro (mm)	Subdivisión		Denominación (ROCA)	Clasificación según DIN 4022	Grano diámetro (mm)		
0.0002 mm	Pelítica	coloide		Arcilla	—		
0.002 mm		Arcilla	fina		Limo	fina	0.002 mm
0.02 mm			gruesa			media	0.0063 mm
0.2 mm	Psamítica	Arena	fina	gruesa	gruesa	0.02 mm	
2 mm			gruesa	fina	media	0.063 mm	
2 cm		Psefítica	Grava	fina	gruesa	fina	0.2 mm
20 cm	gruesa			gruesa	media	0.63 mm	
			bloques		Piedras	gruesa	2 mm
						6.3 mm	
						20 mm	
						63 mm	

FUENTE: Baldellón Álvarez, Ronald. Geología general. Universidad Mayor de San Simón Cochabamba-

Bolivia

Descripción de rocas sedimentarias

Conglomerados.- El conglomerado es grava a cantos rodados cementados. Los individuos o fragmentos redondeados pueden ser cualquier tipo de roca y de cualquier tamaño. Los conglomerados incluyen generalmente arenas y otras fracciones.

Brecha.- Son semejante a los conglomerados, pero con la diferencia fundamental de que los fragmentos en vez de ser redondeadas son angulosas.

Areniscas.- Las areniscas son una forma de arena endurecida por procesos geológicos. Son arenas cuyos granos están cementados por minerales, puede ser de sílice, carbonatos, hidróxidos de hierro. El tamaño de los granos generalmente está dentro del rango 2mm y 0.074 mm. Las areniscas aunque tienden a ser resistentes, en ocasiones son relativamente débiles cuando su cementación ha sido pobre. El comportamiento de la arenisca meteorizada depende de la clase de cemento.

Lutita.- Es una roca de composición esencialmente arcillosa y una estructura típica: la fisilidad o laminaridad por lo que su característica es la de separarse en láminas o escamas. Las lutitas pueden ser arcillosas, limosas, arenosas o calcáreas de acuerdo a los tamaños y composición de las partículas. En ocasiones tienen una presencia de roca cementada y en otras el de un suelo con capas relativamente sueltas. Las arcilloitas son las lutitas con alto contenido de arcilla, lo cual las hace muy fisiles y susceptibles a deslizamiento. Contiene también a veces las fracciones limo y arena en proporciones minoritarias. Son susceptibles de desintegración bajo la acción del intemperismo pasando a lodos por la acción alternada de procesos de desecación y saturación. Es una roca muy abundante en nuestro país.

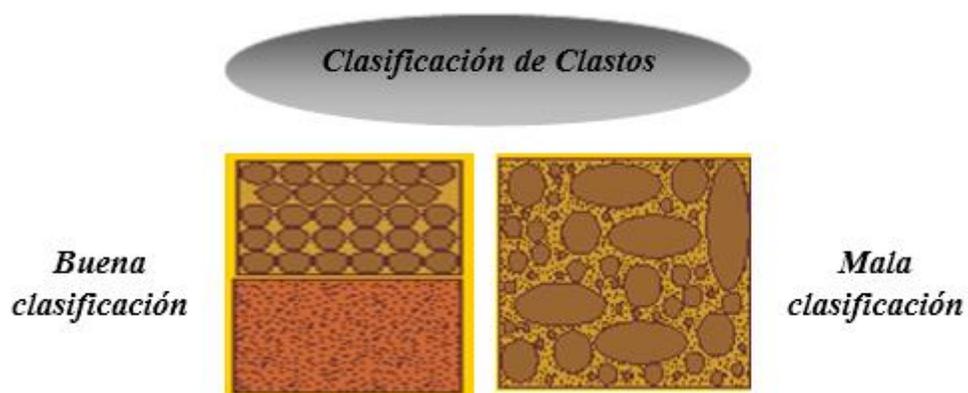
Margas.- Es una roca constituida por arcilla y carbonato de calcio en proporciones aproximadamente iguales. Es también muy susceptible a la meteorización.

Caliza.- Compuesta básicamente de carbonato de calcio con impurezas que pueden ser: arcilla, limo y aun arena.

Dolomita.- Es una roca básicamente constituida de mineral llamado dolomita que es un carbonato doble de Ca y Mg. Es muy similar a la calcita (CaCO_3) y para distinguir a veces se hace necesario recurrir a análisis químicos.

Figura 2.3. Pueden ser: de buena clasificación cuando en una roca los clastos son un tamaño único y de mala clasificación cuando contiene todos los tamaños de clastos. La clasificación es un producto de las fuerzas del transporte; fuerzas de energía poco variable producen una buena clasificación. (*FUENTE:* Baldellón Álvarez, Ronald. Geología General. Universidad Mayor de San Simón Cochabamba-Bolivia).

FIGURA 2.3. Clasificación de clastos



FUENTE: Baldellón Álvarez, Ronald. Geología General. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba-Bolivia

Cuantificación de amenazas debido a factores geológicos

Para la valoración de la amenaza a deslizamiento se tiene la tabla propuesta por Amabalagan, 1992.

TABLA 2.6. Peso de los diferentes factores a tener en cuenta en la evaluación de amenaza a deslizamiento debida a factores geológicos

Factores geológicos				
Factores	Descripción	Categoría	Peso	Observaciones
Litología	Tipo de material	Tipo II		
		Cuarcita y Caliza	0,2	Muy meteorizada (x4)
		Granito y Gaugo	0,3	Algo meteorizada (x 3)
		Neiss	0,4	Poco meteorizada (x 2)
		Tipo II		Muy meteorizada (x1.5)
		Areniscas	1,0	Algo meteorizada (x1.25)
		Areniscas con algo de lutitas	1,3	Poco meteorizada (x1.1)
		Tipo III		
		Pizarras y Filita	1,2	
		Esquisto	1,3	
		Lutitas no arcillosas	1,8	
		Lutitas, esquistos o filitas muy meteorizadas	2,0	
		Materiales aluviales antiguos muy bien consolidados	0,8	
		Suelos arcillosos	1,0	
Suelos arenosos, blandos	1,4			
Coluviones antiguos	1,2			
Coluviones jóvenes	2,0			

Continúa
→

Factores geológicos				
Factores	Descripción	Categoría	Peso	Observaciones
Estructura	Relación de paralelismo entre el talud y las discontinuidades	Más de 30°	0,20	Se mide el ángulo que forman la dirección del talud y las discontinuidades más representativas.
		21° a 30°	0,25	
		11° a 20°	0,30	
		6° a 10°	0,40	
		Menos de 5°	0,50	
	Relación entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud	Más de 10°	0,30	Si el del buzamiento es mayor que el del talud el ángulo es positivo y si es menor que el del talud el ángulo es negativo
		0° a 10°	0,50	
		0°	0,70	
		0° a -10°	0,80	
		Más de -10°	1,00	
	Buzamiento de la discontinuidad	Menos de 15°	0,20	
		16° a 25°	0,25	
		26° a 35°	0,30	
		36° a 45°	0,40	
		Más de 45°	0,50	
Espesor de la capa del suelo	Menos de 5 metros	0,65		
	6 a 10 metros	0,85		
	11 a 15 metros	1,30		
	16 a 20 metros	2,00		
	Más de 20 metros	1,00		

FUENTE: Suárez Díaz, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga-Colombia

Amenazas por factores topográficos y ambientales

Para la valoración de la amenaza a deslizamiento se tiene la tabla propuesta por Ambalagan, 1992.

TABLA 2.7. Peso de los diferentes factores a tener en cuenta en la evaluación de la amenaza a deslizamientos debida a factores topográficos y ambientales

Factores topográficos y ambientales		
Factor	Categoría	Peso
Morfometría - pendiente de los taludes	Más de 45°	2,0
	36° a 45°	1,7
	26° a 35°	1,2
	36° a 25°	0,8
	Menos de 15°	0,5
Relieve relativo	Menos de 100m	0,3
Diferencia de altura entre la divisoria de aguas y el valle	101 a 300m	0,6
	Más de 300m	1,0
Uso de la tierra	Área urbana	2,0
	Cultivos anuales	2,0
	vegetación intensa	0,8
	Vegetación moderada	1,2
	Vegetación escasa	1,5
	Terrenos áridos	2,0

Continúa
→

Factores topográficos y ambientales		
Factor	Categoría	Peso
Aguas subterráneas	Inundable	1,0
	Pantanosos	0,8
	Muy húmedo	0,5
	Húmedo	0,2
	Seco	0,0
Sumatoria o amenaza total		
Amenaza total	Descripción	Suma de los pesos
I	Amenaza muy baja	3,5
II	Amenaza baja	3,5 a 5,0
II	Amenaza moderada	5,1 a 6,0
IV	Amenaza alta	6,1 a 7,5
V	Amenaza muy alta	7,5

FUENTE: Suárez Díaz, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramaga-Colombia.

c) Vulnerabilidad.- La vulnerabilidad es el grado de pérdida de un determinado fenómeno o grupo de elementos en riesgo, con resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud determinada.

El análisis de vulnerabilidad, requiere de un conocimiento detallado de la densidad de población, infraestructura, actividad económica y los efectos de un determinado fenómeno sobre estos elementos en riesgo.

La valoración de la vulnerabilidad puede definirse como el nivel potencial del daño o grado de pérdida de un determinado elemento expresado en una escala de 0 a 1.

Finlay (1997) presenta un ejemplo de un enfoque directo donde los valores de vulnerabilidad son asignados directamente por referencia a los datos históricos, pero sin consideración de los diversos componentes que afectan la vulnerabilidad. Se asignan valores de 0 a 1 de acuerdo a la experiencia histórica que se tiene en el manejo de una determinada amenaza.

Para la valoración de la vulnerabilidad se tiene la tabla propuesta por Hong Kong, Finlay 1997.

TABLA 2.8. Valores de vulnerabilidad recomendados

Vulnerabilidad de una persona en un área abierta			
Caso	Rango de valores históricos	Valor recomendado	Comentarios
1.- Es golpeado por un caído de roca	0.1 - 0.7	0.5 ⁰	Puede ser herido, pero rara vez causa la muerte
2.- Es sepultado por un flujo de detritos	0.8 - 1.0	1.0	Muerte por asfixia
3.- No es sepultado	0.1 - 0.5	0.1	Alta probabilidad de supervivencia
Nota: (1) La proximidad de la persona debe considerarse en más detalle			
Vulnerabilidad de una persona en un vehículo			
Caso	Rango de valores históricos	Valor recomendado	Comentarios
1.- Si el vehículo es sepultado o destruido	0.9 - 1.0	1.0	La muerte es casi segura

Continúa
→

Caso	Rango de valores históricos	Valor recomendado	Comentarios
2.- Si el vehículo es dañado solamente	0,0 – 0,3	0,3	Alta probabilidad de supervivencia
Vulnerabilidad de una persona en un edificio			
Caso	Rango de valores históricos	Valor recomendado	Comentarios
1.- Si el edificio colapsa	0,9 – 1,0	1,0	La muerte es casi segura
2.- Si el edificio es inundado con residuos del deslizamiento y la persona sepultada	0,8 – 1,0	1,0	La muerte es muy probable
3.- Si el edificio es inundado con residuos del deslizamiento y la persona no es sepultada	0,0 – 0,5	0,2	Alta probabilidad de supervivencia
4.- Si los residuos golpean al edificio solamente	0,0 – 0,5	0,5	Virtualmente no hay peligro ⁰
Nota: (1) La proximidad de la persona a la parte del edificio afectada por el deslizamiento.			

FUENTE: Suárez Díaz, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga-Colombia

d) Riesgo y su cuantificación.- Riesgo es el número esperado de vidas humanas perdidas, personas heridas, daño a la propiedad, y pérdidas económicas relacionadas con la ocurrencia de un determinado fenómeno.

Para la implementación de medidas de prevención y control es conveniente identificar los niveles de riesgo. El análisis de riesgo se fundamenta en la observación y registro de los indicadores, tanto naturales como los producidos por acción antrópica, analizados desde el punto de vista de las consecuencias resultantes en el caso de formación o progreso de procesos de deslizamiento.

Análisis cualitativo del riesgo.- Esta es la forma más simple de realizar un estudio de riesgo a deslizamientos, el cual incluye el adquirir el conocimiento de las amenazas, los elementos en riesgo y sus vulnerabilidades, pro expresando los resultados en forma cualitativa. Los diversos atributos pueden clasificarse en tal forma que se expresa en el riesgo en una forma prácticamente verbal.

Análisis cuantitativo del riesgo.- El análisis cuantitativo del riesgo incluye las siguientes actividades.

1. Análisis de la amenazas.- Se determina la distribución probable de los deslizamientos en términos de número y características de los taludes y deslizamientos para un proyecto particular.

2. 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 sistema de alarma, etc.

3. Análisis de vulnerabilidad.- El objetivo es medir el grado de daño o probabilidad de pérdida de vidas, debido a la interacción del elemento en riesgo en cuanto al deslizamiento.

4. Análisis de riesgo.- El objetivo es determinar la distribución probable de las consecuencias del deslizamiento. Un estudio completo de riesgo debe definir el número de personas amenazadas, así como las propiedades. Bergren (1992) propone una tabla para evaluar el valor total del riesgo de acuerdo a la posición de las personas o propiedades, con relación al deslizamiento en la forma indicada en la tabla.

Para evaluar el valor de riesgo con relación a la persona se tiene la tabla propuesta por Bergren, 1992.

TABLA 2.9. Análisis del riesgo con relación a las personas

Población afectada	A Número de personas	B Factor de presencia	Población Amenazada=AxB
Residentes			
Personas que viven permanentemente		1,000	
Personas que viven los fines de semana (cabañas)		0,300	
Personas que permanecen en hoteles (Número de camas)		0,500	
Pacientes en hospitales (N° de camas)		1,000	
Población afectada	A Número de personas	B Factor de presencia	Población amenazada=AxB
Pacientes en asilos (N° de camas)		1,000	
Número de empleados de oficinas o fábricas, alumnos y niños en colegio		0,350	
Población afectada	A Número de personas	B Factor de presencia	Población amenazada=AxB
Numero promedio de clientes de almacenes y centros comerciales		0,008	

Continúa
→

Otros visitantes ocasionales		0,008	
Personas en automóviles y auto buses			
Más de 5000 vehículos promedio día		0,010	
500 a 5000 vehículos por día		0,005	
Menos de 500 vehículos por día		0,001	

FUENTE: Suárez Díaz, Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga-Colombia

2.4. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE TALUDES EN CARRETERAS

La ejecución de la conservación, mantenimiento y control de las carreteras requiere de planificación, de organización y de personas con conocimientos y destrezas técnicas para realizar los trabajos con eficiencia, con buena productividad y con la debida seguridad. Estas actividades son diversas y dependen, entre otras, del tipo y características de la carretera, de la topografía y vegetación del terreno, de las condiciones climáticas de la zona, de las exigencias de los usuarios y de los recursos disponibles. (*FUENTE:* Manual ambienta vial con microempresas. República de Bolivia)

2.4.1. Elementos que requieren conservación

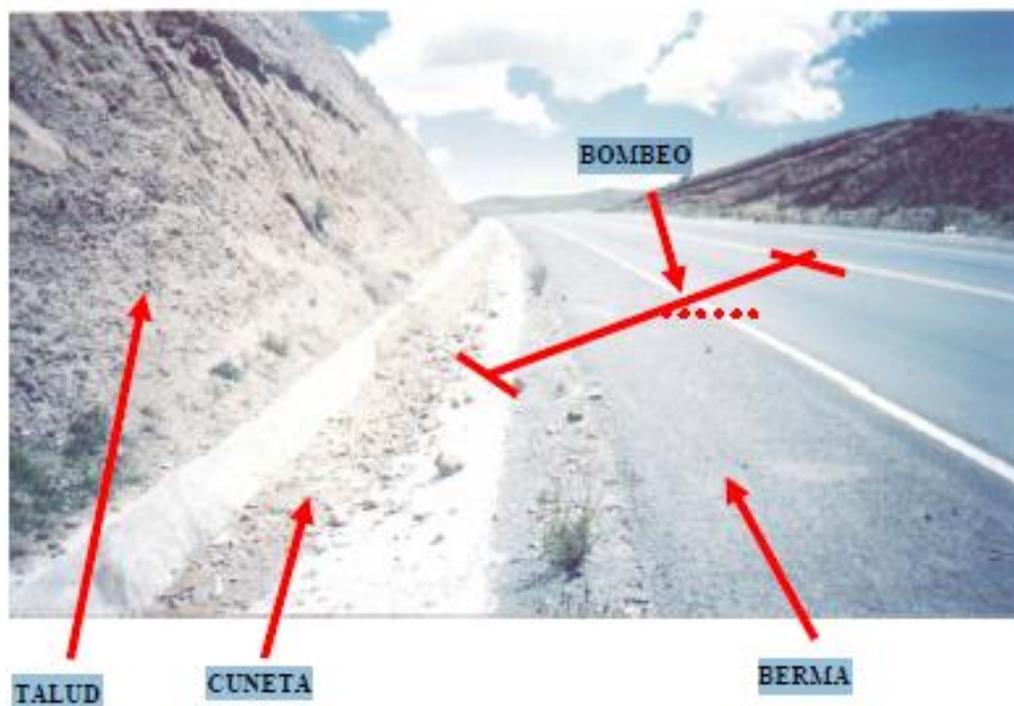
Conservación del sistema y de las obras de drenaje el sistema y las obras de drenaje.-

El sistema y las obras de drenaje tienen como objetivo recoger y conducir rápidamente el agua de lluvia y, también, facilitar la movilización del agua del subsuelo. Estas funciones lo convierten en el sistema más importante, pues la presencia de agua deteriora los taludes y la vía, produciendo socavación en alcantarillas y, además, puede erosionar el terreno. Sobre este tema, se debe siempre recordar que un buen sistema de drenaje funcionando adecuadamente puede prolongar la vida de los elementos 4 o 5 veces más.

Cunetas.- Las cunetas son zanjas laterales paralelas al eje de la vía construidas, generalmente, entre el borde de la berma y el pie del talud. El objetivo de esta obra de

drenaje es la de recibir y evacuar rápidamente el agua superficial proveniente de la plataforma de la carretera y de los taludes.

FIGURA 2.4. Elementos que requieren conservación.



FUENTE: Manuales Técnicos para el diseño de Carreteras en Bolivia. Manual de hidrología y drenaje V2-ABC.

Zanjas de coronación.- Las zanjas de coronación son zanjas excavadas en el terreno natural, en la parte superior de los taludes de los cortes, con el fin de interceptar y encauzar el agua superficial que escurre ladera abajo desde mayores alturas, con la función de evitar la erosión de los taludes, el congestionamiento de las cunetas y, por supuesto, la invasión de la plataforma por el agua y el material de arrastre.

FIGURA 2.5. Zanjas de coronación



FUENTE: Manuales Técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia. Manual de hidrología y drenaje V2-ABC

Alcantarillas.- Las alcantarillas son ductos que permiten y facilitan el paso del agua proveniente de cauces, canales o cunetas, de un lado a otro de la vía. Generalmente son construidas en piedra, concreto o fabricadas en metal. Existen algunas que son de tubo y otras de cajón.

FIGURA 2.6. Limpieza de alcantarillas antes y después.



FUENTE: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia. Manual de hidrología y drenaje V2-ABC.

Otras obras de drenaje superficial.- Para el drenaje superficial, además, se utilizan, *bordillos* son pequeñas estructuras que se colocan en el borde exterior de las bermas;

también, *los lavaderos* que son canales que bajan transversalmente por los taludes de los terraplenes y que reciben el agua de bordillos o cunetas para llevarla fuera de la vía. Otra obra, denominada *disipador de energía*, se utiliza cuando es necesario encauzar agua superficial en grandes pendientes y recorridos largos. Un ejemplo, de otro buen disipador de energía es la vegetación que cubre taludes de cortes y terraplenes y, se constituye en una efectiva protección contra la acción erosiva del agua.

Filtros.- Los filtros son obras de subdrenaje cuya principal función es facilitar la evacuación del agua desde el interior de la plataforma de la vía o de la estructura del pavimento o desde la masa de suelo que conforma los taludes o el terreno natural.

2.4.2. El derecho de vía

El derecho de vía es la franja de terreno en la cual se encuentra la carretera, sus obras complementarias y la zona adyacente. En Bolivia, el derecho de vía establecido legalmente es de 50 metros medidos horizontalmente y perpendicularmente a partir del eje de la carretera y hacia cada lado

La zona contigua a la plataforma de la carretera está, por lo general, constituida por terreno natural, incluyendo los taludes de los cortes y de los terraplenes. La conservación de esta zona contribuye a la seguridad de los usuarios y a la estabilidad de la vía. Normalmente, la conservación es una actividad de rutina, aunque se requieren algunas acciones periódicas ocasionalmente.

Las principales actividades de conservación rutinaria que se deben ejecutar empleando mano de obra, son las siguientes:

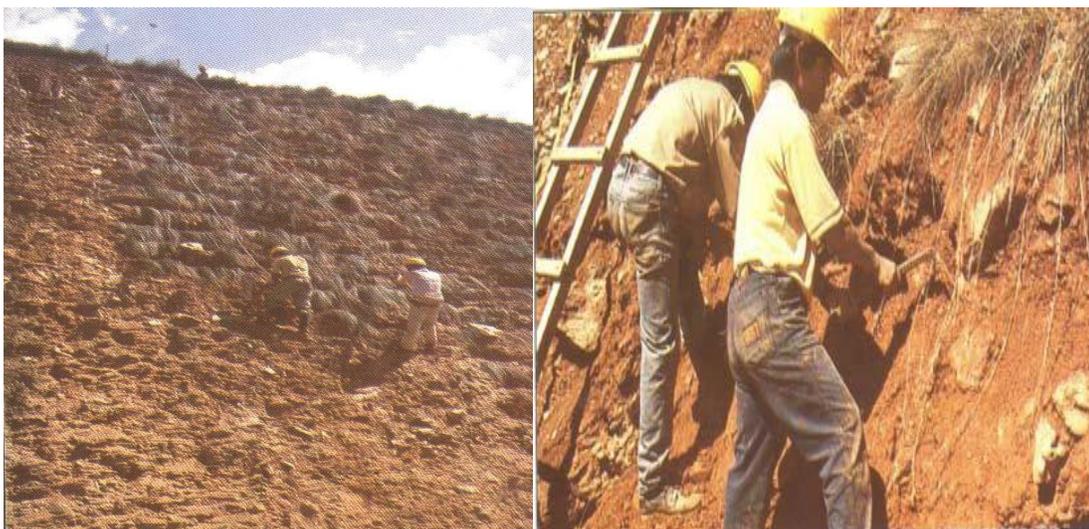
- La limpieza de toda la zona, la cual comprende el retiro de las basuras, de escombros y de toda clase de material extraño.
- La protección de los taludes que incluye principalmente el control de la erosión y la remoción de los derrumbes.

Siembra de vegetación para la estabilización de taludes.- La falta de vegetación en los taludes genera deslizamientos de masa de tierras un peligro para los usuarios y las vías, asimismo los cortes altos y los materiales inestables.

Es por este motivo, que los taludes que presenten signos de erosión y/o deslizamientos de materiales, deberán ser estabilizados mediante técnicas de revegetación, utilizando especies nativas de la zona.

Limpieza de taludes.- Esta actividad consiste en remover toda piedra o roca ubicada en la parte alta del talud, que se encuentre en situación inestable y así evitar la caída de estos elementos hacia las cunetas o calzadas obstaculizando el normal flujo vehicular.

FIGURA 2.7. Limpieza de taludes.



FUENTE: Provia Bolivia manual técnico para la conservación vial con microempresas La Paz, Febrero de 2002.

2.4.3. Remoción y limpieza de derrumbes

Esta actividad consiste en remover en forma inmediata los pequeños derrumbes, del orden de 50 m³, que caigan sobre la vía y ejecutar su posterior limpieza.

Indicador de comprobación

Plataforma limpia

Libre el flujo del tráfico vehicular.

2.4.4. Tipos de obras de protección

Las obras para estabilizar taludes se pueden dividir en dos grandes grupos, por un lado los métodos de protección, y por otro los de estabilización o refuerzo.

La principal diferencia entre ambos se centra en que los primeros tratan de evitar que se desarrollen posibles fenómenos de alteración en la zona del talud, lo que puede dar lugar a inestabilidades; mientras que los métodos de refuerzo o estabilización se caracterizan por actuar de forma activa en el caso que se produzcan dichos fenómenos.

En la actualidad existen variados métodos para estabilizar taludes, estos métodos dependen generalmente del tipo de terreno.

Tan pronto se comprueba que hay un riesgo de inestabilidad de un determinado talud, se debe buscar la mejor solución de protección y considerar aspectos de costo, naturaleza de las obras afectadas (tanto en cresta como en el pie del talud), tiempo estimado en que se puede presentar el problema, disponibilidad de materiales, etc. (*FUENTE*: Manual para la capacitación de microempresas de conservación vial. Servicio Nacional de Caminos.)

Entre los principales procedimientos para proteger y reforzar taludes contra la erosión superficial están:

Malla de acero de alta resistencia

Vegetación

Geotextiles

Obras de drenaje superficial

Entre los principales procedimientos para estabilizar los taludes contra el desprendimiento superficial están:

Remodelado geométrico de los taludes.- Este método de estabilización se refiere al cambio de la forma del talud dando una mayor inclinación, es decir realizando una descarga de los taludes, esto se puede llevar a cabo mediante

Desencabezamiento del talud.- Al quitar el peso de la parte superior del talud.

Tendido o perfilado de taludes.- Tender los taludes (darles mayor inclinación).

Banqueo de los taludes.- Modificar la morfología de un talud de gran altura en varios de alturas más pequeñas, por este motivo las bermas deben ser suficientemente anchas para evitar la caída de bloques de unos niveles a otros.

Muros de Gaviones.- Es una estructura paralelepípedica elaborada con mallas de alambre galvanizado de triple torsión y rellenas con piedras.

Mallas y redes metálicas.- La fijación de mallas y redes metálicas a la superficie de los taludes inmoviliza o amortigua el deslizamiento de materiales procedentes de la descomposición del sustrato y contribuye a la consolidación definitiva de dicho talud, favoreciendo a veces la colonización vegetal. *(FUENTE: Pardo de la Vega, Vicente Gregorio. Tesis Protección de Taludes. Guatemala. 2011)*

Anclajes.- Pueden usarse en forma muy ventajosa en cualquier situación en que se necesite la ayuda de la masa de suelo para soportar un determinado estado de tensiones o esfuerzos. Como elemento que contrarresta las subpresiones producidas por el agua en centrales hidroeléctricas o mineras, e igualmente como soporte de taludes constituidos de suelos o rocas.

Vegetación.- El tipo de vegetación tanto en el talud como en el área arriba del talud es un parámetro importante para su estabilidad. La vegetación cumple dos funciones principales: en primer lugar tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y además da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces.

Como controlador de infiltraciones tiene efecto directo sobre el régimen de aguas subterráneas y actúa posteriormente como secador del suelo al tomar el agua que requiere para vivir. Factores más importantes: Intercepta la lluvia, aumenta la capacidad de infiltración, extrae la humedad del suelo, grietas por desecación, raíces refuerzan el suelo, aumentando resistencia al cortante, anclan el suelo superficial a mantos más profundos, aumentan el peso sobre el talud, transmiten al suelo fuerza del viento, retienen las partículas del suelo, disminuyendo susceptibilidad a la erosión.

Abatimiento o disminución de pendiente. El abatimiento o disminución de la pendiente de los taludes es uno de los métodos más utilizados para mejorar su estabilidad y es la primera opción a considerar. Al igual que con otros métodos, éste no es de uso universal

y su efectividad puede variar de un sitio a otro. Al disminuir la pendiente del talud, se disminuyen las fuerzas actuantes y adicionalmente el círculo crítico de falla se hace más largo y más profundo aumentándose en esta forma el factor de seguridad.

2.4.5. Códigos técnicos para el manejo de taludes

Manual de carreteras V2-ABC - Hidrología

En términos simples el estudio hidrológico debe dividirse en 5 pasos:

Elección del periodo de retorno

Caracterización hidrográfica del área de estudio

Recopilación de datos meteorológicos

Estimación de los caudales de diseño

TABLA 2.10. Periodos de retorno para el diseño

Tipo de obra	Tipo de ruta	Periodo de retorno (T años)		Vida útil supuesta (n años)	Riesgo de falla (%)	
		Diseño	Verificación		Diseño	Verificación
Puentes y viaductos	Carretera	200	300	50	22	15
	Camino	100	150	50	40	28
Alcantarillas ($S > 1,75 \text{ m}^2$) o Hterrap $\geq 10 \text{ m}$ enterradas	Carretera	100	150	50	40	28
	Camino	50	100	30	45	26
Alcantarillas ($S < 1,75 \text{ m}^2$)	Carretera	50	100	50	64	40
	Camino	25	50	30	71	45
Drenaje de la plataforma	Carretera	10	25	10	65	34
	Camino	5	10	5	67	41
Defensas de riberas	Carretera	100		20	18	
	Camino	100		20	18	

FUENTE: Manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia. Manual de hidrología y drenaje

Norma Colombiana de taludes NSR – 10

Estudio de estabilidad de laderas y taludes.- Deberá estar incluido en el estudio geotécnico preliminar o en el definitivo, se debe hacer de características geotécnicas, hidráulicas, y de pendiente del terreno local y regionalmente, por lo cual deberá analizarse los efectos de procesos de inestabilidad aledaños o regionales que puedan tener incidencia en el terreno objeto de estudio.

Factores de seguridad.- En Ingeniería Civil en general el factor de seguridad F.S. se define como la relación entre fuerzas resistentes y fuerzas actuantes y también pueden usarse esfuerzos, y se usa para evaluar el estado límite de falla:

$$FS = F_R/F_A \quad (2 - 1)$$

$$FS = \tau_F/\tau_A \quad (2 - 2)$$

En Ingeniería Geotécnica el factor de seguridad básico o directo, FS_B , se define como la relación entre esfuerzo cortante último resistente o cortante a la falla τ_F y esfuerzo cortante actuante τ_A .

$$FS_B = \tau_F/\tau_A \quad (2 - 3)$$

Usualmente en Ingeniería Geotécnica el esfuerzo cortante a la falla τ_F se exprese con el criterio de Mohr-Coulomb:

$$\tau_F = C' + \sigma' \tan \phi \quad (2 - 4)$$

Donde:

τ_F = Esfuerzo cortante a la falla.

C' = Intercepto de cohesión efectiva.

ϕ = Ángulo de fricción efectivo.

σ' = Esfuerzo normal efectivo.

También se define esfuerzo cortante actuante τ_A como esfuerzo cortante de trabajo o de diseño τ_D y entonces:

$$\tau_A = (C' + \sigma' \tan \phi)/FS_B \quad (2 - 5)$$

Valores del factor de seguridad geotécnico básico FS_B – La selección de los factores de seguridad debe justificarse plenamente teniendo en cuenta:

La magnitud de la obra.

Las consecuencias de una posible falla en la edificación o sus cimentaciones.

La calidad de información disponible en materia de suelos.

En cualquier caso los factores de seguridad básicos FS_B aplicados al material terreo (suelo, roca o material intermedio) no deben ser inferiores a los factores de seguridad básicos mínimos FS_{BM} .

TABLA 2.11. Factores de seguridad básicos mínimos directos.

Condición	F_{SBM}	
	Diseño	Construcción
Carga muerta + Carga viva normal	1,50	1,25
Carga muerta + Carga viva máxima	1,25	1,10
Carga muerta + Carga viva normal + Sismo de diseño seudo estático	1,10	1,00
Taludes - Condición estática y agua subterránea normal	1,05	1,00

FUENTE: Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (Ley 400 de 1997).

Suelos no cohesivos o granulares y suelos cohesivos.- Se consideran como suelos no cohesivos o granulares los que cumplen las siguientes condiciones, de acuerdo al Sistema de Clasificación Unificada (SUCS), con algunas modificaciones:

Todos los materiales clasificados como GW, GP, GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, SW, SP, SW-SM, SP-SM, SW-SC, SP-SC.

Todos los materiales clasificados como GM, GC, GM-GC, SM, SC, SM-SC, en los cuales 30 % o menos del peso pase por el tamiz N° 200 y que tengan limite liquido $LL \leq 30\%$ e índice plástico $IP \leq 10\%$.

Suelos cohesivos.- Se consideran como suelos cohesivos todos aquellos que no cumplan con las condiciones de suelos no cohesivos o granulares.

Normas Técnicas.- Las siguientes normas del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, y de la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales, ASTM, forman parte integrante del reglamento NSR-10.

Normas NTC promulgadas por el ICONTEC:

NTC 1493 – Suelos. Ensayo para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad (ASTM D 4318).

NTC 1494 – Suelos. Ensayo para determinar el límite líquido (ASTM D 4318).

NTC 1504 – Suelos. Clasificación para propósitos de ingeniería (ASTM D 2847).

NTC 1522 – Suelos. Ensayo para determinar la granulometría por tamizado (NTC 1527).

NTC 1917 – Suelos. Determinación de la resistencia al corte. Método de corte directo (CD) (ASTM D 3080).

NTC 1974 – Suelos. Determinación de la densidad relativa de los sólidos (ASTM D 854).

Ensayos de laboratorio

Selección de muestras.- Las muestras obtenidas de la exploración de campo deberían ser objeto de los manejos y cuidados que garanticen su representatividad y conservación. Las muestras para la ejecución de ensayos de laboratorio deberán ser seleccionadas por el ingeniero geotecnista y deberán corresponder a los diferentes materiales afectados por el proyecto.

Tipo y número de ensayos.- El tipo y número de ensayos depende de las características propias de los materiales rocosos y suelos a investigar, del alcance del proyecto y del criterio del ingeniero geotecnista. El ingeniero geotecnista ordenará los ensayos de laboratorio que permitan conocer con claridad la clasificación de los suelos, propiedades geomecánicas, esfuerzo – deformación y resistencia al corte. Los análisis de respuesta de sitio deben realizarse con resultados de ensayos de laboratorio que establezcan con claridad las propiedades de las muestras escogidas.

Propiedades básicas de los suelos.- Las propiedades básicas mínimas de los suelos a determinar con los ensayos de laboratorio son: peso específico y clasificación completa para cada uno de los estratos o unidades estratigráficas y sus distintos niveles de meteorización igualmente deben determinarse como mínimo las propiedades de

resistencia de cada uno de los materiales típicos encontrados en el sitio, mediante compresión simple o corte directo en suelos cohesivos, y corte directo o SPT en suelos granulares.

Condiciones geotécnicas especiales

Suelos dispersivos o erodables

Suelos colapsables.- Se identifican como suelos colapsables aquellos depósitos aluviales y coluviales, eólicos, cenizas volcánicas y suelos residuales, formados por arenas y limos, en algunos cementados por arcillas y sales (carbonato de calcio), que si bien resisten cargas considerables en su estado seco, sufren pérdidas de su conformación estructural, acompañadas de severas reducción en el volumen exterior cuando se aumenta su humedad o se saturan.

Medidas preventivas:

- Remoción del suelo colapsables – cuando su profundidad y espesor lo hacen factible.
- Minimización del humedecimiento – por medio de drenaje.
- Estabilización por inyección de agentes químicos – puede aplicarse localmente o en reparación de estructuras dañadas.
- Compactación – puede lograrse con cilindros o compactadores vibratorios convencionales en combinación con humedecimiento moderado.
- Voladuras controladas a profundidad – Esta técnica aun en estado experimental consiste en detonar cargas explosivas a profundidad con un cierto patrón de localización.

Coefficientes de fricción típicos mostrados en la siguiente tabla:

TABLA 2.12. Factores de fricción y adhesión para materiales distintos

Materiales de interface	Factor de fricción ($\tan \phi$)	Ángulo de fricción ($^{\circ}$)
Concreto o albañilería con los siguientes materiales de fundación: Roca intacta, limpia. Grava limpia, mezclas de grava y arena, arena gruesa Arena limpia fina, arena limosa o arcillosa fina a media a gruesa, grava limosa o arcillosa Arena limpia fina, arena limosa o arcillosa fina a media Limo arenoso fino, limo no plástico Arcilla muy compactada y dura, arcilla pre consolidada Arcilla medianamente compacta a compacta y arcilla limosa	0,70 0,55 a 0,60 0,45 a 0,55 0,35 a 0,45 0,30 a 0,35 0,40 a 0,50 0,30 a 0,35	35 29 a 31 24 a 29 19 a 24 17 a 19 22 a 26 17 a 19
Tablestacado de Acero con los siguientes suelos: Grava limpia, mezclas de grava y arena, relleno de roca bien graduado con grava triturada Arena limpia, mezcla limosa de arena y grava, relleno uniforme de roca dura Arena limosa, grava o arena mezclada con limo o arcilla Limo arenoso fino, limo no plástico	0,40 0,30 0,25 0,20	22 17 14 11
Concreto vaciado y tablestacado de concreto con los siguientes suelos: Grava limpia, mezclas de grava y arena, relleno de roca bien graduado con grava triturada Arena limpia, mezcla limosa de arena y grava, relleno uniforme de roca dura Arena limosa, grava o arena mezclada con limo o arcilla Limo arenoso fino, limo no plástico	0,40 a 0,50 0,30 a 0,40 0,30 0,25	22 a 26 17 a 22 17 14

FUENTE: Norma CE.020. Estabilización de suelos y taludes. York M. De la Cruz Marroquin

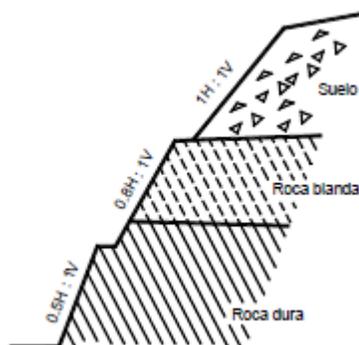
Departamento de carreteras de Japón.- Algunas ciudades como Hong Kong han elaborado códigos específicos para el manejo de taludes, en los cuales se especifican los parámetros técnicos para el diseño y construcción de obras de estabilización.

TABLA 2.13. Pendientes típicas para taludes en cortes (Departamento de carreteras del Japón)

Material	Propiedades	Altura de corte	Pendiente sugerida
Roca dura			0,3H:1V a 0,8H:1V
Roca blanda			0,5H:1V a 1,2H:1V
Arena	Poco densa		1,5H:1V a 2H:1V
Suelo Arenoso	Densa	Menos de 5	0,8H:1V a 1H:1V
		5 de 10	1H:1V a 1,2H:1V
	Poco densa	Menos de 5	1H:1V a 1,2H:1V
		5 de 10	1,2H:1V a 1,5H:1V
Mezcla de fino arena con grava o masas de roca	Densa	Menos de 10	0,8H:1V a 1H:1V
		10 a 15	1H:1V a 1,2H:1V
	Poco densa	Menos de 10	1H:1V a 1,2H:1V
		10 a 15	1,2H:1V a 1,5H:1V
Suelos cohesivos		0 a 10	0,8H:1V a 1H:1V
Suelos cohesivos mezclados con masa de roca o bloque		Menos de 5	1H:1V a 1,2H:1V
		5 a 10	1,2H:1V a 1,5H:1V

FUENTE: Suárez Díaz, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga-Colombia

FIGURA 2.8. Pendientes típicas según el tipo de material



FUENTE: Suárez Díaz, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga-Colombia

El uso de códigos técnicos se está extendiendo en los últimos años y algunas ciudades en Colombia han adoptado este sistema con gran éxito.

En el caso de Bucaramanga-Colombia el código es manejado por las autoridades ambientales en forma independiente pero concertada con las entidades de planificación y desarrollo.

La ciudad de Los Ángeles representa un ejemplo impresionante del uso de estos códigos, en cuanto a la disminución de la ocurrencia de deslizamientos de tierra, los cuales disminuyeron después de 1963, fecha en que se implementó el código, a un 10% de las fallas que ocurrían antes del código, para un periodo invernal de condiciones similares.

(FUENTE: Suárez Díaz, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga-Colombia.)

CAPÍTULO III - APLICACIÓN PRÁCTICA

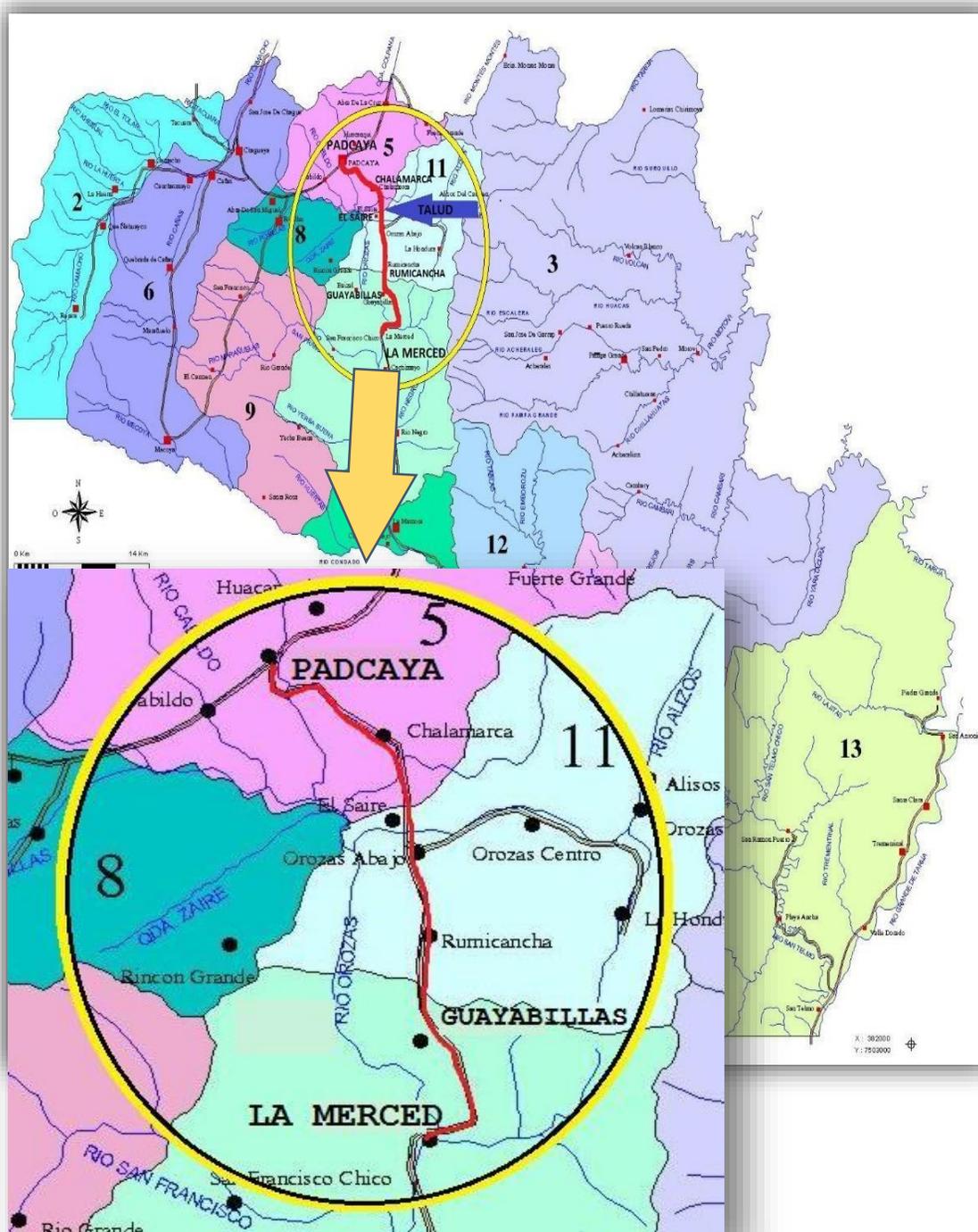
3.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO

El área en estudio se encuentra en el municipio de Padcaya distrito 1 (Padcaya) y distrito 6 (La Merced), primera sección de la provincia Arce, se encuentra localizado en la parte sur del departamento de Tarija, a 50 km de la ciudad capital.

El tramo Padcaya- La Merced comprende un sub-tramo de la carretera internacional Tarija- Bermejo forma parte de la Red Fundamental N°1 (Desaguadero, puente internacional en frontera con la República del Perú - El Alto de La Paz - Oruro - Potosí Tarija – Bermejo, puente internacional en frontera con la República Argentina. Decreto Supremo N°25134, 21 de Agosto de 1998); el tramo de estudio comprende las progresivas 13+500 a 26+100 y cuyas alturas oscilan entre los 1800 a 2300 msnm.

La carretera fue construida en una zona montañosa, con pendientes altas, y húmedas donde se producen fuertes precipitaciones pluviales. La geología está conformada por materiales que van desde el cuaternario, ordovícico y siluriano, considerando a la zona de Padcaya una llanura fluvio lacustre no consolidada. Entre las unidades de terreno existentes en la zona tenemos conglomerados, areniscas, limotitas y arcillitas. La vegetación característica se extiende desde matorrales, arbustos hasta la vegetación herbácea graminoide baja. De manera global en la zona se caracteriza la alteración del relieve producto de la construcción civil, se caracteriza principalmente por contener zonas con altos índices de inestabilidad geológica debido a las características de los materiales que constituyen los taludes.

MAPA 2. Ubicación del tramo en estudio



FUENTE: Alcaldía del municipio de Padcaya

3.2. ESTUDIO GEOLÓGICO

Desde el punto de vista estructural, el municipio de Padcaya, muestra dos estilos tectónicos bien definidos que corresponden a las provincias geológicas de la cordillera Oriental (39 %) y las serranías del Subandino (61 %).

El tramo vial Padcaya-La Merced nos muestra depósitos de material de canto rodado, arena, arcilla y limo, en forma heterogénea (conglomerado), un intenso fallamiento en el sector de Guayabillas, con mayor perturbación y complicación tectónica ya que corresponde al **sector occidental** (morfo estructura de la cordillera Oriental).

La zona de Padcaya forma parte de la falla tectónica Tarija, formada en el Pleistoceno, este tipo de falla geológica es una grieta en la corteza terrestre que puede alertar sobre riesgos de deslizamientos hasta sismos con cierto grado de certeza. Según la teoría de la tectónica estas placas se van separando un par de centímetros cada año, pero en algún momento la corteza debe recuperar esos centímetros perdidos. (*FUENTE:* Servicio geológico minero-Bolivia).

Características geológicas - Historia geológica

Era.- Cenozoica

Periodo.- Cuaternario - Pleistoceno

Comunidades.- Padcaya, Chalarmarca, Orozas y parte de La Merced.

Era.- Paleozoico

Periodo.- Carbonífero - Silúrico (límites temporales aproximadamente 439.000.000- formas de vida de plantas terrestres vasculares).

Comunidades.- Orozas abajo, Guayabillas y parte de La Merced.

TABLA 3.1. Columna geológica

Era Cenozoica	Periodo Cuaternario	Época reciente	10 mil
		Época del pleistoceno	3,5 millones
	Periodo Terciario	Época del plioceno-10,5 millones de años	14 millones
		Época del Mioceno-12 millones de años	26 millones
		Época del Oligoceno-14 millones de años	40 millones
		Época del Eoceno-15 millones de años	55 millones
Época del Paleoceno-10 millones de años		65 millones	
Era Mesozoica		Periodo Cretácico-65 millones de años	130 millones
		Periodo Jurásico-50 millones de años	180 millones
		Periodo Triásico-45 millones de años	225 millones
Era Paleozoica	Periodo Carbonífero	Periodo Pérmico-50 millones de años	275 millones
		Periodo Pensylvánico-35 millones	310 millones
		Periodo Mississípico -35 millones de años	345 millones
		Periodo Devónico -60 millones de años	405 millones
		Periodo Silúrico -30 millones de años	435 millones
		Periodo Ordovícico -45 millones de años	480 millones
		Periodo Cámbrico-120 millones de años	600 millones
		Tiempo del Precámbrico	4,5 billones

FUENTE: Baldellón Álvarez, Ronald. Geología General. Universidad Mayor de San Simón.

Cochabamba-Bolivia

3.3. GEOMORFOLOGÍA

El municipio de Padcaya presenta características geomórficas complejas, como resultado de los movimientos tectónicos a los que estuvo sometido en épocas pasadas; es decir eventos geodinámicos internos y geodinámicos externos; los mismos que son responsables del desarrollo y evolución del paisaje actual.

Evolución geomorfológica.- La sucesión de acontecimientos tecto-sedimentarios y tectorogénicos que contribuyeron en la formación de la cordillera Oriental de los Andes, se inicia, posiblemente, a partir del Ordovícico al Devónico superior, con movimientos, principalmente, de tipo vertical, que acompañaron a la evolución sedimentaria que se iniciaba.

A partir del Devónico superior al Pérmico inferior que se suceden los esfuerzos compresivos de la orogénesis Hercínica en sus dos fases, la eo-hercínica que fue muy intensa en la Cordillera Oriental, pero débil en la faja subandina. La segunda fase o tardi-hercínica, resulta de poca intensidad en la cordillera Oriental, pero se la considera como la esencia misma de la cordillera Oriental, sobre la cual rocas del Cretácico inferior y superior se instalan en forma discordante.

A principios del Cretácico inferior se inicia la tectónica Andina, responsable de las características actuales de la cordillera Oriental, en principio con un movimiento de tipo vertical, lo que permitió una transgresión del mar sobre la plataforma hercínica peneplanizada, erosión que permitió la sedimentación en cuencas terciarias formadas en el Paleoceno-Eoceno. Es justamente a fines del Eoceno e inicios del Oligoceno que se produce la primera fase compresiva de la orogénesis andina en la cordillera Oriental de los Andes, la que provoca pliegues y fallas, íntimamente ligada a ella.

La segunda fase de plegamiento de la orogénesis Andina de fines del Mioceno, afectó principalmente a la cordillera Oriental.

El acontecimiento más importante en el departamento de Tarija, durante el Pleistoceno medio a superior, fue el relleno de la cuenca lacustre de Tarija, donde también está emplazada la población de Padcaya, definida por los bordes de cordones orográficos elevados, constituidos por rocas más antiguas.

El Pleistoceno se caracterizó por una serie de eventos de tipo climático: periodos de glaciaciones y de interglaciaciones, es decir, periodos alternativamente secos y húmedos, respectivamente. En los periodos secos las lluvias fueron irregulares, violentas y de corta duración, donde predominó el escurrimiento laminar y la vegetación escasa, condiciones que permitieron el aporte de gran cantidad de material clástico grueso a la cuenca.

En los periodos interglaciares se sucedieron deshielos y precipitaciones abundantes, continuas y regulares, responsables de la formación del lago en la cuenca; en general un clima húmedo y estable, situación que permitió el aumento de la biomasa y extensión de formaciones vegetales continuas. Consiguientemente, los aportes de material al vaso de la cuenca fueron de carácter fluvial, por cursos de ríos bien definidos, depositados en un ambiente lacustre, que finalmente rellenaron toda la cuenca.

Posiblemente, como efecto de un deterioro climático hacia condiciones de aridez, las características de la vegetación fueron transmutándose a especies espinosas, y que por las condiciones litológicas frágiles pre-existentes se acelera un proceso de acaravamiento (*badlands*) de parte de los principales ríos, así como de las nuevas condiciones y tipos de precipitación, torrenciales y de corta duración.

Finalmente, la fragilidad del medio se ve profundamente vulnerada por la participación del hombre.

Cordillera Oriental.- El tramo en estudio está dentro de la cordillera Oriental, estructuralmente, el área que corresponde a la cordillera Oriental está caracterizada fundamentalmente por una estructura de plegamiento y fallamiento predominante.

MAPA 4. Fisiografía



FUENTE: Alcaldía del municipio de Padcaya

Tal actitud morfo estructural es la consecuencia de una rígida comprensión cortical acentuada por la tectónica que imprimieron los movimientos andinos de fines del terciario, que también son los responsables de su considerable elevación.

3.4. ESTUDIO HIDROLÓGICO

En el tramo de estudio se puede evidenciar presencia de mucha humedad, con filtraciones de agua mayormente en los lugares más bajos, con cobertura vegetal. Dentro

del estudio hidrológico realizado en el tramo Padcaya – La Merced, se hizo el diseño de las obras de drenaje: cunetas y alcantarillas, para verificar si sus dimensiones cumplen con la estructura actual de la vía, para ello se tomaron tres estaciones más cercanas al tramo.

FIGURA 3.1. Cuenca del río Orozas – Área de aporte



FUENTE: Elaboración propia

ESTACIÓN 1: Padcaya

Latitud S: 21° 53'; Longitud W: 64° 43'; Altura: 2.010 msnm.

TABLA 3.2. Precipitación máxima 24hrs (mm) Padcaya

Año Hidrol.		OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	Máximo	Media
1976	1977	0,0	17,6	18,5	19,2	15,1	35,9	48,7	0,0	0,0	0,0	9,0	13,0	48,7	14,8
1977	1978	6,5	24,5	35,5	25,0	24,0	12,0	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	35,5	13,9
1978	1979	12,8	27,0	49,0	70,0	21,0	18,5	3,5	0,0	2,5	4,5	20,5	2,0	49,0	28,9
1979	1980	22,5	56,0	30,0	32,0	23,3	38,0	9,0	7,0	0,5	0,0	7,0	0,0	56,0	18,8
1980	1981	28,0	42,0	29,0	28,5	41,5	28,2	27,3	8,3	0,0	0,4	3,0	3,0	42,0	19,9
1981	1982	19,0	20,0	15,0	25,0	17,0	12,0	9,0	0,0	0,0	0,0	1,5	15,9	25,0	11,2
1982	1983	4,5	15,0	19,3	33,0	38,2	19,0	4,5	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	38,2	11,4
1983	1984	11,2	32,9	14,5	22,5	20,0	28,7	4,8	2,0	0,0	0,0	12,0	17,6	32,9	13,9
1984	1985	27,7	19,0	28,7	15,3	19,0	19,8	0,0	0,0	0,0	5,0			28,7	13,5
1985	1986	0,0				76,0	13,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	76,0	10,9
1986	1987	6,0	20,0	24,0	30,0	20,5	20,0	15,0	5,0	0,0	0,0	2,0	0,0	30,0	11,9
1987	1988	13,0	27,0	23,0	25,0	13,5	19,0	25,0	1,0	0,0	8,0	0,0	0,0	27,0	12,9
1988	1989	15,0	20,0	28,0	21,0	23,0	29,0	11,0	0,0	6,0	0,0	0,0	5,0	29,0	13,2
1989	1990	15,0	25,0	24,0	29,0	22,0	21,0	4,0	5,0	0,0	0,0	6,0	0,0	29,0	12,6
1990	1991	19,0	49,0	27,0	38,0	23,0	29,0	15,0	5,0	0,0	0,0	3,0	3,0	49,0	17,6
1991	1992	31,0	28,0	38,0	43,0	30,0	40,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	5,0	43,0	18,1
1992	1993	7,0	35,0	17,0	34,0	61,0	33,0	5,3	0,0	2,0	2,5	4,5	0,0	61,0	16,8
1993	1994	13,0	23,5	36,0	22,0	43,0	12,5	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0	43,0	14,7
1994	1995	18,0	16,0	26,5	35,5	26,5	40,5	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	40,5	14,8
1995	1996	23,5	16,6	5,9	6,5	4,0	8,9	8,5	3,4	0,0	0,0	1,8	4,5	23,5	7,0
1996	1997	4,9	7,8	12,2	6,9	15,8	10,5	19,5	6,0	0,0	0,0	0,0	5,5	19,5	7,4
1997	1998	54,5	29,0	32,5	12,0	25,0	10,5	12,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,3	54,5	15,0
1998	1999	15,5	28,5	7,0	40,0	40,0	27,0	7,5	5,5	5,0	0,0	0,0	30,0	40,0	17,2
1999	2000	18,0	11,0	34,0	19,3	19,0	44,0	12,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	44,0	27,7
2000	2001	36,0	17,0	22,0	16,5	21,0	13,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	36,0	11,4
2001	2002	25,0	23,0	91,0	17,0	41,0	38,0	22,0	0,0	0,0	0,0	6,0	5,5	91,0	22,4
2002	2003	31,0	26,0	9,0	28,0	18,0	34,0	29,0	0,0					34,0	21,9

FUENTE: SENAMHI – Tarija

ESTACIÓN 2: La Merced

Latitud S: 22° 01'; Longitud W: 64° 40'; Altura: 1.509 msnm.

TABLA 3.3. Precipitación máxima 24hrs (mm) La Merced

Año Hidrol.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	Máximo	Media
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	--------	-------

1999	2000	20,0	45,0	33,0	82,5	25,0	40,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	82,5	21,1
2000	2001	42,5	8,0	26,0	25,5	22,0	17,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0	42,5	12,8
2001	2002	20,0	19,0	33,5	37,5	53,5	69,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	69,0	19,7
2002	2003	38,0	20,5	50,5	38,0	17,0	37,5	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	50,5	17,7
2003	2004	14,5	20,0	25,0	27,0	61,5	14,0	14,5	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	61,5	15,6
2004	2005	6,5	10,0	18,0	71,5	25,5	23,5	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	71,5	13,6
2005	2006	4,5	8,5	60,0	31,0	19,0	60,0	9,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	60,0	16,1
2006	2007	15,5	11,0	15,5	36,0	24,0	40,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	40,0	12,2
2007	2008	15,5	24,0	20,0	51,5	8,2	15,5	5,7	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,5	12,3
2008	2009	13,5	24,5	27,0	17,3	20,0	32,0	14,0	0,1	0,0	0,0	0,0	6,5	32,0	12,9
2009	2010	13,0	54,0	31,0	16,5	48,0	10,0	2,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	54,0	14,7
2010	2011	1,0	20,0	23,0	70,0	57,5								70,0	34,3

FUENTE: SENAMHI – Tarija

ESTACIÓN 3: La Mamora

Latitud S: 22° 10'; Longitud W: 64° 39'; Altura: 1.233 msnm.

TABLA 3.4. Precipitación máxima 24hrs (mm) La Mamora

Año Hidrol.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	Máximo	Media
1981	1982	3,5	6,9	14,3	33,0	11,1	16,5	3,9	5,5	0,0	0,0	0,0	33,0	7,9
1982	1983	9,1	18,3	16,6	13,5	9,6	8,0	3,8	0,0	0,0	0,0	11,2	18,3	7,5
1983	1984	4,3	4,1	11,3	15,5	24,5	17,9	0,0	0,0	0,0	17,0	0,0	24,5	7,9
1984	1985	46,5	13,0	14,1	16,5	20,0	18,3	3,0	0,0	4,9	0,0	3,8	46,5	11,7
1985	1986	0,0	32,5	16,5	20,0	13,5	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,5	8,0
1986	1987	20,0	11,5	8,5	20,0	9,5	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	6,7
1987	1988	20,0	6,0	12,0	11,9	7,1	20,0	20,0	0,0	0,0		4,8	20,0	9,3
1988	1989	2,5	0,0	10,0	10,0	9,0	5,0	2,0	0,0	0,0	0,0	10,0	10,0	4,0
1989	1990	1,0	7,7	24,0	7,0	11,0	11,0	10,4	0,0	0,0	0,0	0,0	24,0	6,0
1990	1991	0,0	16,0	14,0	34,0	12,5	12,0	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	34,0	8,4
1991	1992	12,5	24,5	11,0	20,0	24,0	26,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,0	9,8
1992	1993	22,5	12,0	18,0	21,0	11,0	24,0	4,0	0,0	0,0	5,5	3,5	24,0	10,1
1993	1994	47,0	4,5	20,0	16,5	14,5	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	3,5	47,0	9,3
1994	1995	47,0	4,5	20,0	11,0	12,5	21,0	0,0	0,0	0,0	5,5	3,5	47,0	10,4
1995	1996	47,0	4,5	20,0	15,5	10,0	10,0	0,0	5,0	0,0	5,0	6,0	47,0	10,3
1996	1997	12,0	8,5	31,1	12,5	15,8	10,0	6,5	0,0	0,0	0,0	18,5	31,1	9,6
1997	1998	0,0	18,0	0,1	12,4	16,3	8,0	0,0		0,0	0,0	0,0	18,0	5,0
1998	1999	3,0	11,0	8,5									11,0	7,5

FUENTE: SENAMHI – Tarija

TABLA 3.5. Resumen de precipitaciones máximas de las estaciones

Año hidrológico	Estación 1	Estación 2	Estación 3
1976 1977	48,7		
1977 1978	35,5		
1978 1979	49,0		

1979 1980	56,0		
1980 1981	42,0		
1981 1982	25,0		33,0
1982 1983	38,2		18,3
1983 1984	32,9		24,5
1984 1985	28,7		46,5
1985 1986	76,0		32,5
1986 1987	30,0		20,0
1987 1988	27,0		20,0
1988 1989	29,0		10,0
1989 1990	29,0		24,0
1990 1991	49,0		34,0
1991 1992	43,0		26,0
1992 1993	61,0		24,0
1993 1994	43,0		47,0
1994 1995	40,5		47,0
1995 1996	23,5		47,0
1996 1997	19,5		31,1
1997 1998	54,5		18,0
1998 1999	40,0		11,0
1999 2000	44,0	82,5	
2000 2001	36,0	42,5	
2001 2002	91,0	69,0	
2002 2003	34,0	50,5	
2003 2004		61,5	
2004 2005		71,5	
2005 2006		60,0	
2006 2007		40,0	
2007 2008		51,5	
2008 2009		32,0	
2009 2010		54,0	
2010 2011		70,0	
Media=	50,15	57,08	28,55
Desv. Est.=	36,71	14,80	12,11
Moda=	33,63	50,42	23,10
Característica=	1,96	0,53	0,94
Número De Datos=	27	12	18
Moda Ponderada=	34,247		
Característica Ponderada=	0,804		

FUENTE: Elaboración propia

3.4.1. Diseño de cunetas

Tiempo de concentración “Tc”

A= 0,150 Km²; L= 1.67 Km; J= 0,36 m/m

$H_{\text{máx}} = 2318 \text{msnm}$; $H_{\text{mín}} = 1714 \text{msnm}$; $H = 1714 \text{msnm}$

Chereque Tc:

$$t_c = \left(0.871 \frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (3 - 1)$$

$$T_c = 0,15 \text{ hrs}$$

Giandotti Tc:

$$\text{Giandotti: } t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{25.3 \cdot J \cdot L} \quad (3 - 2)$$

$$T_c = 0,64 \text{ hrs}$$

Ventura - Hevas Tc:

$$\text{Ventura - Hevas: } t_c = 0.05 \sqrt{\frac{A}{J}} \quad (3 - 3)$$

$$T_c = 0,15 \text{ hrs}$$

California Tc:

$$\text{California: } t_c = 0.066 \left(\frac{L}{\sqrt{J}} \right)^{0.77} \quad (3 - 4)$$

$$T_c = 0,14 \text{ hrs}$$

Kirpich Tc:

$$\text{Kirpich: } t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (3 - 5)$$

$$T_c = 0,15 \text{ hrs}$$

Tiempo de concentración promedio

$$T_c' = 0,15 \text{ hrs.}$$

$$T = 30 \text{ años (para cunetas)}$$

Altura de lluvia diaria para un periodo de retorno de T años.

$$h_{dt} = E_d * (1 + K_d * \log T) \quad (3 - 6)$$

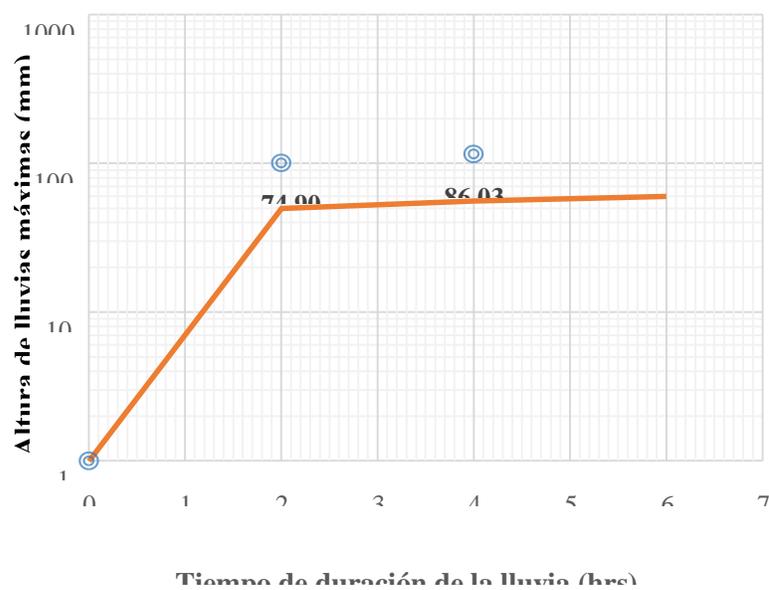
$$h_{dt} = 74,90 \text{ mm}$$

Altura de lluvias máximas para un periodo de retorno $T = 30$ años.

$$htt = Ed * (t/12)^{B(1+Kd*\log T)} \quad (3 - 7)$$

t (hr)	htt (mm)
0	1,00
0,15	5,62
2	74,90
4	86,03

FIGURA 3.2. Altura de precipitación horaria para cunetas



FUENTE: Elaboración propia

Con un tiempo de concentración $T_c = 0,15$ hrs

La precipitación máxima horaria se sacó del gráfico correspondiente

$$htt = 5,62 \text{ mm.}$$

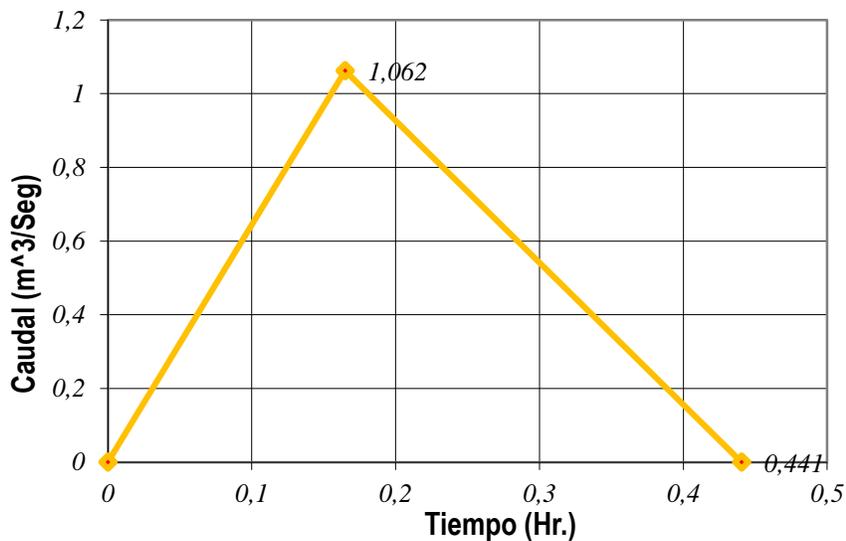
$$i \text{ máx.} = hdt / t \quad (3 - 8)$$

$i \text{ máx.} = 37,45 \text{ mm/hr}$

Hidrograma triangular para cunetas

FIGURA 3.3. Hidrograma triangular cunetas

HIDROGRAMA TRIANGULAR CUNETAS



FUENTE: Elaboración propia

Tiempo de retardo “TI” $TI = 0,6 * Tc$ (3 - 9)

$TI = 0,09 \text{ hr}$

Tiempo al pico “Tp” $Tp = TI + D/2$ (3 - 10)

$Tp = 0,165 \text{ hr}$

Tiempo después del pico “Tr” $Tr = a * Tp$ (3 - 11)

$Tr = 0,276 \text{ hr}$

Tiempo base “Tb” $T_b = T_p + T_r$ (3 - 12)

$$T_b = 0,441 \text{ hr}$$

Caudal pico “Qb” $Q_p = (5,556 * A * h) / (T_p + T_r)$ (3 - 13)

$$Q_p = 1,062 \text{ m}^3/\text{s}$$

Fórmula Racional: $Q_{\max} = c * i * A$ (3 - 14)

$$Q_{\max} = 0,939 \text{ m}^3/\text{s}$$

Caudal de diseño “Qd” $Q_{\max} = 1,062 \text{ m}^3/\text{s}$

Determinación del tirante de agua en las cunetas:

$$d = \sqrt{t^2/4 + t^2}$$

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$$

$$A = t^2 / 2$$

$$P = 2d = 2 (\sqrt{5/2} * t)$$

$$R = A / P$$

Área Hidráulica: $A = 0,115 \text{ m}^2$

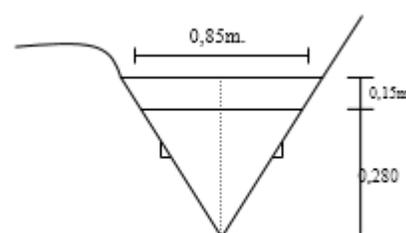
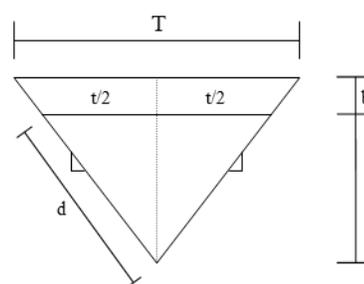
Perímetro Mojado: $P = 0,997 \text{ m}$.

Radio Hidráulico: $R = 0,115 \text{ m}$.

Borde Libre: $b = 0,150 \text{ m}$.

Tirante Normal: $y = 0,280 \text{ m}$.

Espejo De Agua: $T = 0,830 \text{ m}$.



3.4.2. Diseño de alcantarillas

Tiempo de concentración “Tc”

$$T_c = 0,15 \text{ hrs}$$

Periodo de retorno $T = 50$ años (para alcantarillas)

Altura de lluvia diaria para un periodo de retorno de T años.

$$hdt = Ed * (1 + Kd * \log T) \quad (3 - 10)$$

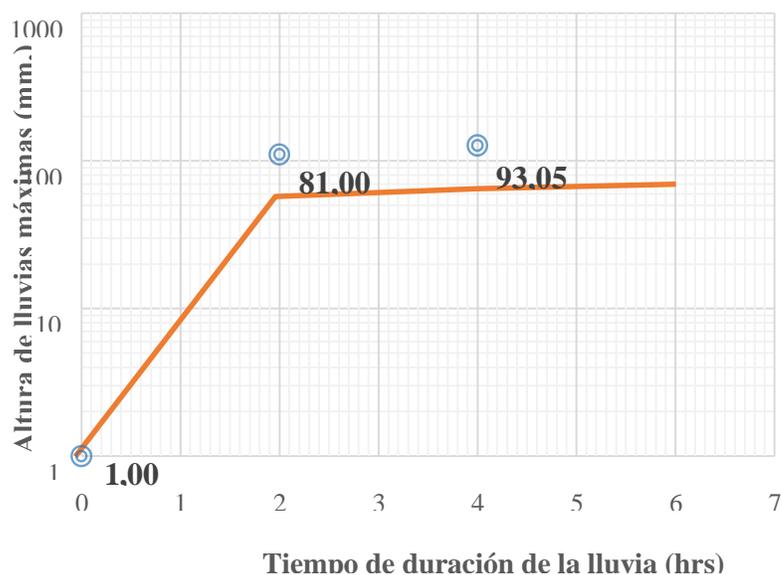
$$hdt = 81,00 \text{ mm}$$

Altura de lluvias máximas para un periodo de retorno $T = 30$ años.

$$htt = Ed * (t/12)^B(1 + Kd * \log T) \quad (3 - 11)$$

t (hr)	htt (mm)
0	1,00
0,15	6,08
2	81,00
4	93,05

FIGURA 3.4. Altura de precipitación horaria para alcantarillas



FUENTE: Elaboración propia

Con un tiempo de concentración $T_c = 0,15$ hrs

La precipitación máxima horaria se sacó del gráfico correspondiente

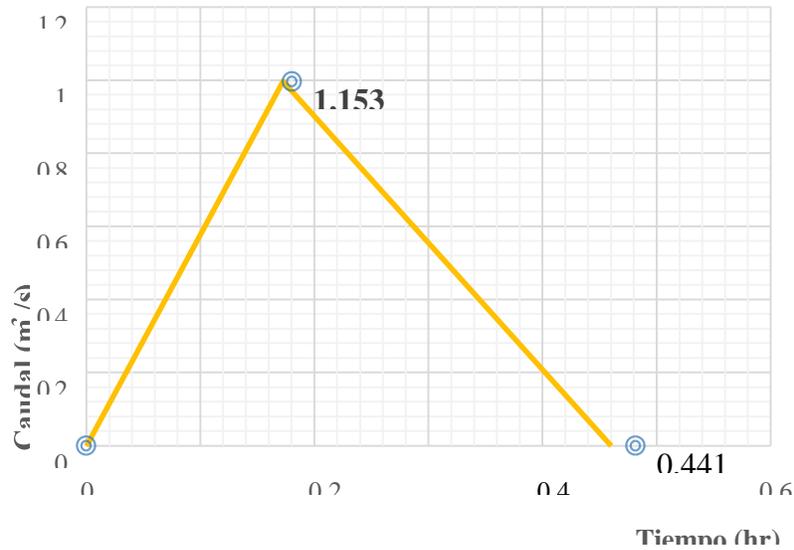
$$htt = 6,075 \text{ mm.}$$

$$i \text{ máx.} = hdt / t \quad (3 - 12)$$

$$i \text{ máx.} = 40,50 \text{ mm/ hr}$$

Hidrograma triangular para cunetas

FIGURA 3.5. Hidrograma triangular alcantarillas



FUENTE: Elaboración propia

Cálculo de las alcantarillas

Las alcantarillas de alivio se calculan con el caudal de diseño en el área de aporte, para ello elegimos un colector de sección circular de cemento que trabaje con un tirante al 50% del diámetro, o sea: $Y=0,5xD$. Esto por seguridad, para evitar el ahogamiento de la tubería.

$$Q_d = 1,153 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$n = 0,013$$

$$s = 4,5 \%$$

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$$

$$\theta = 2 \arccos \frac{D - 2(0,5D)}{D} = 203,0739181^\circ$$

$$A = \frac{D^2}{8} \left(\frac{\pi\theta}{180} - \operatorname{sen}\theta \right) = 0,49203 D^3$$

$$P = \frac{\theta \pi D}{360} = 1,772 D$$

$$R = \frac{A}{P} = 0,27765 D$$

$$D = \left(\frac{Qd*n}{0,2094 S^{1/2}} \right)^{3/8}$$

w

$$D = 0,665 \text{ m.}$$

$$D = 26,193 \text{ "}$$

$$D_{\text{com}} = 30,0 \text{ "} \quad 76,2 \text{ cm}$$

3.5. VEGETACIÓN

Llanura de Piedemonte, disección moderada.- Se localiza en la comunidad de Padcaya La vegetación natural corresponde a matorrales ralos xeromórficos, encontrándose también pequeños bosques de pino del cerro y pastizales bajos.

Serranía baja, moderada.- Se localiza en la comunidad de Padcaya, Chalamarca Rumicancha y Guayabillas Los suelos varían de superficiales a profundos, la textura varía de franco arenoso a arcillosa, conductividad eléctrica baja, potasio de bajo a moderado y el resto de los nutrientes es bajo, con pastizales y arbsutales.

Cimas de montaña alta, disección ligera.- Se localiza en la comunidad de Rumicancha. Suelos superficiales, de texturas francas, sin problemas de salinidad, fertilidad baja, cubiertos por un pastizal de altura sin sinusia arbustiva.

Cimas de montaña alta, con disección moderada a fuerte.- Se localiza en la comunidad de Padcaya y Rumicancha. Suelos superficiales, franco arenoso a franco

arcilloso, normal, baja fertilidad, cubiertos por pastizales y arbustales de altura intermedia.

Montaña alta, disección fuerte.- Se localiza en la comunidad de Orozas. Suelos generalmente superficiales a moderadamente profundos, texturas francas, ligeramente ácidos, cubiertos por vegetación herbácea y matorrales de altura.

Montaña alta, disección fuerte.- Se localiza en la comunidad de Rumicancha. Suelos muy superficiales, textura franca arenosa, normales, con fertilidad moderada, cubiertos por pastizales y bosques ralos andinos ralos y nublados.

Montaña Baja, disección moderada a fuerte.- Se localiza en los cerros del Campanario. Suelos de profundidad variable, de texturas medias, sin problemas de salinidad, poco fértiles, cubiertos por matorrales caducifolios y pastizales, destinados al pastoreo extensivo.

Colina media y baja, disección moderada.- Se ubica en los alrededores de la comunidad de Rumicancha, Guayabillas y al este de la Merced. Los pocos suelos que quedan son superficiales a moderadamente profundos, arcillosos, con fertilidad baja a moderada, cubiertos por matorrales y pastizales.

Llanura de piedemonte, disección moderada.- Se localiza en la comunidad de Orozas. Suelos generalmente profundos, de fertilidad baja a moderada, cubiertos por matorrales caducifolios con cultivos agrícolas anuales.

Llanura fluvio – lacustre.- Esta llanura se localiza en las comunidades Chalamarca, El Zaire, Orozas Centro y Orozas Abajo. La vegetación natural son matorrales xeromórficos, espinosos, bajos.

Llanura fluvio – lacustre, disección fuerte.- Se localiza en la comunidad de Chalamarca, Orozas. Los suelos que quedan son profundos, arcillosos a limosos, pH generalmente alcalinos, de fertilidad baja a muy baja, cubiertos por matorrales xeromórficos.

Llanura fluvio – lacustre.- Se localiza en la comunidad de Chalamarca. Los suelos son profundos de texturas arcillosas, con pH ligeramente alcalino, casi descubiertos de vegetación.

Llanura aluvial.- Se localiza en la comunidad de Orozas, La Merced, los suelos son de texturas arenosas francas, moderadamente profundos, con cantidades variables de fragmentos gruesos en el perfil, la fertilidad natural es de baja a moderada, recubiertos por matorrales, y cultivos anuales a riego.

3.6. CLIMA

Dentro del tramo en estudio se presentan varios tipos climáticos, determinados por la orografía, altitud sobre el nivel del mar principalmente. En general, el verano se caracteriza principalmente por una temperatura y humedad relativa alta y masas de aire inestables, produciéndose precipitaciones aisladas de alta intensidad y corta duración. Por otro lado, el invierno se caracteriza por temperaturas y humedad relativa generalmente bajas y la ausencia de precipitaciones. El invierno también está asociado a la llegada de frentes fríos provenientes del sur, llamados "surazos", que traen consigo masas de aire frío, dando lugar a veces a precipitaciones de muy baja intensidad pero de larga duración.

3.6.1. Tipos climáticos

Para caracterizar el clima se han utilizado los datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI – Tarija), utilizando el índice climático de Thorntwaite, se caracteriza los siguientes tipos climáticos:

Clima mesotermal semiárido.- Se ubica en los valles de la Cordillera Oriental, con una temperatura anual media de 16.7 °C.

Clima mesotermal subhúmedo.- La región con un clima subhúmedo se encuentra en la parte norte del subandino, desde la serranía del Aguaragüe hasta las serranías de la Cordillera Oriental.

TABLA 3.6. Resumen climatológico de Padcaya

Índice	Unidad	Anual
Temperatura máxima media	°C	25,2
Temperatura mínima media	°C	9,0

Temperatura media	°C	17,1
Temperatura máxima extrema	°C	41,0
Temperatura mínima extrema	°C	-8,0
Días con helada		19,0
Humedad relativa	%	67,0
Nubosidad media	Octas	4,0
Días con lluvia		72,0
Velocidad del viento	km/hr	6,5
Dirección del viento		SE

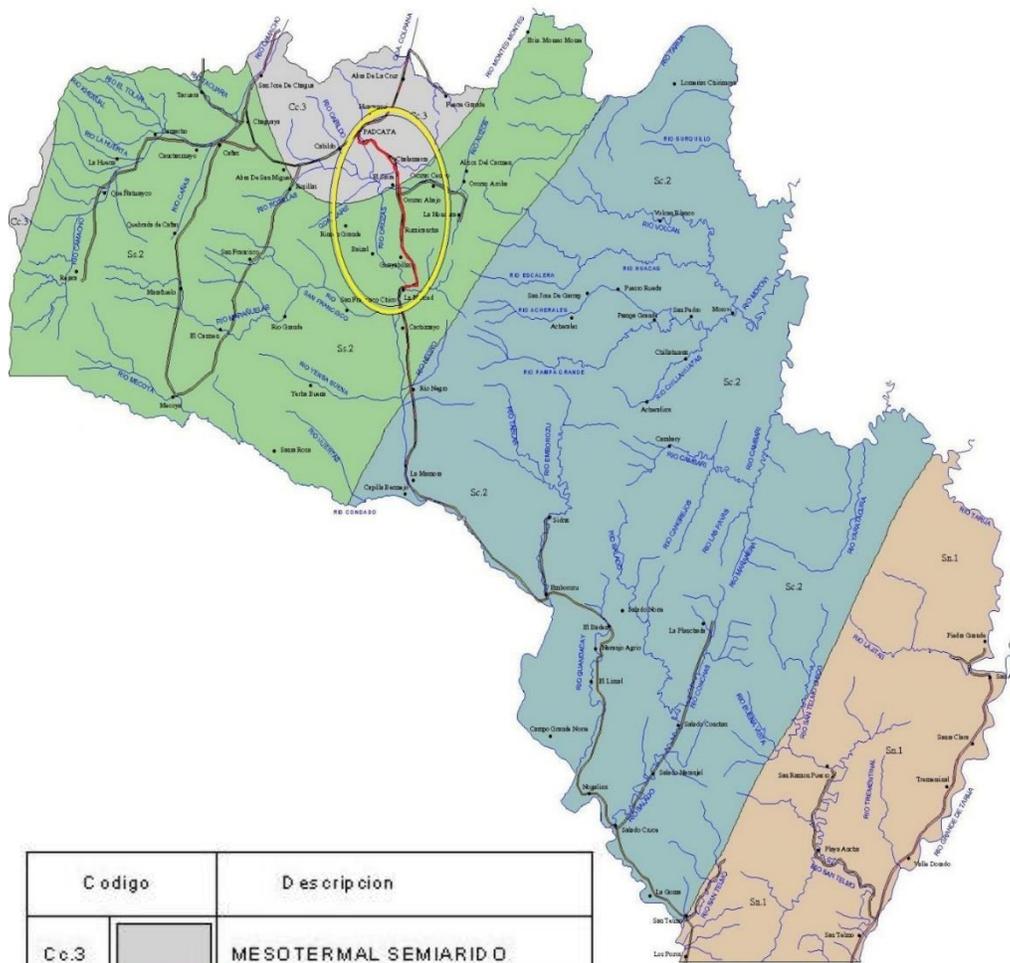
FUENTE: SENAMHI – Tarija

TABLA 3.7. Resumen climatológico de La Merced

Índice	Unidad	Anual
Temperatura máxima media	°C	26,2
Temperatura mínima media	°C	11,7
Temperatura media	°C	18,9
Temperatura máxima extrema	°C	41,4
Temperatura mínima extrema	°C	-4,0
Días con helada		8,0
Días con lluvia		63,0

FUENTE: SENAMHI – Tarija

MAPA 5. Climatología



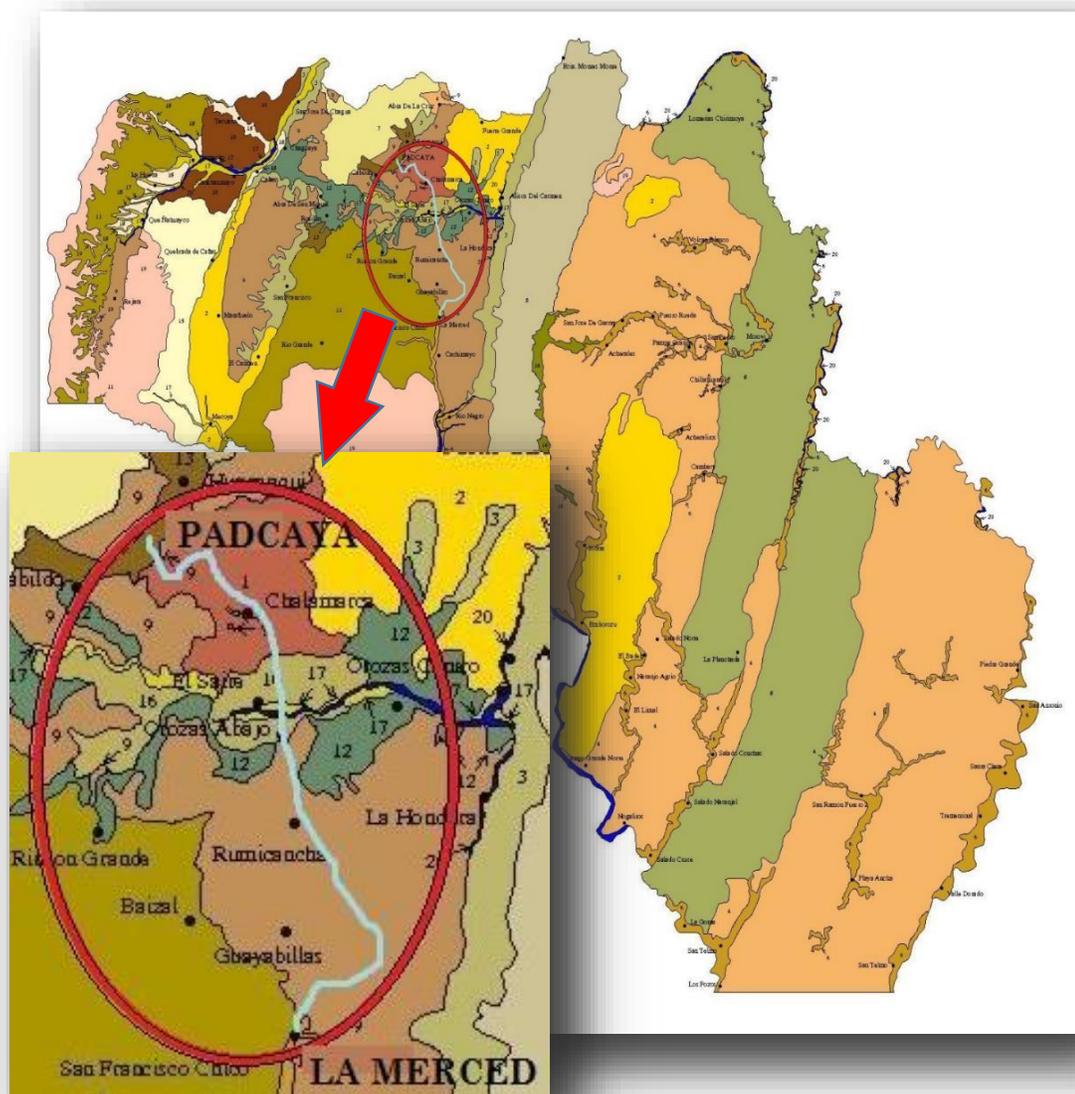
FUENTE: Alcaldía del municipio de Padcaya

3.7. LITOLOGÍA

Cordillera Oriental.- En esta provincia predominan los paisajes de montañas, serranías y colinas medias a altas, piedemontes, llanura fluvio – lacustre, llanura aluvial y valles

menores. Según el mapa 7, se han diferenciado las siguientes unidades de terreno dentro del tramo.

MAPA 6. Litología



FUENTE: Alcaldía del municipio de Padcaya

Litología general según SOTER

Se indica el o los tipos de material superficial. Los materiales componentes del terreno son presentados a continuación, admitiéndose varios tipos de materiales por unidad de terreno.

Llanura de piemonte, disección moderada.- Se localiza a una altura de 2.000 a 2.700 msnm, en la comunidad de Padcaya, presenta pendientes variables, generalmente entre ligeramente onduladas a moderadamente escarpadas, estos piedemontes están formados por sedimentos de origen coluvial. Los suelos son moderadamente profundos a superficiales, con abundantes fragmentos gruesos, textura franco arenosa a franco arcillosa.

Cimas de montaña alta, disección ligera.- Se ubican en el sector Oeste del municipio, a una altura de 2.100 a 3.300 msnm, comprende la cima de los cerros de Rumicancha, la litología corresponde a rocas de areniscas cuarcíticas y limolitas, pendiente moderadamente escarpada.

Cimas de montaña alta, con disección moderada a fuerte.- Ubicadas en el sector Noroeste del municipio, entre 2.200 a 2.900 msnm, comprende la cima de los cerros de Rumicancha, formadas por areniscas cuarcíticas y limolitas, con pendiente moderadamente escarpada.

Montaña alta, disección fuerte.- Localizada al norte de Orozas aproximadamente entre 2.100 a 3.300 msnm, la litología corresponda a areniscas, areniscas cuarcíticas y lutitas, con pendientes moderadamente escarpadas.

Montaña alta, con disección fuerte.- Localizada al noroeste de Padacaya, formando parte de las laderas del cerro Rumicancha, con altitudes entre 2.200 a 2.900 msnm, formada por rocas que corresponde a las areniscas y lutitas, pendientes muy escarpadas a extremadamente escarpadas.

Montaña baja, disección moderada a fuerte.- Localizada en los cerros conocidos como Campanario, la altitud varía entre 1.200 a 3.000 msnm, con litología correspondiente a lutitas y areniscas, las pendientes son generalmente escarpadas.

Colina media y baja, disección moderada.- Se ubica en los alrededores de la comunidad de Rumicancha, Guayabillas y al este de la Merced, entre los 1.400 a 2.300 msnm, con una litología que corresponde a limolitas y pizarras con características poco estables observándose hundimientos permanentes y fuertes procesos de erosión hídrica que han destruido y en sectores hasta la roca madre.

Llanura de piemonte, disección moderada.- Se localiza a una altura de 1.700 a 3.100 msnm, hacia el norte de la comunidad de Orozas Norte presenta pendientes variables, generalmente entre ligeramente onduladas a moderadamente escarpadas, piedemonte formado por sedimentos de origen coluvial, y en algunos casos fluvio-glacial.

Llanura fluvio – lacustre.- Esta llanura se localiza en las comunidades Chalamarca, El Zaire, Orozas Centro y Orozas Abajo, con una altitud que varía entre 1.800 a 2.400 msnm aproximadamente, se caracteriza por presentar una disección moderada a muy fuerte; determinada por una litología que corresponde a sedimentos de origen lacustre, muy inestables a procesos de degradación, observándose fuertes grados de erosión hídrica en todas su formas.

Llanura fluvio – lacustre, disección fuerte.- Unidad de terreno que se localiza en la comunidad de Chalamarca, con una altitud que varía entre 1.900 a 2.100 msnm aproximadamente, se caracteriza por presentar una disección fuerte; paisaje de origen lacustre, muy inestables a procesos de degradación, observándose fuertes procesos de erosión hídrica en todas su formas y grados, especialmente en forma de cárcavas.

Llanura fluvio – lacustre.- Esta unidad se localiza en las comunidades de El Zaire y Orozas Abajo, con una altitud que varía entre 1.800 a 2.100 msnm aproximadamente, se caracteriza por presentar una disección muy fuerte; determinada por una litología que corresponde a sedimentos de origen lacustre, muy inestables a procesos de degradación, observándose severos procesos de erosión hídrica en cárcavas y túneles.

Llanura – aluvial.- Se localiza en las terrazas aluviales del río Orozas, formando parte de las comunidades de La Merced, se caracteriza por estar formada por sedimentos aluviales de diferentes edades; la altitud varía entre 1.100 a 1.700 msnm aproximadamente; con pendientes de casi planas a ligeramente inclinadas.

Disección

El grado de disección es difícil de cuantificar de manera práctica. Factores como cobertura, pendiente y profundidad de los fenómenos disectantes contribuyen a la intensidad de disección del paisaje. Se utiliza la densidad de la red de drenaje como medida cualitativa del grado de disección. Se distinguen 5 clases: **N** Nula, **L** Ligera, **M** Moderada, **F** Fuerte, **X** Muy fuerte.

TABLA 3.8. Resumen de la litología del tramo Padcaya- La Merced

Litología					
Lugar	Paisaje	Disección	Clase	Grupo	Tipo
Padcaya	Serranía baja	Moderada	Sedimentaria	SC sedimentos clásticos	SC2 arenisca, grava, arcilla
				SO sedimentos orgánicos	SO1 caliza y otras rocas carbonatas SO2 marga y otras
	Llanura de piemonte	Moderada	U no consolidada	UC coluvial	
Chalamarca	Serranía baja	Moderada	Sedimentaria	SC sedimentos clásticos	SC2 arenisca, grava, arcilla
				SO sedimentos orgánicos	SO1 caliza y otras rocas carbonatas SO2 marga y otras
	Llanura fluvio lacustre	Fuerte	U no consolidada	UL lacustrino	
	Llanura aluvial	Moderada	U no consolidada	UF fluvial	
El Zaire	Llanura fluvio lacustre	Fuerte	U no consolidada	UL lacustrino	
	Llanura aluvial	Moderada	U no consolidada	UF fluvial	
	Montaña alta	Fuerte	Sedimentaria	SC sedimentos clásticos	SC1 conglomerados, breccia
			Metamórfica	MA metamórfica ácida	SC3 limolita, arcillita
					SC4 lutita
	Llanura aluvial	Moderada	U no consolidada	UF fluvial	MA1 cuarcita
	Llanura fluvio lacustre	Muy fuerte	U no consolidada	UL lacustrino	
	Llanura de piemonte	Moderada	U no consolidada	UC coluvial	

FUENTE: Elaboración propia

Litología						
Lugar	Paisaje	Disección	Clase	Grupo	Tipo	
Rumicancha	Llanura fluvio lacustre	Moderada	U no consolidada	UC coluvial		
				UL lacustrino		
	Montaña alta	Fuerte	Sedimentaria	SC sedimentos clásticos	SC1 conglomerados, breccia	
					SC2 arenisca, grava, arcilla	
					SC3 limolita, arcillita	
					SC4 lutita	
	Cima de montaña alta	Ligera	Sedimentaria	SC sedimentos clásticos	SC2 arenisca, grava, arcilla	
					SC3 limolita, arcillita	
	Cima de montaña alta	Ligera	Metamórfica	MA metamórfica ácida	MA1 cuarcita	
					MA1 cuarcita	
Rumicancha	Cima de montaña alta	Moderada a fuerte	Sedimentaria	SC sedimentos clásticos	SC2 arenisca, grava, arcilla	
					SC3 limolita, arcillita	
					SC4 lutita	
	Colina media	Moderada a baja	Metamórfica	MA metamórfica ácida	MA1 cuarcita	
					MA1 cuarcita	
Colina media	Moderada a baja	Sedimentaria	SC sedimentos clásticos	SC2 arenisca, grava, arcilla		
				SC3 limolita, arcillita		
Colina media	Moderada a baja	M metamórfica	MB metamórfica básica	MB1 pizarra, filita (pelíticas)		
				MB1 pizarra, filita (pelíticas)		
			U no consolidada	UC coluvial		

FUENTE: Elaboración propia

Litología								
Lugar	Paisaje	Dissección	Clase	Grupo	Tipo			
Guayabillas	Colina baja	Moderada	Sedimentaria	SC sedimentos clásticos	SC3 limolita, arcillita			
			M metamórfica		MB metamórfica básica	MB1 pizarra, filita (pelíticas)		
	Colina media	Moderada a baja	U no consolidada	UC coluvial				
			Sedimentaria	SC sedimentos clásticos	SC2 arenisca, grava, arcilla			
Campanario	Montaña baja	Fuerte	Sedimentaria	SC sedimentos clásticos	SC2 arenisca, grava, arcilla			
					SC3 limolita, arcillita			
					SC4 lutita			
La Merced	Colina baja	Moderada	Sedimentaria	SC sedimentos clásticos	SC3 limolita, arcillita			
					MB metamórfica básica	MB1 pizarra, filita (pelíticas)		
					UC coluvial			
	Colina media	Moderada a baja	Sedimentaria	SC sedimentos clásticos	SC2 arenisca, grava, arcilla			
						M metamórfica	MB metamórfica básica	SC3 limolita, arcillita
						U no consolidada	UC coluvial	SC4 lutita
Colina media Llanura aluvial	Moderada a baja Fuerte	M metamórfica		MB metamórfica básica	MB1 pizarra, filita (pelíticas)			
					U no consolidada	UC coluvial		

FUENTE: Elaboración propia

3.8. TOPOGRAFÍA

La Topografía de la zona es accidentada, se observan cadenas montañosas elevadas y así también variaciones de pendientes desde ligeramente plana, ondulada, y escarpada, con lugares húmedos, áridos, con vegetación en algunas zonas y con escasa presencia en otras.

Relieve: pendiente dominante.- Se establecen las siguientes clases de pendientes en el tramo Padcaya-La Merced:

Moderadamente escarpado en la zona de Padcaya, Chalamarca y La Merced con pendientes que varían del 15-30%.

Fuertemente escarpado en la zona del cerro de Orozas y parte de Guayabillas con pendientes que varían del 30-60%.

Extremadamente escarpado en la zona Alta de Guayabillas que presenta pendientes más elevadas >60%.

Elevación máxima del tramo (msnm).- Elevación máxima absoluta de la unidad de terreno es 2300 metros sobre el nivel del mar.

Elevación mínima (msnm).- Elevación mínima absoluta de la unidad de mapeo es de 1800 metros sobre el nivel del mar.

El análisis de la estabilidad de taludes se realiza básicamente a través de perfiles topográficos transversales del área en estudio. En el caso particular de este estudio se requirió conocer la topografía del talud de la zona de Guayabillas-Campanario y Campanario –La Merced.

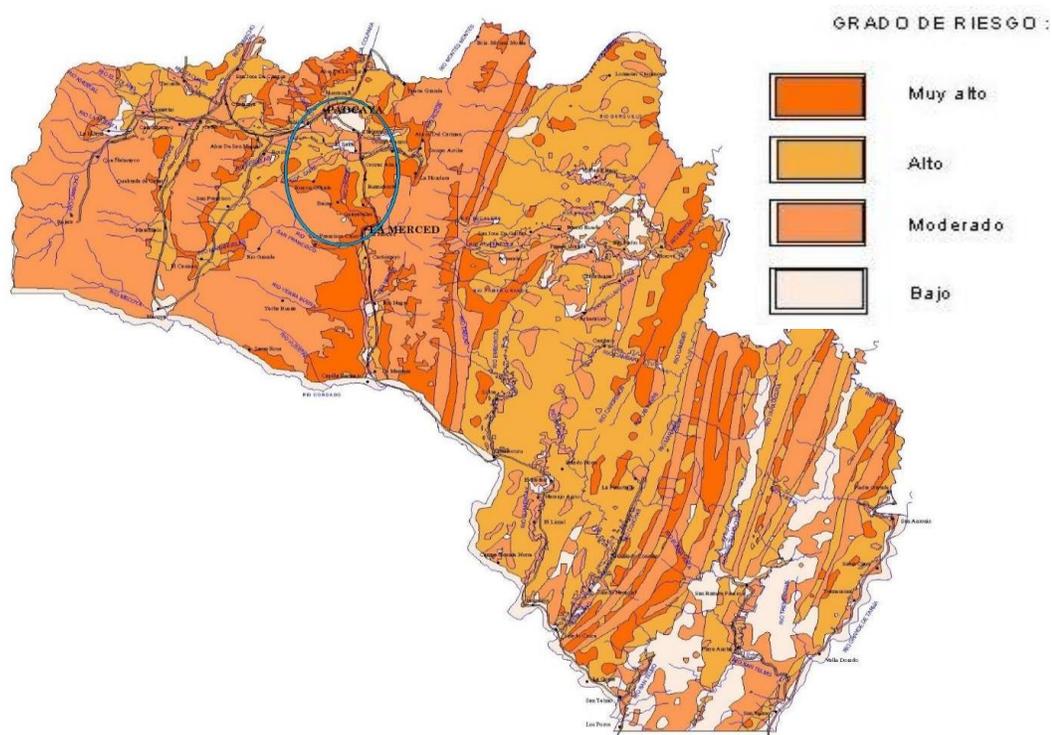
3.9. RIESGO Y VULNERABILIDAD

Identificación de áreas con amenaza de erosión hídrica.-La amenaza en el tramo indica una proporción muy grande del territorio sometido a esta erosión. La misma que tiene una relación con los paisajes montañosos y de serranías de climas semiáridos donde la cobertura vegetal brinda muy poca protección contra los efectos del impacto de las gotas de lluvia y la escorrentía superficial, el mayor riesgo se encuentra por el sector de Guayabillas y Campanario; donde el riesgo de erosión hídrica es muy alto, siguiendo el

sector de La Merced con un riesgo alto a muy alto, posteriormente continua Orozas con un riesgo alto, Chalarmarca y Padcaya con un riesgo de erosión de bajo a moderado.

Los grados han sido asignados, usando el mapa de geomorfología, información de la base de datos de ZONISIG, sobre la presencia y grado de erosión por unidad de terreno y esto se ha relacionado con la vegetación presente, así como la pendiente general.

MAPA 7. Riesgo y vulnerabilidad a la erosión hídrica



FUENTE: Alcaldía del municipio de Padcaya

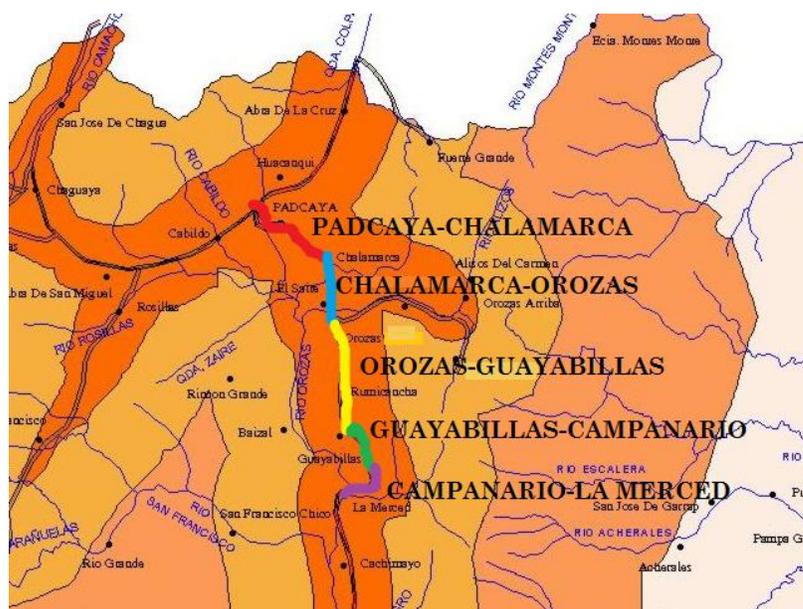
3.10. EVALUACIÓN DE TALUDES EN EL TRAMO PADCAYA- LA MERCED

3.10.1. Características de los taludes del tramo

Dentro del tramo existen fenómenos de geodinámica externa, producto de factores climatológicos, geológicos, la acción erosiva del viento y lluvias; y fallas tectónicas dentro de la corteza terrestre que son riesgosos ya que no se tiene conocimiento del momento en que las mismas pueden volver a su lugar, son factores fundamentales de deslizamiento, y una amenaza para la vida y la propiedad en el territorio.

Para efectuar la evaluación, se realizó un análisis de los distintos problemas que presentan los taludes en todo el sector, a través de una visita de campo e inspección visual, se establecieron las características de los taludes, el fallamiento superficial que mostraron y las señales de desprendimientos continuos. Dentro de todo el tramo se observó taludes naturales y artificiales conformados de suelo como así también macizo rocoso. El tramo en estudio fue dividido en 5 zonas para realizar la respectiva evaluación.

FIGURA 3.6. Ubicación de la zona de evaluación del tramo Padcaya-La Merced



FUENTE: Elaboración propia

ZONA 1. Padcaya- Chalamarca

El sector de **Padcaya- Chalamarca**, se encuentra a una altura de 1800 a 2100 msnm, progresivas 13+500 a 16+080, presentan aproximadamente una longitud de 780 m de taludes al salir de la comunidad de Padcaya, dentro de la zona con pendientes ligeramente onduladas a moderadamente escarpadas, inclinaciones de taludes aproximadamente de 70°, alturas menores a 15 m, formados por sedimentos de origen coluvial, arena y arcilla, con abundantes fragmentos gruesos, de textura arenosa y arcillosa así mismo su litología que corresponde a sedimentos de origen lacustre, frágiles a procesos de degradación en algunos sectores con fuertes grados de erosión hídrica, y también existen taludes conformados de lutitas existe vegetación entre ellas matorrales, pinos de cerro, pastizales bajos y matorrales. En esta zona no ha habido preocupaciones durante la temporada de lluvias.

FIGURA 3.7. Taludes Padcaya- Chalamarca progresiva 13+930 a 13+940



FUENTE: Elaboración propia

ZONA 2. Chalamarca – Orozas progresivas 16+080 a 19+150

En esta zona los taludes no tienen riesgo de deslizamiento ya que no tienen alturas elevadas, son escasos y se presentan en tramos cortos en la zona.

FIGURA 3.8. Taludes Chalamarca – Orozas progresivas 17+100 a 17+300



FUENTE: Elaboración propia

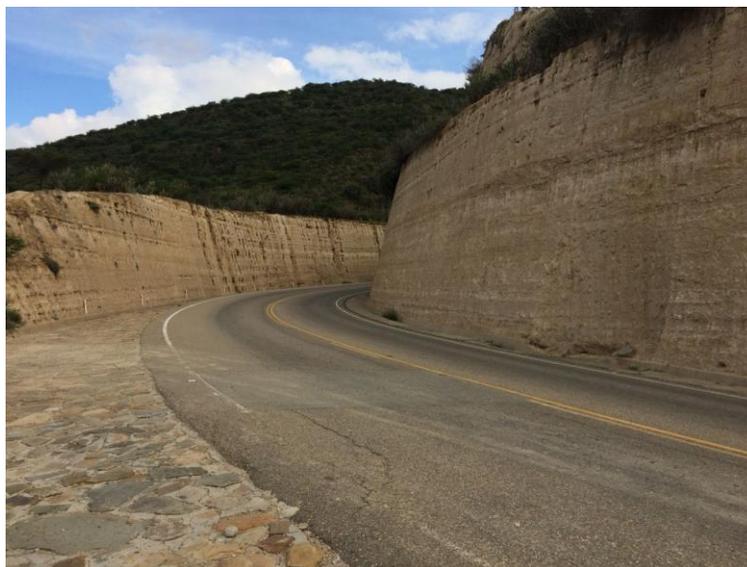
ZONA 3. Orozas- Guayabillas

El sector de **Orozas – Guayabillas**, se encuentra a una altura de 2.100 a 2.800 msnm, progresivas 19+150 a 21+190, presentan aproximadamente una longitud de 1000 m de taludes de corte, esta zona muestra taludes a ambos lados de la carretera, dentro de la zona existen pendientes fuertemente escarpadas, inclinaciones variables de 60° a 80°, alturas mayores a 15 m, formados por taludes conformados de arcillas, lutitas y roca blanda. Los cortes realizados en la zona se mantienen estables, ya que poseen buena cohesión del material, en algunos lugares existe vegetación entre ellas matorrales, pinos de cerro, pastizales bajos y matorrales, que de cierto modo le brinda estabilidad a los taludes. En esta zona no ha habido preocupaciones durante la temporada de lluvias.

En cuanto a las obras de drenaje los taludes poseen caídas verticales escalonadas que drenan las aguas de las zanjas de coronación de manera favorable, las alcantarillas se encuentran funcionando a cabalidad, muestran señales de deterioro entre ellas: fisuras y

grietas en algunas zonas, en cuanto a la limpieza se encuentran limpias sin presencia de basura o partículas de suelo desprendido.

FIGURA 3.9. Taludes Orozas - Guayabillas progresiva 20+250 a 20+300



FUENTE: Elaboración propia

ZONA 4. Guayabillas – Campanario

La zona de estudio que corresponde al sector de **Guayabillas – Campanario** se encuentran entre las progresivas 21+190 a 23+800 con una longitud total de taludes en el tramo es de 1.155m, esta zona muestra taludes a ambos lados de la carretera, así también dentro de la zona existen pendientes fuertemente escarpadas y extremadamente escarpadas en la zona alta de Guayabillas, inclinaciones variables de 60° a 88° , alturas mayores a 20 m, conformados por materiales gruesos de hasta 40 cm de tamaño máximo envueltos en una matriz limo arcillosa, materiales de poca cohesión, de esa forma los cortes realizados en la zona presentan desprendimientos constantes, ya que poseen poca cohesión del material, y ángulos de inclinación elevados; en algunos lugares existe vegetación, los pocos suelos que quedan son superficiales a moderadamente profundos, con fertilidad baja a moderada, cubiertos por matorrales y pastizales. En esta zona surgen deslizamientos durante la temporada de lluvias.

En cuanto a las obras de drenaje los taludes poseen caídas verticales escalonadas que drenan las aguas de las zanjas de coronación de manera favorable, las alcantarillas se encontraron llenas de sedimento, muestran señales de deterioro entre ellas: fisuras y grietas en algunas zonas, en cuanto a las cunetas en algunos sectores se encontraron llenas de material desprendido de los taludes. (Detalle Anexo 1).

FIGURA 3.10. Taludes Guayabillas- Campanario progresiva 23+510 a 23+620



FUENTE: Elaboración propia

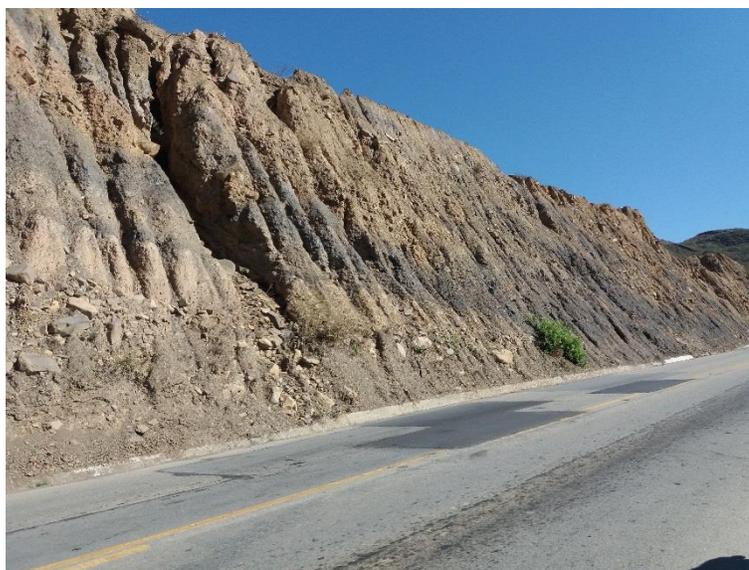
ZONA 5. Campanario- La Merced

El sector de **Campanario – La Merced** (Zona 5), se encuentra a una altura de 1400 a 2.300 msnm, progresivas 23+800 a 25+100 presentan aproximadamente una longitud de 1200 m de taludes antes de llegar al sector de La Merced, dentro de la zona con pendientes fuertemente escarpadas, inclinaciones variables de 40° a 60°, alturas menores a 15 m, con

una litología que corresponde a rocas limotitas, pizarras, coluviones con presencia de limo y arcillas con características de rocas blanda y sedimentos sueltos, en algunos tramos se observan fisuras de la rocas con filtraciones de agua , así mismo fuertes procesos de erosión hídrica y algunos desprendimientos de las partículas, existe vegetación entre ellas matorrales aunque presenta fertilidad baja..

En cuanto a las obras de drenaje los taludes las alcantarillas se encuentran en mal estado, con partículas de roca muestran señales de deterioro entre ellas: fisuras y grietas en algunas zonas, en cuanto a la limpieza se encuentran limpias sin presencia de basura o partículas de suelo desprendido.

FIGURA 3.11. Taludes Campanario-La Merced progresiva 24+100 a 24+160



FUENTE: Elaboración propia

3.10.2. Verificación de la estabilidad de los taludes más críticos del tramo Padcaya- La Merced. (Detalle Anexo1).

ZONA 1. PADCAYA-CHALAMARCA

Lugar: Zona de Padcaya progresivas 12+930 a 13+015

Corte Lado izquierdo

Progresiva: 12+930 hasta 13+015

Inclinación=70°

Longitud=85 m

Altura=10 m

Tipo de suelo: Arcilla seca erosionada

Peso Específico=2,63 g/cm³

Cohesión=0,25 Kg/cm²

Ángulo de fricción=23°

ZONA 3. OROZAS-GUAYABILLAS

Lugar: Zona de Orozas progresivas 20+200 a 20+325

Corte Lado derecho

Progresiva: 20+200 hasta 21+325

Inclinación=80°

Longitud=125 m

Altura=20 m

Tipo de suelo: Arcilla amarilla

Peso Específico=2,7 g/cm³

Cohesión=0,44 Kg/cm²

Ángulo de fricción=19°

ZONA 4. GUAYABILLAS-CAMPANARIO

Lugar: Zona Alta de Guayabillas progresivas 21+215 hasta 21+530

Corte Lado derecho

Corte Lado izquierdo

Progresiva: 21+215 hasta 21+350

Progresiva: 21+215 hasta 21+530

Inclinación=70°

Inclinación=67°

Longitud=135 m

Longitud=315 m

Altura=12,5 m

Altura=18 m

Clasificación de suelos: GM

Clasificación de suelos: GM

Peso Específico=2,559 g/cm³

Peso Específico=2,562 g/cm³

Cohesión=0,14 Kg/cm²

Cohesión=0,15 Kg/cm²

Ángulo de fricción=28°

Ángulo de fricción=26°

Lugar: Zona de Guayabillas progresivas 23+055 hasta 23+752

Corte Lado izquierdo

Corte Lado derecho

Progresiva: 23+055 hasta 23+752

Progresiva: 23+ 392 hasta 23+511

Inclinación=77°

Inclinación=81°

Longitud=697 m

Longitud=119 m

Altura=40 m

Altura=25 m

Clasificación de suelos: GC-GM

Clasificación de suelos: GC-GM

Peso Específico=2,59 g/cm³

Peso Específico=2,588 g/cm³

Cohesión=0,17 Kg/cm²

Cohesión=0,17 Kg/cm²

Ángulo de fricción=24°

Ángulo de fricción=23°

ZONA 5. CAMPANARIO-LA MERCED

Lugar: Zona de Campanario progresivas 23+800 hasta 23+943

Corte Lado izquierdo

Inclinación=76°

Longitud=143 m

Altura= 19,5 m

Clasificación de suelos= GP, GC

Peso Específico=2,59 g/cm³

Cohesión = 0,21 Kg/cm²

Angulo de fricción= 26°

3.10.3. Análisis de estabilidad de taludes a través de la determinación del factor de seguridad a través del programa GEOSLOPE/W

Se determinó el factor de seguridad con diferentes métodos de estabilidad, para escoger las alternativas de solución se consideró el F.S. más crítico. (Detalle Anexo 3).

ZONA 1. PADCAYA-CHALAMARCA

TABLA 3.9. Factor de seguridad en estado actual tramo Padcaya-Chalamarca

Método F.S	Zona 1
	Izquierdo
Janbu	1,018
Janbu Generalizado	-
Morgenstern-Price	1,125
Obispo	1,007
Ordinario	1,012
Spencer	1,125

FUENTE: Elaboración propia

TABLA 3.10. Factor de seguridad en estado actual tramo Orozas-Guayabillas.

Método F.S	Zona 2
	Derecho
Janbu	1,013
Janbu Generalizado	-
Morgenstern-Price	1,016
Obispo	1,009
Ordinario	1,006
Spencer	1,010

FUENTE: Elaboración propia

El F.S en todos los casos el F.S es mayor a 1 por tanto todos los taludes a ser evaluados son estables.

TABLA 3.11. Factor de seguridad en estado actual tramo Guayabillas-Campanario

Método F.S	Zona 4		Zona 4	
	Derecho	Izquierdo	Derecho	Izquierdo
Janbu	0,336	0,516	0,262	0,308
Janbu Generalizado	0,340	0,526	0,266	0,313
Morgenstern-Price	0,590	0,528	0,499	0,461
Obispo	0,348	0,528	0,273	0,318
Ordinario	0,327	0,516	0,262	0,308
Spencer	0,448	0,528	0,444	0,408

FUENTE: Elaboración propia

TABLA 3.12. Factor de seguridad en estado actual tramo Campanario-La Merced

Método F.S	Zona 5
	Izquierdo
Janbu	0,336
Janbu Generalizado	0,223
Morgenstern-Price	0,486
Obispo	0,221
Ordinario	0,210
Spencer	0,457

FUENTE: Elaboración propia

El F.S en todos los casos el F.S es menor a 1 por tanto todos los taludes a ser evaluados son inestables y para ello se tiene que prever algún parámetro de mejoramiento de la estabilidad.

3.10.4. Análisis de susceptibilidad y amenazas de los taludes inestables

Para iniciar con el procesamiento de la determinación de amenazas se obtuvieron en campo para cada talud, los parámetros de estudios geológicos, topográficos y ambientales. Para la calificación de los diversos parámetros ambientales se observó el deterioro que existe en la zona, en cuanto a la geología se recopiló información del Municipio de Padcaya, sobre el comportamiento y caracterización de los materiales del tramo, y para la topografía se realizaron los levantamientos correspondientes en los taludes mencionados.

Se realizó el análisis de vulnerabilidad y amenaza a los desprendimientos utilizando tablas del IUGS, grupo de trabajo de deslizamientos, que se dividen en cuatro factores fundamentales como lo son la susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y el riesgo, de los cuales solo se realizó el estudio para los factores de susceptibilidad y amenaza.

ZONA 4

Lugar: Zona Alta de Guayabillas

1. Grado de Susceptibilidad

Para la determinación del grado de susceptibilidad se utilizó la sumatoria de los valores sugeridos en la tabla de valoración de factores para evaluación de susceptibilidad a deslizamiento debida a lluvia y la tabla de valores relativos para la susceptibilidad a deslizamiento debido a factores geológicos y geotécnicos. (FUENTE: Suárez Díaz, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga-Colombia.)

- Análisis de Susceptibilidad por lluvias de los taludes progresiva 21+215 a 21+530

Para la determinación de susceptibilidad por lluvias se tomaron en cuenta las dimensiones del talud que fueron obtenidas en el levantamiento topográfico; no se observaron salientes topográficas, se consideró como espesor de la capa de suelo a la altura total de 18 m para el lado izquierdo y 12,5 m para el lado derecho, considerando que no existe una diferenciación de estratos, se pudo ver el material componente de los taludes presentaba características uniformes a lo largo del tramo, es decir presentó la misma estructura en todo el talud, se observó presencia de agua en ambos taludes izquierdo y derecho, en

cuanto a las fallas, se pudo distinguir parte de los taludes erosionados, algunos sectores con cárcavas profundas.

-Análisis de susceptibilidad a deslizamientos debida a factores geológicos y Geotécnicos progresiva 21+215 a 21+530

Para la determinación de la susceptibilidad por factores geológicos y geotécnicos se tomaron en cuenta la formación geológica que depende de la calidad de la formación del talud, está conformado por sedimentos por conglomerado cementados con arena y arcilla, en cuanto a su estructura dependiendo de su buzamiento cabe recalcar que al ser un tipo de suelo sedimentario con partículas gruesas con buzamiento horizontal o 0°, se tomó en cuenta la disposición de los clastos y por presentar signos de erosión y algunas partículas sueltas se calificó a ambos taludes que se encuentran en estas progresivas como favorable a deslizamientos, el grado de meteorización corresponde a otro tipo de rocas metamórficas, por lo tanto no se asumió valor en ese punto, posteriormente podemos mencionar que el talud izquierdo presenta algunas partes con hundimientos vertical, existe nivel freático que se hace presente a través de filtraciones superficiales, en algunos sectores donde el suelo permanece saturado.

TABLA 3.13. Valoración de factores para evaluación de susceptibilidad a deslizamiento debida a lluvia - talud progresivas 21+215 a 21+530

Factor	Característica	Peso
Altura de Talud	18m	7
Inclinación de Talud	70°	1
Salientes Topográficas	Ausentes	0
Espesor de suelo superficial	≥0.5m	1
Nacimientos de Agua	Presentes	1
Fallas alrededor del área	Presentes	3
	Peso Total	13

FUENTE: Elaboración propia

TABLA 3.14. Valores relativos para la susceptibilidad a deslizamiento debido a factores geológicos y geotécnicos - talud progresivas 21+215a21+530

Factor	Calificación	Peso
Formación geológica	Coluvión	5
Estructura	Favorable a los deslizamientos	3
Erosión	Muy erosionada	3
Nivel freático	Presente	5
	Peso Total	16

FUENTE:
propia

Elaboración

La sumatoria de los pesos totales de los factores de lluvia y los factores geológicos y geotécnicos nos da un valor de 29.

TABLA 3.15. Grado de susceptibilidad talud progresivas 21+215 a 21+530

Valor total de susceptibilidad		
Clase	Valor	Descripción de la susceptibilidad
1	0 - 5	Muy baja
2	6 - 15	Baja
3	16 - 24	Moderada
4	25 - 33	Alta
5	> 34	Muy alta

FUENTE: Elaboración Propia

Alta.- Laderas que tienen zonas de falla, meteorización alta o moderada y las discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.

(*FUENTE:* Suárez Díaz, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga-Colombia.)

2. Grado de amenaza

Análisis de amenaza por factores geológicos de los taludes progresiva 21+215 a 21+530

Factor litología, se trata de material coluvial en ambos taludes izquierdo y derecho, compuesto de gravas, arenas gruesas, arenas finas y finos con desprendimiento de partículas muy frecuente, ya que entre sus partículas existen areniscas en menor proporción, sin embargo es importante establecer que el material se desprende porque los finos tienen baja cohesión, permitiendo que las partículas de mayor peso se deslicen hacia el pie del talud, en su estructura se debe definir los siguientes parámetros: relación de Paralelismo entre talud y las discontinuidades: el valor para este talud de la relación entre paralelismo y las discontinuidades se determinó in situ a través de la medición con huincha sobre la cabecera del talud, entre las direcciones de los clastos del talud, al estar conformado por material granular grueso en su mayoría, no se pudo identificar bien las discontinuidades, aproximadamente la magnitud que se obtuvo fue 10° para el talud izquierdo y 11° para el talud derecho, con ése ángulo se establece el peso de la tabla cuyo valor es 0,4 para el primero y 0,3 para el segundo respectivamente, el espesor de la capa de suelo: para ambos taludes se ha considerado como espesor de la capa de suelo a la altura total de 18 m para el lado izquierdo y 12,5 m para el lado derecho, considerando que no existe una diferenciación de estratos, puesto que presenta la misma estructura en todo el talud.

TABLA 3.16. Parámetros de estudio geológico talud progresivas 21+215 a 21+530

Factores geológicos			
Factores	Descripción	Categoría	Peso
Litología	Tipo de material	Coluviones antiguos	1,2
Estructura	Relación paralelismo entre el talud y las discontinuidades	10°	0,4
	Espesor de la capa de suelo	18m	2,0
Peso total			3,6

FUENTE: Elaboración propia

Análisis de amenaza por factores topográficos y ambientales de los taludes progresiva 21+215 a 21+53

Se toma en cuenta las características geométricas de los taludes entre estas progresivas, poseen ángulos de inclinación de 70° para el talud izquierdo y 67° para el talud derecho, el relieve relativo no corresponde en el estudio del talud en estudio ya el talud se encuentra en una zona alta, en este sector no existe valle, en cuanto al uso de la tierra se observa escasa vegetación en algunas partes mientras que en otras la erosión es muy notable, las aguas subterráneas se hacen presentes por medio de filtraciones por sectores del cuerpo del talud izquierdo ya que se encuentra al lado de la montaña, mientras que el derecho carece de presencia de agua.

TABLA 3.17. Parámetros de estudios topográficos y ambientales talud progresivas 21+215 a 21+530

Factores topográficos y ambientales		
Factor	Categoría	Peso
Morfometría Pendiente de los taludes	70°	2,0
Uso de la tierra	Vegetación escasa	1,5
Aguas subterráneas	Húmedo	0,2
	Peso total	3,7

FUENTE: Elaboración propia

La sumatoria de los pesos totales de los factores geológicos y los factores topográficos y ambientales nos da un valor de 5,7

TABLA 3.18. Grado de amenaza total talud progresivas 21+215 a 21+530

Sumatoria o Amenaza Total		
Amenaza Total	Descripción	Suma de los pesos
I	Amenaza muy baja	3,5
II	Amenaza baja	3,5 a 5,0
II	Amenaza moderada	5,1 a 6,0
IV	Amenaza alta	6,1 a 7,5
V	Amenaza muy alta	7,5

FUENTE: Elaboración propia

3.10.5. Resumen de grados de susceptibilidad y amenazas de los taludes,(Anexo2)

TABLA 3.19. Resumen de grados de susceptibilidad

Valor total de susceptibilidad			
Talud		Valor	Descripción de la susceptibilidad
ZONA 1	Izquierdo	29	Alta
	Derecho	25	Alta
ZONA 2	Izquierdo	26	Alta
	Derecho	26	Alta
ZONA 3	Izquierdo	32	Muy alta

FUENTE: Elaboración propia

Los valores del grado de susceptibilidades dan valores de susceptibilidad de Alta a muy Alta, en base a los parámetros geológicos, topográficos y ambientales de acuerdo a cada talud de estudio.

TABLA 3.20. Resumen de grados de amenaza

Valor total de amenaza			
Talud		Valor	Descripción de la amenaza
ZONA 1	Izquierdo	5,7	Moderada
	Derecho	5,2	Moderada
ZONA 2	Izquierdo	6,9	Alta
	Derecho	6,9	Alta
ZONA 3	Izquierdo	7,8	Muy alta

FUENTE: Elaboración propia

Las amenazas son más altos por los ángulos y alturas elevadas de los mismos, por sus terrenos áridos, la falta de vegetación, además cabe mencionar que la disposición de los clastos en los últimos tramos no tiene una disposición uniforme.

La gran actividad deslizante en esta zona se debe principalmente al ángulo del talud, agresividad de la erosión de los suelos, a la falta de medidas de control, de mitigación y a la ausencia de vegetación, constituyendo a los taludes desnudos en muchos de los casos. El hecho que no existan prácticas de protección agrava el proceso de deslizamientos.

De acuerdo al análisis de riesgo y las características del talud, las mallas de protección en el segundo tramo mostraron buen funcionamiento, ya que el riesgo en esa zona es Alto y hasta el momento esta protección cumple a cabalidad su función de sostener al talud, de esa manera resultaría más económico y evitará que las rocas sueltas, caigan a la calzada o cunetas de la carretera.

3.10.6. Alternativas de solución

1° Alternativa

Abatimiento de talud y refuerzo con anclaje de $\phi 32\text{mm}$ e inyección de cemento para la Zona 1 y 3, mientras que para la Zona 2 se usará tan solo refuerzo con anclaje $\phi 36\text{mm}$ e inyección de cemento.

Zona 4. GUAYABILLAS-CAMPANARIO

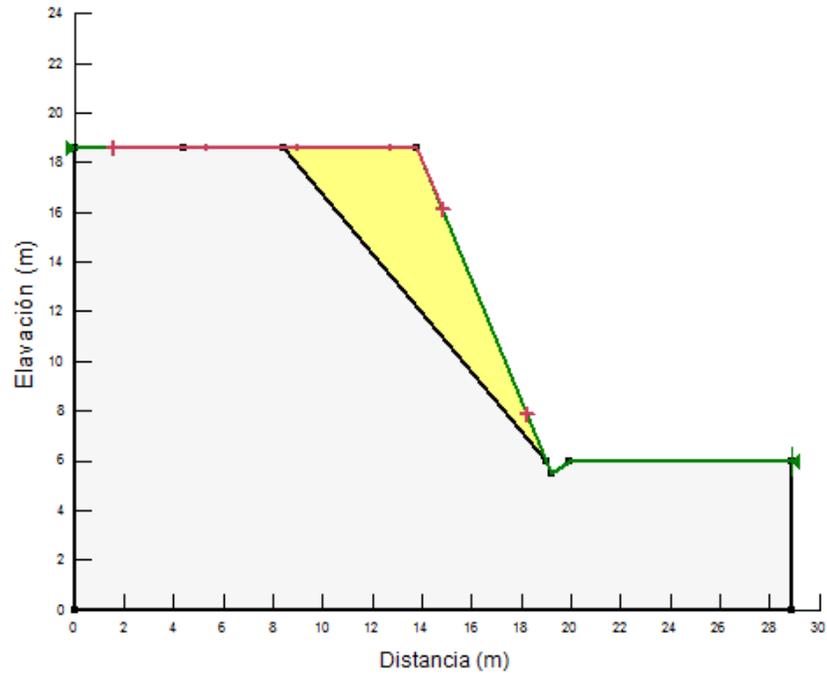
Lugar: Zona alta de Guayabillas

Talud Derecho progresiva 21+215 hasta 21+350

En el talud de 67° se realizó un corte quedando el mismo con una inclinación de 50° y se reforzó con 4 barras de acero de $\phi 32\text{mm}$ de 2 m de longitud cada 2 m, posteriormente se verificó la estabilidad a través del programa GEOSLOPE/W en condiciones normales y en época de lluvia.

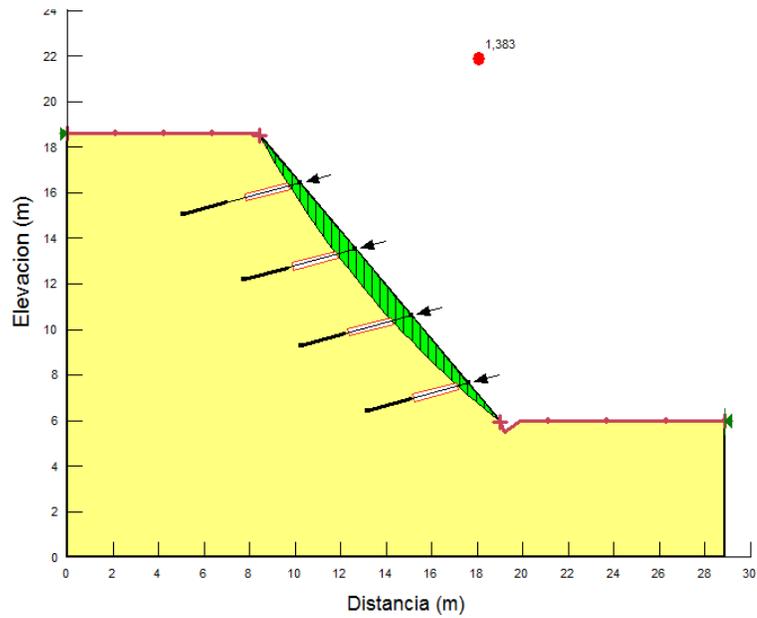
Longitud=135 m, Área de corte=26,875 m², Volumen de corte= 3628,125 m³

FIGURA 3.12. FS talud derecho modificación de 67° a 50°



FUENTE: Elaboración propia

FIGURA 3.13. FS Talud derecho 50° , con anclajes de refuerzo



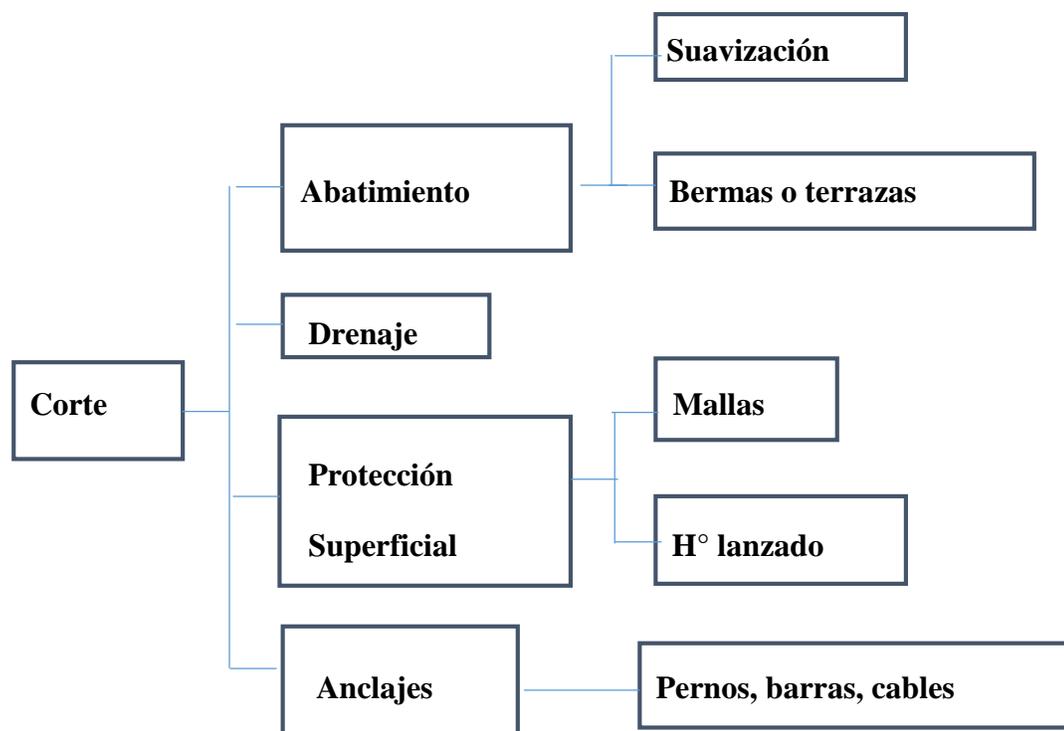
FUENTE: Elaboración propia

TABLA 3.21. Factor de seguridad aplicando la 1° alternativa de solución

N°	Método	FS (normal)	FS (corte)	FS (corte+anclaje)	FSlluvia (corte+anclaje)
1	Janbu	0,336	0,620	1,382	1,257
2	Janbu Generalizado	0,34	0,631	1,386	1,262
3	Morgenstern-Price	0,59	0,632	1,390	1,262
4	Obispo	0,348	0,632	1,391	1,264
5	Ordinario	0,327	0,620	1,382	1,257
6	Spencer	0,448	0,632	1,382	1,259

FUENTE: Elaboración Propia

(Detalle Anexo 2).

MAPA 8. Alternativas de solución para la estabilidad de taludes en suelos

FUENTE: Elaboración propia

Entre las soluciones para estabilización de los taludes inestables uno de varios recursos es la utilización de inclusiones, como es la técnica de los anclajes, esto debido a su versatilidad de aplicaciones y a las ventajas que ofrece respecto a otros métodos convencionales de estabilización de taludes.

Las consideraciones para el diseño de los refuerzo con anclajes utilizando barras de acero e inyecciones de lechada de cemento fueron consideradas de acuerdo al tipo de material constituyentes del talud, dentro del tramo se presentan taludes de corte, conformados por suelo. (Detalle Anexo2).

Lugar: Zona Alta de Guayabillas

Talud izquierdo progresiva 21+215 hasta 21+530

Para el talud izquierdo se procede a realizar el corte del talud de 70° modificando el ángulo de inclinación a 50° y añadiendo dos banquetas cada 5 m de altura, con un ancho de 4 m, en el programa no se consideraron las zanjas de coronamiento, lo que favorece al FS en época de lluvia; posteriormente se reforzó con 9 barras de acero de $\phi 32$ mm de 2 m de longitud cada 2 m.

Longitud=315 m, área de corte=47,5 m², volumen de corte= 14.962,5 m³

Lugar: Zona de Guayabillas

Talud derecho progresiva 23+ 392 hasta 23+511

Para el talud derecho es reforzado con 9 barras de acero de $\phi 36$ mm, en este talud se aumenta el diámetro del anclaje ya que si se realizaría el movimiento de tierras sería muy grande y el talud se encuentra protegido con una malla de acero de tripe torsión, los anclajes utilizados son de 2 m de longitud cada 2 m. En este talud no se realizaron modificaciones por corte.

Lugar: Zona de Guayabillas

Talud izquierdo progresiva 23+055 hasta 23+752

Para el talud izquierdo es reforzado con 12 barras de acero de $\phi 36$ mm, en este talud se aumenta el diámetro del anclaje ya que si se realizaría el movimiento de tierras sería muy grande y el talud se encuentra protegido con una malla de acero de tripe torsión, los

anclajes utilizados son de 2 m de longitud cada 2 m. En este talud no se realizaron modificaciones por corte.

Zona 5. CAMPANARIO-LA MERCED

Lugar: Campanario

Talud izquierdo progresiva 24+000 hasta 24+143

Para el talud izquierdo se procede a realizar la modificación del talud haciendo una banquina de 76° a 9m de altura y con un ancho de 4 m, en el programa no se consideraron las zanjas de coronamiento, lo que favorece al FS en época de lluvia; y se reforzó con 6 barras de acero de $\phi 32$ mm de 2 m de longitud cada 2m.

Longitud=143 m, área de corte=35 m², volumen de corte= 5.005 m³

3.10.7. Presupuesto general

Precios unitarios

PLANILLA DE PRECIOS UNITARIOS					
DATOS GENERALES:					
Actividad: Excavación con retroexcavadora para corte de talud				Ítem: 1	
Cantidad:		Moneda: Bs		Unidad: m ³	
1. MATERIALES					
N°	DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
1					
2					
TOTAL MATERIALES					0,00
2.MANO DE OBRA					
N°	DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
1	Capataz	Hra.	0,001	22,000	0,022
2	Operario	Hra.	0,004	20,000	0,080
3	Peón	Hra.	0,008	12,500	0,100
SUBTOTAL MANO DE OBRA					0,202
Cargas Sociales = (% del subtotal de la mano de obra) (55% - 71.18%)				5,000	0,010
Impuestos IVA mano de obra (% Carga Social + Subtotal mano de obra)				14,940	0,030
TOTAL MANO DE OBRA					0,240
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
N°	DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
2	Retroexcavadora	Hra.	0,050	241,500	12,075
3	Volquete de 5 m3	Hra.	0,050	80,500	4,025
Herramientas =(% del total de mano de obra)				5,00	0,010
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					16,110
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Gastos generales = % de 1+2+3				10,000	1,640
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					1,640
5. UTILIDAD					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Utilidad= % de 1+2+3+4				10,000	1,800
COSTO TOTAL UTILIDAD					1,800
6. IMPUESTOS					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Impuestos IT= % de 1+2+3+4+5				3,090	0,610
COSTO TOTAL IMPUESTOS					0,610
TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)					20,400
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO					20,400

PLANILLA DE PRECIOS UNITARIOS					
DATOS GENERALES:					
Actividad: Anclaje barra ϕ 32mm inyección de cemento					Ítem: 2
Cantidad:		Moneda: Bs		Unidad: m	
1. MATERIALES					
N°	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
1	Cemento	kg	0,065	60,000	3,900
2	Acero	kg	1,640	10,300	16,890
3	Acero de refuerzo	kg	2,000	5,640	11,280
4	Oxígeno cilíndrico 6 m ³	u	0,010	417,600	4,180
5	Barreno perforación 1 1/2"x3m	u	0,010	223,960	2,240
TOTAL MATERIALES					38,480
2.MANO DE OBRA					
N°	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
1	Peón	Hra.	1,500	24,000	36,000
2	Operador de equipo pesado	Hra.	0,420	27,000	11,340
3	Inspector de obra	Hra.	0,040	27,000	1,080
SUBTOTAL MANO DE OBRA					48,420
Cargas Sociales = (% del subtotal de la mano de obra) (55% - 71.18%)				5,000	2,420
Impuestos IVA mano de obra (% Carga Social + Subtotal mano de obra)				14,940	7,600
TOTAL MANO DE OBRA					58,440
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
N°	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
1	Equipo de suelda autogena	Hra.	0,080	13,920	1,110
2	Martillo neumático c/compresor	Hra.	0,250	139,200	34,800
3	Equipo de inyección	Hra.	0,170	208,800	35,500
Herramientas =(% del total de mano de obra)				5,000	2,920
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					74,330
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Gastos generales = % de 1+2+3				10,000	17,130
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					17,130
5. UTILIDAD					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Utilidad= % de 1+2+3+4				10,000	18,840
COSTO TOTAL UTILIDAD					18,840
6. IMPUESTOS					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Impuestos IT= % de 1+2+3+4+5				3,090	6,400
COSTO TOTAL IMPUESTOS					6,400
TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)					213,620
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO					213,620

PLANILLA DE PRECIOS UNITARIOS					
DATOS GENERALES:					
Actividad: Anclaje barra ϕ 36mm inyección de cemento.					Ítem: 3
Cantidad:		Moneda: Bs	Unidad: m		
1. MATERIALES					
N°	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
1	Cemento	kg	0,065	60,000	3,900
2	Acero	kg	1,960	10,3000	20,190
3	Acero de refuerzo	kg	2,000	5,640	11,280
4	Oxigeno cilíndrico 6 m3	u	0,010	417,600	4,180
5	Barreno de perforación 1 1/2" x 3m	u	0,010	223,960	2,240
TOTAL MATERIALES					41,78
2.MANO DE OBRA					
N°	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
1	Peón	Hra.	1,500	24,000	36,000
2	Operador de equipo pesado	Hra.	0,420	27,000	11,340
3	Inspector de obra	Hra.	0,040	27,000	1,080
SUBTOTAL MANO DE OBRA					48,420
Cargas Sociales = (% del subtotal de la mano de obra) (55% - 71.18%)				5,000	2,420
Impuestos IVA mano de obra (% Carga Social + Subtotal mano de obra)				14,940	7,600
TOTAL MANO DE OBRA					58,440
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
N°	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
1	Equipo de suelda autogena	Hra.	0,080	13,920	1,110
2	Martillo neumático c/compresor	Hra.	0,250	139,200	34,800
3	Equipo de inyección	Hra.	0,170	208,800	35,500
Herramientas =(% del total de mano de obra)				5,000	2,920
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					74,330
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Gastos generales = % de 1+2+3				10,000	17,450
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					17,450
5. UTILIDAD					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Utilidad= % de 1+2+3+4				10,000	19,200
COSTO TOTAL UTILIDAD					19,200
6. IMPUESTOS					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Impuestos IT= % de 1+2+3+4+5				3,090	6,530
COSTO TOTAL IMPUESTOS					6,530
TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)					217,730
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO					217,730

Presupuesto 1° alternativa

Descripción	Unid.	Cantidad	P. Unitario (Bs)	P. Parcial (Bs)
Excavación con retroexcavadora para corte de talud	m ³	23.595,63	20,40	481.350,75
Anclaje barra ϕ 32mm inyección de cemento	m	9367,00	213,62	2.000.978,54
Anclaje barra ϕ 36mm inyección de cemento	m	7728,00	217,73	1.682.617,44
			TOTAL	4.164.949,44

2° Alternativa.-

Se realizó los cortes mencionados en la anterior Alternativa para mejorar el F.S de los taludes de la Zona 1 y 3; se procedió a la colocación de mallas de protección de triple torsión de alta resistencia ya que en la Zona 2 descrita en el presente proyecto las mallas de protección se encuentran funcionando adecuadamente, evitando desprendimientos en grandes bloques.

ZONA 1.

Longitud=135 m, altura= 12,5 m, volumen de corte= 32.628,125 m³

Longitud=315 m, altura= 18 m, volumen de corte= 14.962,5 m³

ZONA 3.

Longitud=143 m, altura= 19,5m, volumen de corte= 5.005 m³

Precios unitarios

PLANILLA DE PRECIOS UNITARIOS					
DATOS GENERALES:					
Actividad: Excavación con retroexcavadora para corte de talud					Ítem: 1
Cantidad:		Moneda: Bs		Unidad: m³	
1. MATERIALES					
N°	DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
1					
2					
TOTAL MATERIALES					0,00
2.MANO DE OBRA					
N°	DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
1	Capataz	Hra.	0,001	22,000	0,022
2	Operario	Hra.	0,004	20,000	0,080
3	Peón	Hra.	0,008	12,500	0,100
SUBTOTAL MANO DE OBRA					0,202
Cargas Sociales = (% del subtotal de la mano de obra) (55% - 71.18%)				5,000	0,010
Impuestos IVA mano de obra (% Carga Social + Subtotal mano de obra)				14,940	0,030
TOTAL MANO DE OBRA					0,240
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
N°	DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
2	Retroexcavadora	Hra.	0,050	241,500	12,075
3	Volquete de 5 m3	Hra.	0,050	80,500	4,025
Herramientas =(% del total de mano de obra)				5,000	0,010
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					16,110
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Gastos generales = % de 1+2+3				10,000	1,640
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					1,640
5. UTILIDAD					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Utilidad= % de 1+2+3+4				10,000	1,800
COSTO TOTAL UTILIDAD					1,800
6. IMPUESTOS					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Impuestos IT= % de 1+2+3+4+5				3,090	0,610
COSTO TOTAL IMPUESTOS					0,610
TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)					20,400
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO					20,400

PLANILLA DE PRECIOS UNITARIOS					
DATOS GENERALES:					
Actividad: Protección de Talud con malla de triple torsión anclada al terreno					Ítem: 2
Cantidad:			Moneda: Bs	Unidad: m	
1. MATERIALES					
N°	DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
1	Malla triple torsión	m2	1,000	16,360	16,360
2	Acero en barras corrugadas CA-50	kg	0,600	8,100	4,860
3	Cable de acero de 2mm para sujeción de malla	m	1,700	7,650	13,010
TOTAL MATERIALES					34,230
2.MANO DE OBRA					
N°	DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
1	Peón	Hra.	0,314	23,000	7,222
SUBTOTAL MANO DE OBRA					7,222
Cargas Sociales = (% del subtotal de la mano de obra) (55% - 71.18%)				5,000	0,360
Impuestos IVA mano de obra (% Carga Social + Subtotal mano de obra)				14,940	1,130
TOTAL MANO DE OBRA					8,720
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
N°	DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
2	Camión con sesta elevadora de brazo h=16m	Hra.	0,141	114,190	16,101
Herramientas =(% del total de mano de obra)				5,000	0,440
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					16,540
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Gastos generales = % de 1+2+3				10,000	5,950
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					5,950
5. UTILIDAD					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Utilidad= % de 1+2+3+4				10,000	6,540
COSTO TOTAL UTILIDAD					6,540
6. IMPUESTOS					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Impuestos IT= % de 1+2+3+4+5				3,090	2,220
COSTO TOTAL IMPUESTOS					2,220
TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)					74,190
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO					74,190

Presupuesto 2° alternativa

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	P. UNITARIO (Bs)	P. PARCIAL (Bs)
Excavación con retroexcavadora para corte de talud	m ³	23.595,63	20,40	481.350,75
Protección de Talud con malla de triple torsión anclada al terreno	m ²	17.257,50	74,19	1.280.333,93
			TOTAL	1.761.684,68

3° Alternativa

Se realizó los cortes mencionados en la anterior Alternativa para mejorar el F.S de los taludes de la Zona 1 y 3; en la Zona 2 se reutilizará la malla de protección debido a q no se realizaran cortes y este método no puede ser aplicado en ángulos de inclinación mayores, se realizó el presupuesto de Hidrosiembra en el lugar ya que suelo y tiene grandes problemas de erosión, de esta forma la vegetación ayudará al terreno a la sujeción de sus partículas.

Zona alta de Guayabillas

Longitud=135 m, altura= 12,5 m, volumen de corte= 32.628,125 m³

Longitud=315 m, altura= 18 m, volumen de corte= 14.962,5 m³

ZONA Campanario

Longitud=143 m, altura= 19,5m, volumen de corte= 5.005 m³

Precios unitarios

PLANILLA DE PRECIOS UNITARIOS					
DATOS GENERALES:					
Actividad: Excavación con retroexcavadora para corte de talud				Ítem: 1	
Cantidad:		Moneda: Bs		Unidad: m ³	
1. MATERIALES					
N°	DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
1					
2					
TOTAL MATERIALES					0,000
2.MANO DE OBRA					
N°	DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
1	Capataz	Hra.	0,001	22,000	0,022
2	Operario	Hra.	0,004	20,000	0,080
3	Peón	Hra.	0,008	12,500	0,100
SUBTOTAL MANO DE OBRA					0,202
Cargas Sociales = (% del subtotal de la mano de obra) (55% - 71.18%)				5,000	0,010
Impuestos IVA mano de obra (% Carga Social + Subtotal mano de obra)				14,940	0,030
TOTAL MANO DE OBRA					0,240
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
N°	DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
2	Retroexcavadora	Hra.	0,050	241,500	12,075
3	Volquete de 5 m3	Hra.	0,050	80,500	4,025
Herramientas =(% del total de mano de obra)				5,000	0,010
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					16,110
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Gastos generales = % de 1+2+3				10,000	1,640
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					1,640
5. UTILIDAD					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Utilidad= % de 1+2+3+4				10,000	1,800
COSTO TOTAL UTILIDAD					1,800
6. IMPUESTOS					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Impuestos IT= % de 1+2+3+4+5				3,090	0,610
COSTO TOTAL IMPUESTOS					0,610
TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)					20,400
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO					20,400

PLANILLA DE PRECIOS UNITARIOS					
DATOS GENERALES:					
Actividad: Protección de taludes con Hidrosiembra				Ítem: 2	
Cantidad:		Moneda: Bs		Unidad: m²	
1. MATERIALES					
N°	DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
1	Semillas para empradización	kg	0,050	45,000	2,250
2	Semilla mezcla de pratenses	kg	0,030	10,000	0,300
3	Abono mineral	kg	0,100	0,700	0,070
4	Mulch de paja	kg	0,030	0,250	0,010
5	Polímero sintético absorbente	kg	0,005	21,000	0,110
6	Acero en barras corrugadas CA-50	kg	0,600	8,100	4,860
7	Cable de acero de 2mm para sujeción de malla	m	1,700	7,650	13,010
TOTAL MATERIALES					20,610
2.MANO DE OBRA					
N°	DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
1	Oficial jardinero	Hra.	0,002	15,000	0,030
SUBTOTAL MANO DE OBRA					0,030
Cargas Sociales = (% del subtotal de la mano de obra) (55% - 71.18%)				5,000	0,000
Impuestos IVA mano de obra (% Carga Social + Subtotal mano de obra)				14,940	0,000
TOTAL MANO DE OBRA					0,040
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
N°	DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
2	Hidrosembrador s/camión 6000 L	Hra.	0,020	220,000	4,400
3					
Herramientas =(% del total de mano de obra)				5,000	0,000
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					4,400
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Gastos generales = % de 1+2+3				10,000	2,500
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					2,500
5. UTILIDAD					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Utilidad= % de 1+2+3+4				10,000	2,750
COSTO TOTAL UTILIDAD					2,750
6. IMPUESTOS					
				PRECIO PRODUC.	COSTO TOTAL
Impuestos IT= % de 1+2+3+4+5				3,090	0,940
COSTO TOTAL IMPUESTOS					0,940
TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)					31,230
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO					31,230

Presupuesto 3° alternativa

Descripción	Unid.	Cantidad	P. Unitario (Bs)	P. Parcial (Bs)
Excavación con retroexcavadora para corte de talud	m ³	23.595,63	20,40	481.350,75
Protección de taludes con Hidrosiembra	m ²	34.515,00	31,23	1.077.903,45
			TOTAL	1.559.254,2

1° Alternativa= **4.164.949,44 Bs.**

2° Alternativa= **1.761.684,68 Bs.**

3° Alternativa= **1.559.254,20 Bs.**

La 1° alternativa nos da confianza de un talud estable con anclajes que son un método eficaz para el tipo de suelo del tramo, cumple con el Factor de Seguridad especialmente en época de lluvias cuando hay mayores problemas de deslizamientos.

La 2° alternativa puede resultar favorable como protección del talud, el corte mejoró el F.S pero aún continúa con inestabilidades.

La 3° alternativa puede resultar favorable como protección del talud, y mejor para el problema de erosión, el corte mejoró el F.S pero aún continúa con inestabilidades al igual que el anterior.

La mejor alternativa para mejorar la problemática es la 1° ya que se necesita garantizar seguridad en el tramo durante toda la época del año, los refuerzos con anclajes tendrán una vida útil mayor a las anteriores; con la Hidrosiembra también podemos garantizar la reducción de erosión pero no es del todo confiable ya que las inclinaciones de los taludes son mayores de 45°.

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Se determinó que la estabilidad de taludes está definida en base a un factor de seguridad FS, que en la construcción de obras civiles en términos determinísticos, es importante verificar la estabilidad de los taludes, debe ser mayor o igual a 1 para considerar el talud estable, de lo contrario el talud será inestable y susceptible a la ruptura, las variables de mayor consideración para su cálculo son: la geometría del talud, ángulo de fricción interna del material y la cohesión.

El tramo Padcaya-La Merced al encontrarse dentro de la Falla tectónica Tarija presenta inestabilidad geológica principalmente en la zona de Guayabillas-Campanario, entonces, no se tiene la certeza de posibles eventos geodinámicos internos o movimientos en la corteza terrestre, que podrían provocar sismos o deslizamientos en la zona en cualquier momento.

El tramo de estudio se caracteriza por ser una zona de húmeda con una humedad relativa de 67%, con fuertes precipitaciones pluviales que varían 610 a 1200mm/año e infiltraciones de agua en los sectores más bajos.

En la zona se observaron taludes conformados en su mayoría por arcillas, conglomerados y pizarra, produciéndose inestabilidades mayormente en los taludes de material granular.

La topografía de la zona es accidentada, las pendientes del tramo varían desde 30% hasta pendientes mayores a 60%, lo que hace que los taludes de corte tengan elevaciones e inclinaciones elevadas.

La erosión es otro factor que afecta a una proporción muy grande del tramo siendo la zona más afectada Guayabillas, Campanario y La Merced con una erosión hídrica muy Alta, seguidamente se encuentra la zona Orozas, Chalamarca y Padcaya con un grado de erosión moderada.

Se logró obtener datos de taludes seleccionados y representativos dentro del tramo se verifico que gran parte de la inestabilidad de los taludes se debe a las alturas mayores a 10m, inclinaciones mayores a 70°, y tipo de material que lo conforma; las cuales muestran

susceptibilidades de desprendimientos si no se realizan los trabajos de conservación y control de dichas obras.

El tramo Padcaya- La Merced, se dividió en 5 zonas de acuerdo al tipo de amenazas que se presentaron, grado de deterioro, geometría; para la realización de las mediciones geométricas y extracción de muestras correspondientes: 1 Padcaya-Chalamarca, 2 Chalamarca-Orozas, 3 Orozas 4 Guayabillas, 5 Guayabillas-Campanario y Campanario-La Merced, excluyendo el 2 ya que presenta taludes escasos con alturas relativamente bajas que alcanzan hasta los 2m.

Se logró obtener los datos más importantes para la comprobación del factor de seguridad los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tramo	Longitud (m)	Altura (m)	Inclinación (°)	Peso Específico (g/cm³)	Cohesión (Kg/cm²)	Angulo de fricción (°)	F.S.critico	
1.Padcaya-Chalamarca	85	10	70	2,63	0,25	23	1,007	ESTABLE
2.Orozas-Guayabillas	125	20	80	2,70	0,44	19	1,006	ESTABLE
3.Guayabillas-Campanario	135	12,5	70	2,559	0,14	28	0,336	INESTABLE
	315	18	67	2,562	0,15	26	0,516	INESTABLE
	697	40	77	2,590	0,17	24	0,262	INESTABLE
	119	25	81	2,588	0,17	23	0,308	INESTABLE
4.Campanario-La Merced	143	19,5	76	2,590	0,21	26	0,210	INESTABLE

Los ángulos de inclinación de los taludes que fueron evaluados no cumplen con lo establecido en Normas. Los taludes de los dos primeros tramos están conformados por arcillas y deberían tener una pendiente 0,8H: 1V a 1H: 1V aproximadamente, mientras que los tramos restantes están conformados por suelos granulares y su pendiente deberían

tener una pendiente 1H: 1V según el Manual de Taludes de Japón, aunque este valor no es 100% confiable, siendo necesario determinar el factor de seguridad.

Se definió para el análisis de estabilidad de taludes, la teoría de equilibrio límite para determinar el factor de seguridad mediante los métodos: Método Ordinario o de Fellenius, el método de Spencer, el Método de Janbu, Método de Bishop y el método de Morgenstern Price.

Las 4 Zonas dieron como resultado después del análisis de estabilidad los valores del factor de seguridad crítico fueron: mayores a 1 en la zona de Padcaya- Chalarmarca y Orozas- Guayabillas lo cual significa que ambos taludes del tramo son estables, mientras que en los tramos restantes de Guayabillas-Campanario y Campanario-La Merced los factores de seguridad resultaron menores a 1 lo que corresponde a taludes inestables.

En cuanto a las obras de drenaje en algunos sectores dentro del tramo Orozas – Guayabillas muestra sistemas de drenaje bien establecidos, entre ellos zanjas de coronación a una distancia de 3 m del borde de las banquetas, construidos con piedra, de esta manera impermeabilizando el talud, con caídas verticales a distancias aproximadas de 300 m, manteniendo todas sus estructuras conservadas, a excepción de algunos sectores que poseen signos de erosión, según la Norma V2-ABC de la Administradora Boliviana de Carreteras; a diferencia del tramo Guayabillas – Campanario muestra un gran problema relacionado con el deficiente manejo de las aguas de la montaña, siendo un buen modelo el sistema de drenaje utilizado en el tramo mencionado anteriormente.

El análisis de Riesgos fue determinado obteniendo la susceptibilidad a los deslizamientos de los taludes en estudio en un grado de susceptibilidad Alta en el primer sector que presenta zonas de falla, erosión intensa y materiales parcialmente saturados donde se pudo observar partículas sueltas en el pie del talud.

Las alternativas de solución planteadas fueron las que se acomodan más al tipo de suelo del talud, para ellos se propuso:

1° alternativa, el Abatimiento o corte de los taludes de la zona Alta y Campanario y refuerzo con barras de acero de $\phi 32\text{mm}$ y para los taludes de Guayabillas no se realizó un diseño de corte debido a que el movimiento de tierras es muy elevado lo que aumenta el

presupuesto de manera considerable, por esta razón se consideraron barras de acero más gruesas de $\phi 36\text{mm}$ e inyección de cemento , se verifico el F.S según el programa GEOSLOPE/W obteniendo resultados favorables, mayores a 1, que cumplirían las condiciones para el diseño de la estructura estable en presencia de agua.

La 2° alternativa el Abatimiento de los taludes en las mismas zonas expuestas anteriormente, con protección de mallas de triple torsión ya que en la Zona de Guayabillas, se observaron mallas en todo el tramo cumpliendo de manera propicia su función de protección, de acuerdo al tipo de material esta es una buena alternativa de protección, pero no nos garantiza estabilidad en su totalidad.

La 3° alternativa el Abatimiento de los taludes en las mismas zonas mencionadas y Protección con Hidrosiembra también podemos garantizar la reducción de erosión con este método, pero no es del todo confiable ya que las inclinaciones de los taludes son mayores de 45° y estarían propensas a que el talud seda y se deslice

Se logró una comparación de las alternativas planteadas; en base a parámetros técnicos y económicos, se escogió la solución ideal es la 1° alternativa. Con un costo aproximado de 4.169.949,44 Bs.

4.2. RECOMENDACIONES

Se sugiere aumentar el número estaciones pluviométricas para que el periodo de recurrencia de intensidad y duración de las lluvias sea conocido y para que el cálculo de la capacidad de las obras de drenaje tengan un buen diseño y no exista sobredimensionamiento.

Se recomienda para los taludes con mallas de protección, el reajuste de sus anclas ya que implica posibles desprendimientos y el grado de amenaza en ese sector es alto.

Se recomienda realizar los trabajos correspondientes de mantenimiento rutinario para mantener la estabilidad de los taludes:

Drenar las depresiones donde se acumula agua, arriba de la cabeza del talud.

La inspección es esencial para proteger la inversión que se hizo en la carretera, el mantenimiento de los taludes debe incluir necesariamente:

Limpiar las cunetas, alcantarillas para que cumplan sus funciones a cabalidad.

Reparación de estructuras averiadas.