

5.3.5 GEOMORFOLOGÍA, ESTABILIDAD Y RIESGO FÍSICO

5.3.5.1 GENERALIDADES

Este capítulo describe los caracteres fisiográficos y procesos erosivos de la zona del proyecto, analizando las implicancias geomorfológicas de los diversos aspectos del relieve, como pendiente, magnitud, intensidad erosiva, estabilidad y otros, especialmente en lo que concierne a la seguridad de las obras viales, su personal e instalaciones, así como a la conservación del medio ambiente. El estudio se subdivide en dos temas principales, el primero es la evaluación geomorfológica propiamente dicha, y el segundo proporciona una zonificación del área en función de estabilidades y riesgos físicos de cada sector.

Debido a su ubicación en la cordillera andina, el área del Tramo 2 de la Concesión vial tiene una amplia variedad de caracteres físico geográficos, que incluyen variados rasgos geomorfológicos. La heterogeneidad de relieves y procesos erosivos se debe principalmente a que este tramo atraviesa dos sectores territoriales muy distintos, como son la sierra y la selva alta. En ambas regiones, los procesos erosivos y formas de relieve tienen características particulares.

La elaboración del capítulo se basó en el análisis y fotointerpretación de imágenes de satélite, examen de cartas y observaciones realizadas en el terreno. El estudio se acompaña de dos mapas geomorfológicos y dos de estabilidad y riesgo físico, a escala 1:50 000. A continuación se describen las características geomorfológicas, y de estabilidad y riesgo físico de la vía evaluada, a través de la descripción de dos sectores, uno ubicado en la región de sierra, y el otro en la selva alta; al final de cada uno de esos sub tramos, se presenta un cuadro resumen con las características geomorfológicas principales referidas a su ubicación por kilometraje respecto de la vía.

5.3.5.2 GEOMORFOLOGIA DEL SECTOR 1- KM 32+000 – 100+000

5.3.5.2.1 Morfogénesis

Este tramo se halla en la zona media y alta de la cordillera andina, en plena sierra del departamento de Cusco. La historia morfogenética de esta región se inicia en el Paleozoico inferior, cuando una extensa depresión continental se excavaba al oeste del Brasil, y se rellenaba de sedimentos arrancados por la erosión al cratón o escudo brasileiro. La sedimentación paleozoica dio lugar a la emersión mediante la tectónica de la orogenia herciniana, de la actual cordillera oriental, cuyos componentes que se encuentran en el área de estudio son las formaciones Urcos y Ccatca, de edad siluriana y devoniana respectivamente.

Posteriormente, la región de la cordillera oriental pasó por fases de hundimiento y sedimentación marina generalizadas, hasta la orogenia andina de fines del Cretácico y principios del Terciario, cuando toda la región andina se hizo definitivamente continental. Durante el Terciario miocénico ocurrió una etapa de erosión y aplanamiento generalizado del relieve, que afectó al territorio cordillerano dando lugar a una superficie llana a ondulada conocida como “superficie puna”. Luego del desarrollo de esta superficie sobrevino el gran levantamiento que eleva los Andes a sus niveles aproximadamente actuales, y dejó a esta superficie de erosión a una altitud comprendida entre 3 800 y 5 000 msnm. Los restos de esta superficie se aprecian actualmente en las zonas altas, como el inicio en el km 32+000.

El levantamiento ocurrido entre el Plioceno y Pleistoceno dio origen a una intensa disección fluvial de las masas rocosas andinas, configurando su relieve montañoso actual. Sin embargo, algunos sectores recibieron incisiones más profundas que otros, debido a factores litológicos y estructurales locales. Las rocas duras de las formaciones paleozoicas del macizo Ausangate (fuera del área de influencia directa) configuraron relieves abruptos de grandes paredes rocosas. Las rocas blandas de las formaciones Urcos y Ccatcca modelaron relieves mayormente suaves o de pendiente moderada.

Uno de los aspectos relevantes de la morfogénesis cuaternaria fue la ocurrencia de glaciaciones, las cuales cubrieron gran parte del área, por encima de 3 800 a 4 000 msnm. Según diversos investigadores, como Olivier Dollfus, en los Andes se observan muchos restos de las dos últimas glaciaciones, las cuales duraron varias decenas de miles de años, habiendo concluido la última hace solo 10 000 años. Este es un periodo muy breve en términos morfológicos, como para que las huellas del modelado glacial de las zonas altoandinas hayan borrado o alterado al punto de hacerlas irreconocibles, observándose más bien en las zonas más altas, que las huellas del modelado glacial cuaternario son nítidas por todas partes. Estas fases glaciales modelaron el territorio andino generalmente por encima de 4 200 msnm, pero dependiendo de condiciones locales, hay sectores, como los del frente cordillerano oriental (que reciben las masas de aire húmedo provenientes de la amazonía), donde los glaciares cuaternarios han descendido en sus máximos avances hasta menos de 3 500 msnm, dejando un paisaje de circos y valles glaciales, y altiplanicies onduladas tapizadas por depósitos morrénicos.

En el área de estudio las ocurrencias glaciares fueron muy definidas aguas arriba de Ocongate, en una zona donde se ubican los piedemontes de los elevados relieves de la cordillera de Ausangate. No obstante, no son las únicas zonas en que se desarrollaron glaciares, ya que en general, casi todos los territorios ubicados sobre los 4 000 o 4 100 msnm fueron eventualmente cubiertos por los hielos cuaternarios, los cuales han desaparecido solo muy recientemente hace 10 000 años, cuando se iniciaron las condiciones climáticas actuales.

Las glaciaciones cuaternarias no sólo modelaron directamente los relieves, sino que a la vez produjeron incidencias indirectas prácticamente en toda el área. De esta manera, los voluminosos depósitos coluviales de deslizamientos se emplazaron durante las fases húmedas y lluviosas que significaron las glaciaciones; los valles se rellenaron igualmente de sedimentos durante estas fases, y se constituyeron en niveles de terraza durante los cambios de una fase glacial a otra. Los suelos y productos de meteorización han sido a su vez muy distintos, según se trate de depósitos relacionados con glaciaciones pleistocénicas antiguas o recientes.

En síntesis se puede caracterizar los elementos morfológicos principales de acuerdo al siguiente esquema:

a) Cordillera Oriental

Es el elemento estructural principal y ampliamente dominante. La cordillera oriental es un enorme bloque de edad esencialmente paleozoica, de rocas sedimentarias y metamórficas mayormente arcillosas, que se extiende desde el valle del Vilcanota hacia el este; este valle (ubicado al oeste del área de estudio) constituye un plano de debilidad que la separa de la cordillera occidental. Las rocas arcillosas son casi totalmente dominantes en más del 70% del trazado vial de este tramo.

b) Altiplanicies

Es un elemento morfológico que afecta los relieves de la cordillera oriental, mediante la presencia de aplanamientos que cortan en un nivel altitudinal que va de 4 000 a casi 5 000 msnm (en el área estos

aplanamientos se dan entre 4 000 y 4 400 msnm) a las estructuras paleozoicas. Las altiplanicies son resultado del desarrollo de superficies de erosión formadas principalmente durante el Terciario miocénico, en una etapa en que la cordillera oriental era ya un relieve definitivamente continental, que fue atacado por severos procesos erosivos de entonces. Se considera que estas superficies de erosión, que en conjunto reciben el nombre de superficie “puna” allanaron los relieves andinos del Paleozoico hasta niveles altitudinales bastante bajos, pero luego, el levantamiento andino ocurrido desde el Plioceno hasta los tiempos recientes del Pleistoceno, elevó esas superficies hasta sus altitudes aproximadamente actuales, y por ello dichas superficies han quedado en los niveles actuales de altiplanicies. En general los aplanamientos altiplánicos, cortan de manera más o menos homogénea a los distintos tipos de rocas y estructuras existentes, y en parte están cubiertos por metros o decenas de metros de materiales modernos de acumulación glacial, fluvial y fluvio glacial.

Para el caso de las altiplanicies de la zona de Ccatcca, los restos y depósitos glaciares, aunque bien visibles en todas partes, siempre se conservan menos definidos y potentes que el caso de las cabeceras de Ocongate (río Tinquimayo), donde las amplitudes altiplánicas y espesor de los depósitos glaciares es mucho mayor. Sobre el Tinquimayo, la elevada cordillera de Ausangate formó una potente glaciación que culminó en amplios glaciares de piedemonte, que al fusionarse dejaron esta masa morrénica tan visible en la margen izquierda del Tinquimayo. Sobre las alturas de Ccatcca los glaciares fueron mucho más pequeños y, la escasa resistencia de las rocas arcillosas a la erosión, les ha hecho perder muchas de sus características originarias de circos y valles glaciales.

c) Valles interandinos

Son también elementos morfológicos, de depresiones alargadas, ocupadas por los ríos principales, que tienen un definido rumbo andino en su alineamiento (sur este – nor oeste). Los valles interandinos generalmente son sectores de fallas o ejes de plegamiento, o son también zonas de contacto entre grandes formaciones. Por ello constituyen zonas de debilidad tectónica en la que los agentes erosivos han erosionado valles encajonados, de grandes vertientes montañosas, en cuyos fondos se acumulan los depósitos modernos de origen fluvio aluvional.

Los valles se originaron con el levantamiento andino plio pleistocénico. En el caso del valle del Vilcanota, en Urcos, el valle separa los grandes conjuntos morfológicos andinos de la cordillera oriental (hacia el este del valle) y la cordillera occidental, hacia el oeste, fuera del área de incidencia directa del proyecto. Los valles de Ccatcca y Ocongate (río Mapacho), son depresiones interandinas al interior de la propia cordillera oriental, pero igualmente separan formaciones distintas, a veces mediante fallas, como sucede con las formaciones Urcos y Ccatcca.

Por su naturaleza encajada, los valles comprenden las zonas de mayor pendiente y las laderas de mayor longitud. Bajo los 4 000, y según las disponibilidades de suelo y agua, se llevan a cabo las labores agrícolas; es decir que una parte reducida de las laderas es utilizada como soporte de cultivos, y esta actividad es también una fuente de cambios morfogénicos recientes. Las labores inapropiadas contribuyen a la formación actual de cárcavas en ciertos sectores, y la existencia de pequeños canales de riego, que cruzan las laderas sin revestimiento, provoca también la ocurrencia de movimientos de masa.

Sobre estos conjuntos estructurales y morfológicos, las acciones cuaternarias han producido los elementos fisiográficos de detalle, como los modelados de valles glaciales y circos, terrazas y conos deyección en los fondos de valle, disecciones y deslizamientos en las laderas, etc.

5.3.5.2.2 Fisiografía

La descripción fisiográfica del área de estudio incide en los aspectos externos (pendiente, magnitud del relieve, disección, rugosidad, etc.) que suelen ser determinantes para las particularidades del proyecto. La fisiografía es la base de la caracterización geomorfológica, y por ello las formas de tierra se agrupan en conjuntos morfológicos sencillos muy generales, como planicies, relieves colinosos, montañas, etc. En el mapa geomorfológico la presentación fisiográfica parte de dos grandes grupos, denominados planicies y superficies onduladas, y vertientes montañosas. Sus características son las siguientes:

A) Planicies y superficies onduladas

Como su nombre indica son relieves llanos que incluyen sectores con accidentes topográficos menores. Las planicies y llanuras tienen pendientes que no pasan generalmente de 10 a 15%, Sin embargo, en este conjunto morfológico se incluyen también zonas algo más accidentadas, donde las pendientes llegan hasta 25%. Los tipos fisiográficos reconocidos son:

A1) Altiplanicies

Son superficies más o menos llanas de pendiente mayoritaria 0 a 15 % de pendiente, con algunos accidentes topográficos frecuentes que llegan hasta 25%. Esta fisiografía se halla principalmente en la zona altoandina sobre 3 800 de altitud, y deben su conformación a los remanentes topográficos de la superficie de erosión "puna". Presentan una cobertura de depósitos glaciales, fluvioglaciales y aluviales, que cubren las rocas del substrato.

Las altiplanicies tienen el aspecto de paisajes llanos abiertos, es decir que no están enmarcados entre relieves superiores. En varios casos, las altiplanicies terminan en bordes que descienden de manera abrupta hacia las partes medias e inferiores de los Andes, como sucede en las divisorias que separan los valles de Urcos y Ccatcca, así como las divisorias que separan el valle de Ccatcca del de Ocongate.

Debido a la horizontalidad del relieve y al clima frío húmedo, las altiplanicies se hallan cubiertas por una vegetación herbácea relativamente densa cuando no está sobrepastoreada o deteriorada, y las lluvias que caen en estos terrenos llanos y bastante bien protegidos por la vegetación, escurren lentamente con erosión difusa hacia los sectores depresionados. Sin embargo, la masiva presencia de materiales arcillosos en la zona, favorece también el desarrollo de la erosión concentrada, siendo frecuente encontrar zonas de cárcavas relativamente densas que cortan los terrenos en redes de zanjas relativamente activa en cuanto a su intensidad erosiva.

Las altiplanicies son medios favorables para el proyecto, ya que la debilidad de la pendiente reduce las acciones erosivas. Asimismo, los trabajos de construcción resultarán sencillos, ya que son superficies fácilmente excavables, no hay necesidad de uso de explosivos ni de remoción significativa de tierra; tampoco se generarán taludes demasiado inestables, a pesar de la naturaleza masivamente arcillosa de estos medios.

Sin embargo, en los sectores de altiplanicies con presencia de accidentes topográficos más o menos significativos, las ondulaciones y disecciones topográficas representan riesgos de desestabilización más o menos importantes, sobre todo cuando estos accidentes se producen en zonas donde aflora el substrato geológico de la formación Urcos. Las pizarras y lutitas pizarrosas de esta formación son particularmente propensas a generar movimientos de masa. En las reducidas pendientes de estas zonas, los movimientos no son muy grandes pero si importantes para el proyecto vial.

A2) Fondos de valle

Son relieves llanos que forman fajas de terreno alargadas y estrechas, encajonados entre vertientes montañosas, es decir no son relieves amplios y abiertos, sino enmarcados por vertientes, que hacen que las aguas de lluvia se concentren más fácilmente en los fondos provenientes de las laderas cercanas. Los fondos de valle están muy influidos por la litología y materiales coluviales de las paredes del valle, así como por el aporte torrencial y fluvial de los cauces laterales.

A2.1) Fondos de valle fluviales y aluviales

Estos valles se hallan en la zona media e inferior andina, bajo 3 600 msnm, y no han sido modeladas directamente por los glaciares cuaternarios; por ello las paredes de los valles mantienen su perfil en “V” típicamente fluvial, y los fondos se conforman por terrazas aluviales y conos de deyección provenientes de cauces laterales. Los suelos de estos fondos son valiosos tanto por la calidad de su origen aluvial, como por la horizontalidad de sus suelos. Sin embargo, son poco frecuentes en el área de estudio, habiendo únicamente los valles de los ríos Ccatcca y Mapacho.

En general, los fondos de valle fluviales se conforman de bancos aluviales semiestratificados y semiredondeados en niveles de terraza. El valle del Ccatcca tiene sólo fracciones finas casi exclusivamente. El valle del Mapacho tiene fracciones gruesas en una proporción considerable, debido a que recibe aportes de rocas compactas de la cordillera de Ausangate

La estabilidad de los fondos de valle es la mejor, y prácticamente aquí no hay acciones erosivas de importancia en la mayor parte de sus recorridos, salvo la ocurrencia de huaycos por los ejes de las quebradas que cruzan estos valles, y localmente también por la severa erosión fluvial que socava los depósitos de los fondos de valle, como sucede especialmente en el km 72, aguas abajo y muy cerca de la localidad de Ocongate, donde el río actualmente inunda una porción de aproximadamente 100 m de la vía durante las crecientes.

A2.2) Fondos de valle glaciales

Son de forma bastante similar a los valles fluviales y aluviales, con la diferencia de que contienen materiales de origen glacial tapizando los fondos de valle, y además por una forma aproximada de “U”, que las diferencia de los valles en “V” característicos de los valles fluviales. Una forma de “U” para los valles glaciales, expresa una morfología de flancos rocosos y escarpado, que dominan un fondo plano y relativamente ancho. En la zona los fondos de valle glacial se desarrollan desde el río Tinquimayo, a partir del km 85; sin embargo, su expresión más definida aparece a partir del km 95, a la altura de la localidad de Huichinca.

Son relieves llanos que forman fajas de terreno alargadas y estrechas, encajonados entre vertientes montañosas, es decir no son relieves amplios y abiertos, sino enmarcados por vertientes, que hacen que las aguas de lluvia se concentren más fácilmente en los fondos provenientes de las laderas cercanas. Los fondos de valle están muy influidos por la litología y materiales coluviales de las paredes del valle, así como por el aporte torrencial y fluvial de los cauces laterales.

Los valles glaciales, al igual que las altiplanicies incluyen frecuentes sectores de mal drenaje o terrenos hidromórficos, donde las aguas superficiales se concentran para favorecer el desarrollo de pastizales hidrófilos conocidos como “bofedales”

Todos estos relieves planos de altiplanicies y valles fluviales y glaciales conforman medios estables, casi sin procesos erosivos visibles, y donde las actividades del proyecto se ven favorecidas por la horizontalidad del relieve, por la ausencia de erosión y la inexistencia de taludes inestables.

B) Vertientes montañosas

El modelado de las montañas es de disección, y se caracteriza por la existencia de valles a veces amplios, y más generalmente estrechos, donde la pendiente, disección y regularidad de las vertientes depende principalmente de factores geológicos. En una visión de conjunto, las montañas aparecen tanto sobre el nivel de las altiplanicies de la puna, como por debajo de ella. Por lo general cuando emergen sobre la puna constituyen macizos aislados de roca dura, y cuando están por debajo, forman los profundos valles interandinos. En el mapa geomorfológico se ha clasificado tres tipos de vertientes montañosas:

B1) Vertientes montañosas moderadamente empinadas

Son formas fisiográficas de laderas con alturas superiores a 300 m, que presentan una tasa mediana de disección. Las pendientes dominantes son del orden de 25 a 50 %, con escarpes y taludes subverticales muy localizados. La disección se debe a irregularidades litológicas del substrato rocoso: que alterna con numerosos taludes coluviales.

Estas vertientes moderadamente empinadas se encuentran tanto en las zonas altoandinas como en la zona media. En la zona alta, las laderas están cubiertas por depósitos periglaciales coluviales y por morrenas de la glaciación cuaternaria; en la zona media las vertientes están cubiertas exclusivamente por depósitos de arrastre coluvial y de antiguos deslizamientos. En la zona media, parte de las laderas generalmente son asiento de la actividad agrícola tradicional de la sierra, donde los pequeños canales de riego no revestidos tienden a ocasionar movimientos de masa. En las partes altas estas laderas son menos erosivas y más estables. La erosión en cárcavas es frecuente sobre todo en las zonas cultivadas.

Salvo el caso en que estas laderas se ubiquen en substratos de la formación Urcos, en general, estas vertientes pueden considerarse como ligera a medianamente inestables, con eventuales acciones erosivas de riesgo. Las condiciones operacionales no son favorables ya que en ciertos casos debe recurrirse a voladuras, excavaciones y disposición de desmontes, con riesgos importantes de desestabilizar taludes, sobre todo en la zona media, donde los canales de riego no revestidos y socavamientos de los taludes coluviales por los torrentes constituyen el riesgo más importante.

Las vertientes moderadamente empinadas ubicadas sobre los substratos arcillosos de la formación Urcos, son por el contrario bastante inestables: por un lado, favorecen la existencia de movimientos de masa (ya considerables en estas pendientes), y por otro favorecen la formación de cárcavas activas por la elevada impermeabilidad de estas formaciones. Por ello su presencia plantea mayores cuidados por parte del proyecto vial.

B2) Vertientes montañosas empinadas

Son relieves de topografía agreste, donde la altura de las elevaciones frecuentemente sobrepasa 500 m de desnivel entre la cima y base de las laderas, pudiendo bordear los 1 000 m de diferencia para los sectores más accidentados de la margen derecha del río Tinquimayo. Sus pendientes son casi siempre mayores de 50 %, con numerosos sectores rocosos escarpados y taludes subverticales. Los abundantes accidentes topográficos se deben a un substrato rocoso heterogéneo, de afloramientos sedimentarios y metamórficos, y acumulaciones coluviales inestables. Son frecuentes la erosión en surcos y cárcavas, y la ocurrencia de deslizamientos de riesgo. Estas vertientes incluyen sectores de topografía más accidentada, con pendientes que localmente tienen más de 70 %. con numerosos escarpes verticales, son mayoritariamente rocosos, y corresponden a los valles más excavados por los ríos del área. Constituyen también sectores encañonados y sumamente inestables, donde es probable

la ocurrencia de movimientos de masa de proporciones, especialmente en las laderas conformadas por rocas de la formación Ccatcca (ver mapa geológico).

B3) Vertientes escarpadas

Son zonas relativamente encañonadas, donde la pendiente es muy pronunciada, con numerosos escarpes subverticales. Sólo se desarrollan en terrenos de rocas muy compactas, que son las que posibilitan los cortes fluviales verticales y permiten el sostenimiento de los escarpes. Sin embargo, ciertos sectores de pendiente muy fuerte se forman a veces en terrenos de rocas poco consistentes, como las ya mencionadas de la formación Urcos. Ello sucede en sectores puntuales diversos entre los km 45+000 y 55+000. En estos casos, la inestabilidad es mucho más acentuada, con mayores riesgos de erosión en masa.

5.3.5.2.3 Morfodinámica y Procesos Erosivos Actuales

En esta sección se proporciona una visión aproximada de los tipos de acciones erosivas y sus intensidades actuales. A continuación se describe los procesos identificados.

a) Escurrimiento Superficial

Se refiere a la acción erosiva del agua corriente proveniente de las lluvias en su descenso por las laderas. La erosión empieza generalmente de manera difusa, cuando las lluvias caen e inician un lento descenso por la superficie. Si el terreno tiene poca pendiente, es permeable y está bien protegido por la vegetación, el escurrimiento se mantiene en estado difuso, compuesto por numerosos hilos de agua que discurren cruzándose constantemente, sin provocar cambios erosivos sensibles; como resultado, el agua de las laderas llega a los drenes principales casi desprovisto de carga sólida.

El escurrimiento difuso es dominante en las amplias mesetas y zonas altoandinas poco accidentadas, donde el clima húmedo favorece a la cobertura herbácea de altitud. Cabe agregar que la naturaleza arcillosa de las formaciones predominantes no favorece la permeabilidad, y por ello los escurrimientos tienden a acentuarse. A partir de la salida de las mesetas e iniciar un descenso por las laderas, el proceso de erosión difusa pasa gradualmente a escurrimiento concentrado.

El escurrimiento difuso no erosivo se presenta también en las terrazas y planicies de los fondos de valles aluviales y glaciales, pero en estos casos el proceso no pasa a una fase de erosión concentrada como sucede a la salida de las altiplanicies.

b) Erosión en surcos y cárcavas

Bajo ciertas condiciones, el escurrimiento difuso inicial tiende a concentrarse primero en surcos y luego en cárcavas; los primeros son incisiones de unos pocos decímetros de profundidad en el terreno, y las cárcavas representan la erosión concentrada en laderas afectadas por disección y abarrancamiento en drenes de uno a varios metros de profundidad. Los surcos y cárcavas se forman mayormente en terrenos de fuerte pendiente, sobre todo si tienen cubierta coluvial, rocas deleznales, vegetación deteriorada y cultivos inapropiados.

En diversos lugares de ladera que bordean los valles principales (Ccatcca, Mayo Tinco, Mapacho), los surcos frecuentemente gradan a cárcavas de pequeña a mediana magnitud (2 a 4 m de profundidad); el mapa geomorfológico identifica algunos lugares donde esta erosión ha deteriorado severamente las laderas, especialmente las que se conforman de rocas de la formación Ccatcca (ver mapa geológico),

Cabe indicar que en unos pocos lugares, la carretera asciende y desciende mediante trazos que quedan a manera de escalones, y por ello algunas cárcavas cruzan reiteradamente en dos o tres puntos de una misma ladera a la plataforma vial, como sucede aproximadamente entre los km 53 a 54 y 66 a 67 en la sierra media. En el km 53+700, la cárcava ha causado severos problemas a la vía, tanto por socavamiento como por erosión remontante, y acciones parecidas pueden suceder entre los km 66 a 67, por lo que se requieren las provisiones correspondientes. En la generalidad de estos casos, la erosión severa está estrechamente relacionada con el substrato rocoso arcilloso y poco consistente de la formación Urcos.

c) Movimientos de masa (derrumbes y deslizamientos)

Son los movimientos que afectan laderas haciendo caer bruscamente volúmenes diversos de materiales sueltos y rocosos, constituyendo un serio riesgo característico de las áreas montañosas de fuerte pendiente. Los deslizamientos son movimientos que se producen sobre masas de material saturado en agua o provocados por planos de lubricación debidos al agua de infiltración. Los derrumbes son movimientos en seco, que no requieren la presencia significativa de agua para producirse. En tal sentido, los deslizamientos son propios de zonas de clima húmedo o donde los cultivos provocan la excesiva saturación subsuperficial; los derrumbes pueden ocurrir aún en las zonas más secas, sólo basta que los taludes inestables de material un poco suelto se desestabilicen aún más, lo que sucede por ejemplo con la socavación lateral ejercida por un río o torrente, o por la apertura de una carretera.

En la práctica, los derrumbes y deslizamientos producen los mismos peligrosos efectos, y de otro lado es muy difícil establecer si el origen de un movimiento ocurrido en una zona lluviosa fue necesariamente producido por saturación. Por ello en el mapa geomorfológico se representa estos movimientos bajo un mismo símbolo, que delimitan aproximadamente el contorno de los arcos superiores dejados por los movimientos de masa en las laderas.

La mayoría de arcos de derrumbe o deslizamiento cartografiados en el mapa representa movimientos ya producidos, que no necesariamente son plenamente activos, y que pueden incluso tener décadas de antigüedad. Lo que representan son la magnitud aproximada del movimiento producido, el sentido hacia donde se producen y la zona que resultaría afectada hacia aguas abajo en caso de activarse el proceso.

Los movimientos de masa no se producen únicamente durante la estación lluviosa, si bien es cierto que son más riesgosos en estos meses, en la práctica ocurren hasta dos o tres meses después de concluida la estación lluviosa (sobre todo si esta fue intensa), ya que es una etapa en que la sobresaturación o lubricación interna con el agua de infiltración se halla aún en sus máximos niveles.

A lo largo de la ruta se han identificado varios pequeños derrumbes o deslizamientos, que por la escala del mapa no han sido representados. Es bastante activa la ocurrencia de asentamientos y derrumbes sobre vertientes empinadas de la formación Urcos, conformada por pizarras y lutitas poco consistentes. De todos los procesos de remoción de masa detectados, cabe destacar un deslizamiento activo de proporciones considerables, que está ubicado aproximadamente en el km 50+500. Este deslizamiento tiene una altura de casi 200 m por un ancho que llega casi a los 100 m con una profundidad de masa deslizada de 3 a 4 m. Es un proceso que requiere obras de estabilización geotécnica. También son importantes pequeños movimientos activos que se dan sobre la carretera en el sector que bordea la quebrada Mayo Tinco, entre los km 70 a 72; son movimientos de masa que ejercen cierta amenaza a la carretera.

Otros movimientos severos se observan en la margen izquierda del río Tinquimayo, que afectan a formaciones de relleno glaciario poco consolidadas, pero en estos casos, la carretera no es amenazada.

d) Erosión fluvial y torrencial

Es la erosión que se produce en los cauces dependiendo de diversos factores. Los cruces de cursos de agua y sus caudales están descritos en el capítulo de hidrografía superficial, y generalmente se trata de quebradas y ríos de pequeña magnitud. Los cauces son sectores dinámicos, de erosión activa durante los meses de creciente. Durante los meses secos, los caudales, en su mayoría quedan reducidos a flujos muy débiles donde la erosión no es significativa.

A pesar de la mayoritaria debilidad de la erosión fluvial y torrencial, algunos sectores ribereños y algunos torrentes representan amenazas importantes a la carretera. Particularmente, el sector del río Mapacho cercano a su afluente, la quebrada Mayo Tinco, donde la carretera es constantemente socavada, e incluso el río inunda la carretera en un tramo de casi 100 m cuando se producen las mayores crecidas. Algunos sectores ribereños y cercanos a la carretera, en el río Mapacho, aguas arriba de Ocongate, también deben considerarse.

En cuanto a la erosión torrencial (torrentes que ocasionan huaycos) se tiene en el km 46 a la carretera que cruza actualmente el torrente mediante un badén. Es un torrente bastante activo, donde los huaycos pueden ser destructivos. Luego los torrentes generadores de huaycos vuelven a presentarse en la zona altoandina aproximadamente en los km 91 y 93 cruzando la carretera provenientes del lado izquierdo de la vía. Son amenazas puntuales pero importantes por el riesgo de destrucción de la plataforma vial.

5.3.5.2.4 Análisis de Estabilidad y Riesgo Físico

Sobre la base de la información geomorfológica, geológica y climática principalmente, se presenta una zonificación de estabildades y riesgo físico, la misma que se basa en denominaciones descriptivas y cualitativas que para caracterizar la condición erosiva o de riesgo de cada zona. Esta sección describe el mapa de estabilidad y riesgo físico que acompaña este capítulo, definiendo la “estabilidad” como la ausencia de acciones erosivas significativas que puedan modificar el terreno o generar riesgos para la seguridad del proyecto y el medio ambiente. El concepto de riesgo físico implica la probabilidad de que ocurran situaciones que pueden comprometer la seguridad.

De esta manera, el concepto de riesgo físico está estrechamente asociado al de estabilidad, ya que normalmente las zonas estables no tienen generalmente riesgos físicos importantes. Sin embargo, el tipo de proyecto y las particularidades de cada forma de tierra pueden modificar parcialmente los conceptos.

Por ejemplo, los riesgos físicos para la carretera son mínimos o inexistentes en llanuras cultivadas, pero en cambio el riesgo ecológico, social y el probable deterioro de suelos de importante valor puede ser considerable. Las zonas de humedales no tienen procesos erosivos sensibles, son zonas estables, pero generalmente de alto valor ecológico, hidrológico y social, y podrían ser impactadas por el proyecto. En las vertientes de fuerte pendiente, inestables y erosivas, los riesgos son elevados, pero probablemente los impactos sociales o biológicos puedan ser menores.

La presente caracterización considera todas estas variables, intentando clasificar los sectores mediante denominaciones cualitativas en cuatro niveles: estables, ligeramente inestables, medianamente inestables e inestables, niveles en los cuales van aumentando las acciones erosivas y la potencial inestabilidad de los terrenos.

a) Áreas Estables (E)

Son zonas prácticamente carentes de acciones erosivas, y corresponden a sectores de pendiente llana: Algunos sectores de altiplanicies, de clima frío húmedo, donde la escorrentía superficial está bastante frenada por la cobertura herbácea de altitud, y donde los movimientos de masa son muy esporádicos y de pequeña magnitud. Estos sectores se aprecian en el km 38. Las zonas estables más amplias, corresponden a los fondos de valle fluviales y glaciales; los primeros de clima templado, con predominancia de cultivos andinos, y los segundos con cubierta de pastos de altitud. No tienen acciones erosivas de importancia salvo en los sectores ribereños, sujetos a la erosión fluvial de ríos generalmente de pequeña a mediana magnitud. Las planicies de valle fluvial se dan entre los km 72 a 85, constituyendo una zona estable continua de 13 km, a los que sigue otro tramo estable de casi 15 km que va desde el km 85 hasta el final. Si bien se trata de áreas plenamente estables, si tienen en cambio algunos riesgos significativos en lo que respecta a probables inundaciones y socavamientos, como sucede en una corta sección de 200 m en el km 72.

Las áreas estables, casi desprovistas de acciones erosivas y de riesgo, totalizan casi 30 km de los 68 km de que consta el tramo; es decir casi un 40% se halla en esta acentuada condición de estabilidad.

b) Áreas Ligeramente Inestables (LI)

En estas áreas las acciones erosivas son visibles, incipientes, y localmente significativas. Corresponden principalmente a sectores de altiplanicies onduladas, y piedemontes en los fondos de valle; estos relieves generalmente tienen pendientes débiles o moderadas, pero con el suficiente potencial para ocasionar acciones erosivas sensibles en el contexto geológico y climático en que se encuentran.

Este tipo de medios se distribuye ampliamente en el área de estudio, pero de manera directa como cruces de la carretera, solo se encuentran en sectores puntuales, como las altiplanicies del km 32, y los piedemontes de los km 37, 45, 56 a 64. El concepto de ligera inestabilidad para estas zonas implica la ocurrencia, y sobre todo cierto potencial de acciones erosivas, que en las condiciones actuales sólo se presentan de manera esporádica. Pequeñas cárcavas, y eventualmente pequeños movimientos de masa representan cierto nivel de riesgo para la carretera; de igual modo, el emplazamiento de las instalaciones, el tratamiento y construcción de la vía son aspectos importantes del proyecto.

Las tierras de esta categoría suman casi el 15% del recorrido.

c) Áreas Medianamente Inestables (MI)

Estas zonas presentan algunas acciones erosivas de consideración, y en el aspecto potencial, las condiciones de estas áreas son favorables a la erosión, con importantes consideraciones de riesgo.

Los riesgos mayores se deben a la eventual ocurrencia de movimientos de masa de difícil control, en la medida de que son probables los movimientos de grandes proporciones. El mapa geomorfológico muestra amplios sectores de vertientes montañosas moderadamente empinadas, y en algunos casos, altiplanicies onduladas. Es decir son zonas que por pendiente se hallan más comprendidas dentro de los rangos estables o ligeramente inestables; sin embargo, la naturaleza arcillosa del terreno ocasiona deslizamientos locales o dispersos, como el del km 50+500, que constituyen procesos de elevado riesgo físico.

Por la misma naturaleza arcillosa, el escurrimiento concentrado toma localmente proporciones de riesgo erosivo considerables, como por ejemplo en el km 53+700, donde unas cárcavas relativamente

pequeñas, cortan fácilmente el terreno hasta causar hundimientos y zanjas de difícil control, una vez que el proceso se ha iniciado. Cabe destacar que se trata de laderas que generalmente no pasan de 300 o 400 m de desnivel, lo que en términos de montaña es bastante bajo, siendo esta una circunstancia favorable para la implementación de medidas de control apropiadas.

En el mapa de Estabilidad y Riesgo Físico las áreas medianamente inestables se subdividen en dos clases (MI-1 y MI-2). El primero se conforma de altiplanicies onduladas (con accidentes topográficos más o menos significativos) y el segundo de vertientes montañosas moderadamente empinadas; estas últimas tienen una topografía más accidentada que las altiplanicies, pero se conforman de rocas más resistentes. En cambio, el sector de altiplanicies, por su pendiente serían normalmente más estables; pero su conformación arcillosa, en un medio de rocas poco compactas de la formación Urcos las hace igualmente inestables.

Los terrenos de esta categoría se dan entre los km 32 a 37, 39 a 40, 47 a 56, 64 a 67 y 86 a 89; es decir aproximadamente 20 km de recorrido, que representan casi el 30% del total.

d) Áreas Inestables (I)

En esta categoría se consideran tres tipos de áreas claramente inestables: los dos primeros son las áreas de inestabilidad ligadas a laderas, y la tercera está ligada a cauces fluviales.

En el caso de laderas, estas áreas presentan generalmente procesos erosivos más frecuentes que las descritas en la categoría anterior (medianamente inestables). La diferencia radica en el potencial. Estos terrenos son más empinados y los desniveles altitudinales son mayores, siempre con formaciones rocosas poco consistentes, especialmente cuando corresponden a las rocas de la formación Urcos, por lo que se pueden esperar procesos erosivos de movimientos de masa y erosión concentrada en proporciones mayores, y con mayores dificultades para su control.

Las vertientes asentadas sobre la formación Urcos se califican como una unidad inestable (I-1) y las ubicadas sobre la formación Ccatcca y otras, como (I-2). A ambas se les considera con el mismo potencial de inestabilidad, a pesar que las segundas son normalmente más accidentadas y agrestes. La mayor pendiente de estas últimas se equipara con la poca consistencia de las formaciones rocosas de la segunda, y por ello las zonas inestables en el área resultan regularmente extendidas.

El sector más definido de este nivel de inestabilidad es la zona que va del km 45 al 72; que incluye laderas moderadamente empinadas pero con acciones erosivas considerables, así como zonas en las que la carretera va por fondos de valle estrechos con formaciones rocosas susceptibles a los deslizamientos. Otros sectores son los km 32 a 37, y algunos más puntuales, como el del, 81 a 83, 90 a 91 y 94.

Finalmente unos sectores reducidos pero altamente dinámicos son los ligados con la erosión de los cauces, tanto del río Ccatcca como del río Mapacho. Se les considera sectores inestable I-3; afectan a la carretera y son amenazas muy importantes a tomar en cuenta, tanto por inundación como por socavamiento destructivo. Sin embargo, en total son sectores que no pasan de unos cientos de metros, poco relevantes en el contexto porcentual, aunque su importancia para el proyecto si es considerable.

e) Áreas Altamente Inestables (AI)

Como su nombre indica, son sectores de alto riesgo y de marcada ocurrencia de acciones erosivas de importancia: Son sectores de muy fuerte pendiente, formados a la vez por rocas poco compactas que favorecen la erosión. Se presentan en pocos lugares, como los km 46, 50, 54 y 71. El riesgo más

importante para estos sectores puntuales es la ocurrencia de deslizamientos; sin embargo, en vista de que se trata de zonas de pequeña dimensión, las posibilidades de controlar los procesos mediante procedimientos geotécnicos es siempre factible.

A manera de resumen de las características geomorfológicas principales y condiciones de erosión actual del área, a continuación se presenta un cuadro resumen referido a este sector por kilometraje en la carretera.

Cuadro 5.3.5-1 Resumen de las características geomorfológicas del Tramo del km 32+000 al km 100+000

Unidades Geomorfológicas		Origen	Pendiente	Composición Litológica y Formaciones Geológicas	Ubicación y/o altitud	Procesos Erosivos	Estabilidad	Riesgo Físico	Ubicación	
TRAMO 2 Sector 1 SIERRA	Planicies y Superficies Onduladas	Fondos de valle fluvial	0 a 15%	Rellenos aluviales cuaternarios inconsolidados, de grava redondeada a semiredondeada; arena, limos y arcillas en bancos estratificados.	Sierra media, entre 3400 y 3800 msnm	Sin erosión sensible, salvo en los bordes ribereños	Estables	Bajo o muy bajo	39+200 a 44+500; 71+500 a 84+200	
		Piedemontes aluviales							37+500 a 39+200	
		Fondos de valle glacial	0 a 25%	Rellenos cuaternarios inconsolidados, principalmente glaciales, fluvioglaciales y eluviales, de fragmentos y gravas angulosas, arena, limo y arcillas en diversas proporciones heterométricas casi sin estratificación.					Sierra alta, sobre 3800 msnm	Sin erosión sensible
	Altiplanicies onduladas	36+000 a 37+500; 49+000 a 50+000; 55+500 a 64+000								
	Vertientes montañosas	Vertientes montañosas y colinas moderadamente empinadas	Incisión de las corrientes fluviales a consecuencia del levantamiento andino de fines del Terciario	25 a 50%	Formaciones sedimentarias paleozoicas, principalmente arcillosas, y en menor medida arenosas, casi siempre dispuestas en grandes bancos de capas muy delgadas de unos milímetros a unos centímetros de espesor. Son formaciones mayoritariamente poco compactas.	Sierra media y alta entre 3400 y 4400 msnm.	Escorrentía en surcos y cárcavas, y deslizamientos eventuales de pequeña a mediana magnitud	Medianamente inestables	Medio y localmente alto	32+000 a 36+000; 44+500 a 45+000; 46+500 a 49+000; 50+000 a 55+500; 64+000 a 67+000; 84+200 a 89+200; 91+100 a 93+700
		Vertientes montañosas empinadas		50 a 70%						45+000 a 46+500; 67+000 a 71+500; 89+200 a 91+100; 93+700 a 94+200
Vertientes montañosas escarpadas		Más de 70%		Cárcavas y frecuentes deslizamientos y derrumbes						Muy inestables

5.3.5.3 GEOMORFOLOGIA DEL SECTOR 2- KM 265+000 – 300+000

5.3.5.3.1 Morfogénesis

La región está formada por la cadena orográfica de la cordillera oriental andina, de edad paleozoica, conformada en el área por rocas metamórficas y sedimentarias. La historia morfogenética de la región se inicia en el paleozoico superior, cuando una fase tardía de plegamiento de la orogénesis tardihercynica, levantó los fondos marinos dando lugar a la emersión de la actual cordillera oriental. En los tiempos mesozoicos, esta cordillera se hundió nuevamente para conformar otra vez fondos marinos, los cuales se hicieron ya definitivamente continentales durante la fase orogénica andina de fines del Cretácico a comienzos del Terciario.

a) Morfogénesis Terciaria

A principios del terciario, toda la región andina se hizo definitivamente continental. Posteriormente durante el mioceno ocurre una etapa de erosión y aplanamiento generalizado del relieve que afecta el territorio cordillerano y da lugar a una superficie llana a ondulada conocida como “superficie puna”. Luego del desarrollo de esta superficie, sobrevino el gran levantamiento que eleva los Andes a sus niveles aproximadamente actuales y deja a esta superficie de erosión a una altitud comprendida entre 3 800 y 5 000 msnm.

El levantamiento ocurrido entre el plioceno y pleistoceno dio origen a una intensa disección fluvial de las masas rocosas andinas, configurando su relieve montañoso actual. Sin embargo, algunos sectores recibieron incisiones más profundas que otros, debido a factores litológicos y estructurales locales.

b) Morfogénesis Cuaternaria

Uno de los aspectos relevantes de la morfogénesis cuaternaria es la ocurrencia de glaciaciones, las cuales cubrieron gran parte de la sierra del país. Este hecho tuvo importantes incidencias indirectas en la Selva Alta, como es el caso de este tramo evaluado.

Las glaciaciones cuaternarias ocurridas en los Andes, dieron lugar para este tramo evaluado, a fases climáticas más secas que la actualidad; en esas condiciones es probable que la erosión continental en las laderas actualmente cubiertas de bosques, haya sido bastante mayor, ya que las escorrentías producidas por las lluvias caían sobre terrenos de fuerte pendiente menos cubiertos por vegetación protectora que en la actualidad. La sierra aportaba a la vez mayores volúmenes de sedimentos por el avance de los glaciares, y en general la región de selva alta como la presente, recibía una gruesa carga aluvional.

El aumento post glacial de la temperatura contribuyó a desarrollar el bosque a su condición actual; la erosión se reduce y se elevan los caudales hidrográficos; el aumento de energía correlativo al incremento de caudal y a la disminución de la carga sólida provoca el hundimiento de las corrientes fluviales, dejando niveles de terraza o antiguos lechos fluviales colmatados por las fases glaciales, en posiciones topográficas superiores a los niveles de las corrientes actuales. No obstante, el bosque tropical no detiene todas las acciones erosivas; la pluviosidad se va haciendo paulatinamente extrema, y en este contexto la vegetación pierde parte de su eficacia protectora; grandes deslizamientos se producen eventualmente aún en las zonas más boscosas.

En los últimos años la erosión antrópica juega un papel sustantivo en la erosión y morfodinámica del área, ya que la deforestación incipiente producida por la actividad agraria que se instala en laderas de fuerte pendiente, favorece la erosión y arrastre de sedimentos por las aguas de escorrentía, en un

medio sumamente lluvioso. Este proceso es acentuado en los valles y al lado de las carreteras, y contribuye al deterioro del medio, en un nivel que para el área puede calificarse aún como débil o incipiente. Asimismo, la intervención antrópica en el área se produce como actividad minera aurífera, en la cual mineros artesanales intervienen los depósitos aluviales en busca de oro y ocasionan importantes cambios en la dinámica fluvial, (además de su contaminación).

Esta actividad remueve los lechos fluviales sin prácticas de control alguna, y luego los ríos modifican sus patrones de escurrimiento, generalmente elevando sus lechos y atacando erosivamente las riberas. Este proceso es muy destructivo, y 15 km al norte del área de estudio, en el río Caychihue, la erosión y el deterioro han llegado prácticamente a niveles extremos. En el sector de este tramo evaluado, la minería es más dispersa, y los niveles de afectación son todavía incipientes.

5.3.5.3.2 Fisiografía

La descripción fisiográfica del área de estudio incide en los aspectos externos (pendiente, magnitud del relieve, disección, rugosidad, etc.) que suelen ser determinantes para las particularidades del proyecto. La fisiografía es la base de la caracterización geomorfológica, y por ello las formas de tierra se agrupan en conjuntos morfológicos sencillos muy generales, como planicies, relieves colinosos, montañas, etc.

a) Planicies

Son superficies llanas de 0 a 4 % de pendiente, que se hallan principalmente en las márgenes de los ríos, habiéndose formado por la acumulación reciente de estos ríos y sus procesos de inundación en niveles de terrazas fluviales.

Debido a la horizontalidad del relieve y a la presencia del bosque tropical que las cubre, estas terrazas prácticamente no tienen procesos erosivos sensibles, excepto en sus riberas cuando son atacadas por socavamiento. También existe alguna erosión cuando eventualmente las terrazas son cubiertas por las aguas de inundación.

Dos tipos de planicies aluviales se diferencian en el mapa geomorfológico: terrazas bajas inundables, y terrazas medias no inundables. Todas las terrazas constan de bancos arenosos, limosos y arcillosos, y la distribución de estas partículas tiene que ver con la dinámica cambiante de las corrientes fluviales, así por ejemplo, hay sectores de playas de río mayormente arenosas y otras con acumulaciones más pesadas de arcilla o limo; la posterior elevación de estas playas a niveles de terraza no inundable hace que la litología de las terrazas resulte particularmente cambiante en cortos espacios de terreno.

Las arenas, e incluso los fragmentos más gruesos como pequeñas gravillas, aparecen en los ejes de las corrientes fluviales, donde están las máximas velocidades. Los limos, y más aún las arcillas se dan en las zonas distales de las corrientes. Sin embargo, el cambio de dirección de un río por la evolución de un meandro, puede acumular actualmente arenas sobre bancos anteriormente arcillosos o limosos, o viceversa. Por ello la columna estratigráfica de una sección fluvial en profundidad no puede generalizarse.

a.1) Terrazas bajas inundables (Tbi)

Son las terrazas más recientes de edad holocena y actual. Son planos de alrededor de 1% de pendiente, cuyas alturas sobre los ríos actuales no pasan de 3 a 9 m, por lo que son casi siempre cubiertas por las mayores crecientes que se suceden anualmente. Las inundaciones duran unos días y la circulación de las aguas puede ser violenta dependiendo del río y la configuración topográfica.

Este tramo fluvial es netamente montañoso; las crecidas son muy rápidas porque el aporte de las laderas es inmediato debido a las pendientes. Asimismo, los cauces encañonados hacen que las corrientes suban a niveles más elevados que las inundaciones en valles abiertos. De esta manera, la inundabilidad alcanza alturas de 10 m en los sectores encajonados para los periodos más lluviosos.

Coincidentemente con la morfología encañonada, las terrazas bajas inundables se presentan en sectores localizados y estrechos. Sin embargo, a la altura de los km 275 a 280, la cordillera selvática se abre en una depresión en la que confluyen el río Camanti, Nusiniscato, Jujununta y el Araza; es una depresión geológica que ha sido cubierta por voluminosas acumulaciones de sedimentos formando aquí cursos de agua relativamente abiertos, con terrazas bajas inundables, igualmente extendidas.

a.2) Terrazas medias no inundables (Tm)

Son terrazas subcrecientes de edad holocena a pleistocena tardía, que se hallan en alturas a las que no llegan las corrientes actuales, por encima de 5 o 10 metros como mínimo, estando a veces a más de 40 m sobre los cauces actuales. Estas terrazas no son inundables a pesar del proceso dominante actual de elevación de los niveles inundables.

Estas terrazas son resultado de las acumulaciones aluviales de corrientes relativamente antiguas, que han quedado en posiciones topográficas superiores por las deformaciones tectónicas recientes, que las han elevado con pliegues de amplio radio de curvatura.

En detalle la topografía de estas terrazas tiene ondulaciones y disecciones que afectan la superficie dándole una pendiente aproximada de 2 a 4% como rango dominante. Por estas pendientes que son ya significativas, las condiciones de mal drenaje resultan poco comunes, quedando únicamente en sectores muy localizados. Otra característica importante de las terrazas no inundables, es que debido a la carencia de aportes de nueva sedimentación que ocasionan los ríos en las terrazas inundables, los suelos de las terrazas medias se acidifican constantemente, gradando a suelos más meteorizados y menos fértiles.

En el sector montañoso que caracteriza este tramo, las terrazas medias aparecen de manera dispersa a ambos márgenes del río Araza. Alturas de 30 a 40 m sobre el río, constituyen sectores estables, sin erosión apreciable en el contexto montañoso regularmente erosivo.

b) Montañas

Las montañas se presentan prácticamente a lo largo del tramo evaluado. En su mayor parte, la carretera se emplaza directamente sobre el sustrato rocoso de estas montañas, apenas interrumpida por pequeños sectores de material aluvial de las terrazas medias.

Fisiográficamente, las montañas pueden subdividirse según la magnitud de su relieve: montañas bajas y montañas escarpadas.

b.1) Montañas bajas (Mb)

Son relieves que se elevan entre 250 a 500 m, con pendientes que van generalmente entre 25 a 70%. La constitución litológica predominante es de areniscas intercaladas con lutitas. Las areniscas por lo general forman resaltes topográficos mientras que las lutitas tienden a ser más fácilmente erosionadas proporcionando sectores de menor pendiente. Cabe destacar que en el mapa geomorfológico las montañas se han subdividido en montañas bajas moderadamente empinadas (pendiente de 25 a 50%) predominante, y montañas bajas empinadas (50 a 70 % de pendiente predominante).

b.2)Montañas escarpadas

Son relieves que se elevan entre 300 a más de 500 m de altura, con pendientes casi siempre superiores a 50%, y numerosos sectores de pendiente subvertical. Como se trata de relieves sedimentarios plegados, las areniscas y cuarcitas forman paredes rocosas alineadas a manera de barras subverticales (señaladas en el mapa geomorfológico). Paredes bastante estables, que tienden a darle estabilidad al conjunto, a pesar de las lluvias abundantes y las pronunciadas pendientes.

Las montañas escarpadas conforman sectores relativamente críticos para el trazo vial, ya que desde el inicio del tramo, la vía pasa por el sector encañonado sujeto a derrumbes provocados por la fuerte pendiente y presencia de rocas blandas (lutitas) que alternan entre las rocas duras de areniscas. Son zonas donde los movimientos de masa son frecuentes, motivados tanto por las condiciones naturales, como por el propio corte vial, que inestabiliza los taludes, y por los socavamientos que ocasiona el río Araza en este sector encañonado.

5.3.5.3.3 Morfodinámica y Procesos Erosivos Actuales

En el mapa geomorfológico se representa también la ubicación y ocurrencia de acciones erosivas diversas que tienen importancia con relación al proyecto de construcción vial. Se trata de procesos erosivos actuales significativos. En esta sección se proporciona una visión aproximada de los tipos de acciones erosivas y sus intensidades actuales.

a) Escurrimiento Superficial

Se refiere a la acción erosiva del agua corriente proveniente de las lluvias en su descenso por las laderas. La erosión empieza generalmente de manera difusa, cuando las lluvias caen e inician un lento descenso por la superficie. Si el terreno tiene poca pendiente, es permeable y está bien protegido por la vegetación, el escurrimiento se mantiene en estado difuso, compuesto por numerosos hilos de agua que discurren cruzándose constantemente, sin provocar cambios erosivos sensibles; como resultado, el agua de las laderas llega a los drenes principales casi desprovisto de carga sólida.

En el área de estudio, el escurrimiento difuso es dominante, a pesar del predominio de las fuertes pendientes. El bosque primario y también el bosque secundario frenan el escurrimiento producido por la lluvia, manteniéndolo en estado difuso. Sin embargo, algunos sectores muy deforestados pasan el escurrimiento difuso a escurrimiento concentrado en surcos.

b) Erosión en surcos y cárcavas

En las zonas deforestadas, de las laderas montañosas, el escurrimiento difuso pasa al estado de surcos, y en algunos casos al de cárcavas. Este proceso erosivo es incipiente aún, y no tiene mayor incidencia en la carretera. La erosión concentrada en surcos y cárcavas se favorece no sólo de la deforestación sino de la presencia alterna de estratos rocosos blandos. Cuando las cárcavas llegan a estratos resistentes como las areniscas, la erosión se reduce drásticamente.

La erosión en surcos y cárcavas se presenta en la zona más como una forma erosiva potencial, que puede desencadenarse si se intensifica masivamente la deforestación. Una prueba de ello son los terrenos que bordean al río Caychihue (20 km al norte), explotados de manera intensa en minería artesanal, sin medidas efectivas de control.

c) Movimientos de Masa (derrumbes y deslizamientos)

Son los movimientos que afectan laderas haciendo caer bruscamente volúmenes diversos de materiales sueltos y rocosos, constituyendo un serio riesgo característico de las áreas montañosas de

fuerte pendiente, y en menor grado en las zonas colinosas. Los deslizamientos son movimientos que se producen sobre masas de material saturado en agua o provocados por planos de lubricación debidos al agua de infiltración. En tal sentido, los deslizamientos son propios de zonas de clima húmedo como es este caso. En cambio los derrumbes pueden ocurrir sin saturación de agua, aún en las zonas más secas, sólo basta que los taludes inestables de material un poco suelto se desestabilicen aún más, lo que sucede por ejemplo con la socavación lateral ejercida por un río o torrente, o por la apertura de una carretera.

Tratándose de una región netamente montañosa, donde llueven más de 7 m al año, los movimientos de masa son un proceso normal para estas circunstancias. La carretera debe afrontar estos riesgos inherentes a este tipo de medio geográfico. El clima cálido y húmedo favorece la descomposición rocosa pero a su vez las formaciones geológicas comprenden una elevada proporción de rocas duras alineadas en estratos casi verticales. Si bien el clima favorece la rápida meteorización y formación de suelos poco consistentes, la fuerte pendiente contribuye al pronto lavado de las partículas meteorizadas.

Todo este contexto reduce significativamente el potencial generador de movimientos de masa que normalmente podrían esperarse bajo climas tan lluviosos y de estas pendientes, aunque no son excluidos del todo. Son bastante frecuentes los pequeños derrumbes que caen sobre el río Araza, causados por los propios socavamientos del río en numerosos taludes inestables. Los deslizamientos evidenciados durante el recorrido de campo son de pequeña a mediana magnitud; expresados de unos pocos cientos de m³ de material deslizado o derrumbado, o de varios miles a decenas de miles de m³. Sin embargo, los grandes deslizamientos que serían esperables bajo estas condiciones geográficas no se producen en las magnitudes que se puede temer.

d) Erosión fluvial y torrencial

Es la erosión que se produce en los cauces dependiendo de diversos factores. En el presente tramo, la erosión fluvial se manifiesta sobre todo por socavamientos intensos que el río ejerce en taludes inestables de ambos márgenes. El mapa geomorfológico indica dichos sectores que en varios casos producen amenazas a la carretera.

Bajo otra modalidad la erosión fluvial se manifiesta como erosión en terrazas bajas inundables, más o menos amplias, formadas en la denominada depresión de Quincemil (km 270 a km 279). Si bien, en este último sector la carretera está alejada del río, la sedimentación que aquí se produce tiene influencias en la dinámica fluvial del sector montañoso ubicado aguas abajo.

Respecto a la carretera, la erosión fluvial es bastante importante, ya que por tratarse de una zona montañosa, donde la carretera aprovecha el valle y se emplaza en laderas ubicadas con frecuencia inmediatamente por encima de los ríos Araza y Nusiniscato, la erosión natural que ejercen los ríos en los bordes laterales, causan socavamientos que muchas veces afectan la base de las laderas en que está construida la vía. Estos procesos son normales en zonas montañosas cruzadas por ríos caudalosos y torrentosos como es el caso de los ríos de selva alta. Sin embargo, en el tramo en estudio, la minería artesanal aurífera ha producido en los últimos años, y aún produce acciones erosivas importantes que aumentan el riesgo de afectación de la vía por erosión de las laderas.

La actividad minera se efectúa de manera artesanal sin controles técnicos, sobre las coberturas aluviales de los lechos de ríos; la remoción de materiales que realizan los mineros causan alteraciones en los regímenes fluvio torrenciales, que por lo general incrementan los efectos erosivos sobre las laderas. El proceso en el tramo que va del km 265+000 al 300+000 aún no es severo, como si lo es el

caso extremo del río Caychihue (ubicado a la altura del km 320 de esta misma carretera), y más bien se mantiene en un estado más o menos incipiente, donde las acciones erosivas severas debidas a esta actividad se presentan de manera más o menos localizada, pero se trata de un proceso que puede incrementarse y causar un severo deterioro ambiental en zonas morfodinámicas muy activas por las fuertes pendientes y extrema pluviosidad del área, de no tomarse las medidas de control apropiadas.

En la galería fotográfica puede apreciarse que, entre otros lugares, en el km 296 un pequeño torrente que cruza la vía, ha sido completamente obstruido por desmontes de la actividad minera; en este caso los flujos torrenciales se represarían, y el escurrimiento afectaría severamente la carretera. De este modo la erosión antrópica resulta particularmente importante en el contexto de la conservación vial, y también en el contexto de la conservación ambiental regional.

5.3.5.3.4 Análisis de Estabilidad y Riesgo Físico

Sobre la base de la información geomorfológica, geológica y climática principalmente, se presenta una zonificación de estabildades y riesgo físico. Esta caracterización considera diversas variables, clasificando los sectores mediante denominaciones cualitativas en cinco niveles: estables, ligeramente inestables, medianamente inestables, inestables y altamente inestables, niveles en los cuales van aumentando las acciones erosivas y la potencial inestabilidad de los terrenos.

a) Áreas Estables (E)

Son zonas prácticamente carentes de acciones erosivas, y corresponden a sectores de pendiente llana: específicamente terrazas fluviales no inundables. Aquí la escorrentía superficial está bastante frenada por la cobertura de bosque tropical o de purmas y vegetación secundaria. En esencia no tienen acciones erosivas visibles y tampoco tienen potencial de riesgo, incluso bajo circunstancias de usos intensivos, como por ejemplo por actividad agrícola o ganadera.

La carretera pasa por estos terrenos que son bastante reducidos en vista de que casi todo el tramo se verifica en un medio netamente montañoso y accidentado, donde las terrazas fluviales son una ocurrencia puntual. La carretera se emplaza en terrazas entre los km 274 a 278, 281, 283 a 285 y 289. En total menos de 7 km, es decir el 20% del recorrido.

b) Áreas Ligeramente Inestables (LI)

En estas áreas las acciones erosivas son visibles, incipientes, y localmente significativas. Sin embargo su potencial erosivo es considerable en caso de deforestaciones masivas, teniendo en cuenta la extrema pluviosidad del área. La potencialidad erosiva se refiere al riesgo de erosión por escorrentía concentrada, procesos que actualmente no se dan por ser terrenos casi totalmente cubiertos por el bosque tropical.

Áreas de este nivel de inestabilidad no se han identificado en todo el tramo, donde por su configuración netamente montañoso, predominan claramente las inestabilidades mayores; sin embargo, figuran en el mapa como parte de la zona de influencia del indirecta del estudio, más allá del km 300 de la carretera..

c) Áreas Medianamente Inestables

Corresponden a sectores reducidos de las montañas de selva alta, que por lo general son las bases de las laderas en el contacto con terrazas o piedemontes. Por su menor pendiente y por tratarse de zonas de bosque tropical, estas zonas prácticamente carecen de procesos erosivos visibles; pero se estima que en caso de deforestaciones más o menos intensivas, la erosión se desarrollará hasta niveles de riesgo medios, tanto por la formación de cárcavas activas, como por pequeños movimientos de masa.

Estos piedemontes o bases de ladera se presentan entre los km 267 a 274 y 279; algunos otros lugares aparecen muy cercanos a la vía, pero a veces separados en la otra margen del río, y por tanto sin ninguna incidencia en la carretera. Son unos 8 km de este tipo de áreas medianamente inestables, que representan poco más del 20%.

d) Áreas Inestables

En esta categoría se consideran dos tipos de áreas claramente inestables: los primeros son las áreas de inestabilidad ligadas a laderas, y las segundas, ligadas a cauces fluviales.

En el caso de laderas, estas áreas presentan generalmente procesos erosivos más frecuentes que las descritas en la categoría anterior (medianamente inestables), y su erosión potencial es igualmente considerable. Son terrenos montañosos empinados y hasta escarpados, con desniveles altitudinales importantes. Si bien las formaciones rocosas predominantes son rocas duras, tienen frecuentes intercalaciones arcillosas blandas que favorecen la erosión, especialmente los movimientos de masa.

En caso de intervenciones más o menos intensivas del bosque que cubre estas laderas, es muy probable que se desencadenen procesos erosivos de serio riesgo, y con fuertes dificultades para su control. Una circunstancia favorable que contribuye a disminuir el riesgo físico erosivo de estas laderas generalmente escarpadas, es la presencia de barras rocosas compactas alineadas contra la pendiente. Estas bandas sedimentarias frenan la escorrentía y atenúan también los movimientos de masa; sin embargo es un freno a los procesos más grandes; en el detalle, movimientos pequeños pero riesgosos, y escorrentías torrenciales siempre se evidencian en las condiciones actuales y se estima que serían mayores ante intervenciones más o menos pronunciadas.

Es el tipo de medio dominante en el área de estudio, y la carretera está emplazada en estas áreas prácticamente de manera continua desde el km 280 hasta el final en el km 300. Casi 25 km de recorrido, que representan el 57% del trazo.

El otro nivel de terrenos inestables por dinámica fluvial se refiere a que son terrenos que normalmente son inundados por los ríos en temporadas de creciente; es una condición de erosión severa, incompatible con la carretera, la cual no está emplazada en estos medios. En el acápite anterior referido a erosión fluvial y torrencial, se hizo mención al importante papel de la actividad minera en los procesos particulares que afectan a esta zona, y que influyen decisivamente en incrementar el riesgo físico de estos sectores fluviales.

e) Áreas Altamente Inestables

Son sectores de sumo riesgo para las actividades, ya que se trata de regiones montañosas fuertemente erosionables, con movimientos de masa actuales aún en medios cubiertos de bosque tropical, que pueden tener eventualmente proporciones catastróficas. Son laderas generalmente escarpadas, con depósitos coluviales inestables, que se mantienen en condiciones de equilibrio precario por la presencia del bosque que retiene en parte las masas superficiales, sin evitar del todo los procesos de remoción en masa que son visibles. Además estas laderas no tienen las crestas rocosas de los estratos sedimentarios resistentes de la unidad anteriormente descrita. En suma son zonas de muy alto riesgo, que sin embargo, son tocadas por la carretera en tramos puntuales, que no pasan de 2 km en total.

A manera de resumen de las características geomorfológicas principales y condiciones de erosión actual del área, a continuación se presenta un cuadro resumen referido a este sector por kilometraje en la carretera.

Cuadro 5.3.5-2 Resumen de las características geomorfológicas del Tramo del km 265+000 al km 300+000

Unidades Geomorfológicas		Origen	Pendiente	Composición Litológica y Formaciones Geológicas	Ubicación y/o altitud	Procesos Erosivos	Estabilidad	Riesgo Físico	Ubicación
TRAMO 2 Sector 2 SELVA ALTA	Planicies	Terrazas bajas inundables	0 a 4%	Relleno aluvial inconsolidado de grava y arenas redondeadas, limos y arcillas en diversas proporciones, en bancos estratificados.	Fondos de valle entre 700 y 400 msnm	Intensa erosión fluvial, especialmente en meses de creciente. Dinamismo fluvial intensificado por la minería aurífera artesanal.	Muy inestable	Alto a muy alto	Sectores alejados de la vía
		Terrazas medias	0 a 15%			Sin erosión significativa, salvo en los bordes ribereños sujetos a severa erosión fluvial.	Estables	Bajo o muy bajo	274+200 a 277+700; 280+600 a 281+700; 282+600 a 284+800; 285+400 a 286+400
	Vertientes montañosas	Montañas bajas moderadamente empinadas	25 a 50%	Formaciones sedimentarias cretácicas principalmente de areniscas compactas, en bancos gruesos de varios decímetros de espesor, alternadas por capas delgadas de rocas blandas, principalmente de lutitas. Las rocas cretácicas están ligeramente cubiertas por formaciones eluviales de suelos y productos de meteorización superficial.	Montañas entre 400 a más de 1200 msnm	Pequeños movimientos de masa y erosión difusa intensa. Localmente deslizamientos severos.	Medianamente inestables	Medio a localmente alto	270+500 a 273+500; 278+000 a 279+100
		Montañas bajas empinadas	50 a 75%			Grandes movimientos de masa eventuales, y frecuentes deslizamientos pequeños. Erosión difusa intensa.	Inestables	Alto	265+000 a 266+500; 273+500 a 274+200; 277+700 a 278+200; 279+500 a 280+600
		Montañas escarpadas	Más de 75%			Muy inestables	Muy alto	266+500 a 270+500; 279+100 a 279+500; 281+700 a 282+600; 284+800 a 285+400; 286+400 a 300+000	