

5.3.4 GEOLOGÍA

5.3.4.1 GENERALIDADES

La presente evaluación geológica plantea el reconocimiento de las principales formaciones rocosas del área, sus características físicas, químicas y estructurales, así como sus implicancias ambientales respecto a las obras viales previstas por el proyecto. El estudio se desarrolla sobre la base de la información publicada por el INGEMMET en sus cuadrángulos geológicos a escala 1:100 000, complementados con trabajos de interpretación de imágenes de satélite Landsat 7 y con observaciones directas en recorridos de campo.

La zona de estudio atraviesa un amplio sector de la sierra sur de la Cordillera Oriental (km 32+000 – 100+000), y un sector de la selva alta de esta misma cordillera (km 265+000 – 300+000) ambos sectores (a los que se denominan 1 y 2 respectivamente) ubicados en el departamento del Cusco. El mapa geológico que acompaña este capítulo de Línea Base muestra el área a escala de 1:50 000.

En términos generales, la geología del área del sector 1 comprendido entre el km 32+000 y 100+000 tiene una relativa simplicidad en comparación con otros sectores de la cordillera andina. Esto se manifiesta principalmente en la estratigrafía, ya que sólo afloran casi exclusivamente voluminosas formaciones arcillosas, y en menor medida arenosas, del Paleozoico, intercaladas localmente por otros tipos de rocas y edades. Todo este substrato rocoso aparece cubierto de manera heterogénea por formaciones de relleno cuaternario aluvial, coluvial, fluvio-glacial y glacial. La relativa simplicidad litológica contrasta con la marcada complejidad de sus estructuras, teniendo en cuenta las severas deformaciones estructurales sufridas por la cordillera oriental a lo largo de los procesos tectónicos ocurridos durante las orogenias hercynica y andina.

La geología del sector de selva alta que va del km 265+000 al 300+000 es en cambio bastante compleja, y en este corto recorrido se encuentran diversas formaciones sedimentarias cretácicas y terciarias, todas afectadas por importantes deformaciones tectónicas de fallas y pliegues.

5.3.4.2 GEOLOGÍA DEL SECTOR 1 (km 32+000 – 100+000)

5.3.4.2.1 Estratigrafía

En el área de estudio las rocas sedimentarias aflorantes son esencialmente de edad paleozoica. La columna cronoestratigráfica del área está representada en el Cuadro 5.3.4-1 que se presenta al final de esta sección. La descripción de las unidades estratigráficas es la siguiente:

Paleozoico

En el área de estudio la estratigrafía del paleozoico está representada ampliamente por dos formaciones, mayormente arcillosas: las formaciones Urcos y Ccatcca. La formación Urcos es la más antigua, y la formación Ccatcca le sigue como una sedimentación concordante que descansa estratigráficamente sobre Urcos. Las características de ambas formaciones son las siguientes:

a) Formación Urcos

Sus afloramientos aparecen desde la localidad de Urcos hacia el este, concretamente hasta el valle del río Catcca. La formación Urcos constituye la margen derecha del valle del Vilcanota. La litología de Urcos es casi completamente arcillosa, y consiste de pizarras y lutitas pizarrosas; estas rocas son bastante similares entre si, y conforman el 80% de la constitución litológica de la formación Urcos. En menor proporción aparecen esquistos pizarrosos, y más localmente formaciones arenosas de cuarcitas y areniscas cuarcíferas. Las pizarras son azul negruzcas con estratos muy delgados.

Son rocas de origen marino, y se estima que el ambiente de sedimentación de esta formación fue de mares pelágicos someros, con predominio de condiciones reductoras. El espesor de la formación es desconocido, aunque se estima en más de 1 000 m. En cuanto a sus relaciones estratigráficas, en el área de estudio la base es desconocida, aunque René Marocco, en sus estudios que realizó en la cordillera de Vilcabamba (1978), la ubica sobreyaciendo concordantemente a la formación Zapla del Siluriano medio, mientras que el techo pasa concordante y gradualmente a las pizarras de la formación Catcca, que si afloran en el área de estudio, al este de la formación Urcos.

La formación Urcos tiene mucha importancia para el proyecto vial, ya que sus componentes rocosos son claramente poco competentes y en muchos casos, hasta deleznable. La potencialidad de riesgo que genera esta formación para la carretera es elevada, ya que en muchos lugares provoca deslizamientos de pequeña a gran magnitud. Esta negativa propiedad se debe al carácter arcilloso y altamente fisurado de la formación. Las arcillas son normalmente impermeables, pero las delgadas capas de arcilla compactada absorben que circula lentamente entre los finos y abundantes planos de estratificación. La fricción se reduce por la elevada lubricación interna, y por ello las masas deslizan aún en pendientes no muy elevadas, aunque naturalmente son más riesgosas a medida que aumenta la pendiente topográfica o cuando los planos de buzamiento concuerdan con el sentido de la pendiente topográfica (Suceden deslizamientos en pendientes ligeramente superiores a 30%).

Este tipo de rocas se distribuye ampliamente en el área de estudio, desde el km 32 al 38. aproximadamente. Luego se presenta entre los km 45 a 64.

b) Formación Ccatcca

Salvador Mendivil (1978) denominó así a una secuencia de areniscas y limolitas que afloran en forma continua al este del pueblo de Ccatcca. La litología de esta formación está conformada principalmente por areniscas, areniscas cuarcosas, limolitas, limolitas pizarrosas y lutitas, predominando las areniscas de grano medio.

Las areniscas afloran en estratos de 10 cm o más, mientras que las limolitas aparecen en estratos más delgados, de menos de 10 cm. Algunos niveles de la base de la formación (que descansan sobre la formación Urcos) aparecen principalmente como limolitas pizarrosas. El ambiente de sedimentación se asume como similar al de Urcos, aunque aquí hay mayores componentes de erosión continental (arenas y arenas gruesas). También se asocia a ambientes turbídicos.

No se conoce bien el espesor de esta unidad aunque se estima superior a 1,000 m y en cuanto a su posición estratigráfica se la asume como de origen devoniano. Esta formación cubre aproximadamente desde el km 64 al km 80 de la vía, tramo en el que se distribuye en proporciones más o menos igualitarias con los depósitos fluviales del Cuaternario reciente. Por las propiedades litológicas que tiene, también ocasiona movimientos de masa y procesos erosivos, aunque en una magnitud y riesgo

bastante menor que la que presenta la formación Urcos. Más bien la formación Ccatcca favorece una pronunciada formación de cubiertas de meteorización que luego son retocadas por la erosión, para contribuir a moderar las pendientes topográficas locales.

Cuaternario

Sobre el sustrato pre cuaternario de rocas litificadas del Paleozoico, aparecen de manera dispersa y con espesores distintos (de pocos metros a decenas de metros de espesor) las formaciones de relleno cuaternario, principalmente de origen fluvial, aluvial, lacustrino, glacial y fluvio glacial; también aparecen algunas formaciones superficiales más o menos profundas formadas por meteorización in situ del sustrato rocoso. Las formaciones cuaternarias reconocidas y cartografiadas en el mapa geológico son las siguientes:

a) Depósitos Glaciales

Son acumulaciones heterométricas de gravas angulosas, bloques, guijarros y arena, dispuestas sin estratificación en una abundante matriz de limo y arcilla. Son masas de acumulación dejadas por los avances de la glaciación cuaternaria

El tipo de glaciación identificada para la zona es de tipo de piedemonte, en el que grandes masas de glaciares provenientes del este y sur este, de los macizos montañoso de Ausangate, arrastraron gruesos volúmenes de sedimentos, y al fusionarse los glaciares con el incremento de la temperatura correlativa al fin de la glaciación, las acumulaciones quedaron en formas de morrenas laterales, frontales y de fondo, tapizando una amplia extensión desde el km 85 hacia el final del tramo.

El espesor de los rellenos glaciales abarca varias decenas de metros, y en general sus materiales ofrecen condiciones de mediana aptitud para las obras viales, ya que muchas veces son permeables y estables, y también con frecuencia presentan acumulaciones que se saturan de agua y deslizan con relativa facilidad.

b) Depósitos Fluvioglaciales

Son acumulaciones de gravas semiredondeadas que tienen mayoritariamente de 2 a 6 cm de diámetro, que aparecen embaladas en gruesas matrices arenosas y limoarcillosas de depósitos semiconsolidados, que incluyen frecuentes bloques rocosos de varios centímetros a algunos decímetros de grosor. Los depósitos fluvioglaciales se originan a partir de los frentes de acumulación glacial, cuando las morrenas son retocadas por voluminosas corrientes de fusión, que les dan cierto carácter aluvial, de acumulación semiestratificada y semiredondeada.

Los depósitos fluvioglaciales se extienden ampliamente al este de Ocongate, aproximadamente desde el km 80, y aumentan su dominio a medida que nos aproximamos hacia los glaciares de Ausangate. Esta región ha sido sometida a las grandes glaciaciones cuaternarias del pleistoceno, y las masas de hielo que cubrieron las cabeceras del valle del río Capacho.

Estas masas dejaron gruesas acumulaciones morrénicas netamente glaciales, las cuales fueron luego retocadas y re explayadas en la zona de estudio por las aguas corrientes, formando amplias llanuras que cubren las formaciones del sustrato rocoso.

Los depósitos fluvioglaciales constituyen formaciones de soporte para la vía, que se pueden catalogar en general como buenas, en la medida de que sus componentes permeables no favorecen los deslizamientos, salvo condiciones locales en que predominan las arcillas y el mal drenaje; en estos casos que se presentan de manera dispersa, propician las acciones erosivas.

c) Depósitos Eluviales

Son acumulaciones esencialmente finas de arcillas, limos y arenas, acumuladas sobre las laderas y formaciones rocosas pre-cuaternarias, a consecuencia de intensa meteorización in situ ocurrida en determinados sectores, especialmente sobre los componentes de la formación Ccatcca.

Estos depósitos son poco competentes y favorecen la ocurrencia de deslizamientos cuando se hallan en fuertes pendientes, o cuando son aperturados en taludes para la construcción de vías. En cambio son mayoritariamente buenos componentes en cuanto a calidad de suelos.

d) Depósitos Fluviales y Aluviales

Los depósitos fluviales son bancos de gravas y arena redondeadas, limos y arcilla estratificadas formadas por la acumulación reciente de los ríos y quebradas del área. Los depósitos aluviales se diferencian ligeramente por un menor redondeamiento de sus componentes rodados, es decir sus componentes tienen menor recorrido en las corrientes de agua.

Estos depósitos ocupan principalmente los ejes de los valles, siendo los fluviales los que se acumulan en pendientes más llanas. El carácter litológico de los depósitos depende esencialmente de la naturaleza petrográfica de las regiones drenadas, por ello, los depósitos fluviales del valle en Ccatcca son mayormente finos, especialmente los depósitos aluviales arcillosos de Kcauripampa, que derivan de las pizarras y lutitas pizarrosas de la formación Urcos. En cambio los depósitos fluviales de Ocongate y del Vilcanota, son más heterogéneos, incluyen fracciones de toda granulometría y constitución petrográfica, debido a que provienen de diversas formaciones geológicas de la cordillera.

La edad de estos depósitos incluye desde el cuaternario reciente hasta acumulaciones actuales, disponiéndose en niveles de terraza, cada vez más altos sobre los ríos y quebradas actuales cuando más antiguamente se han depositado. Excepto las acumulaciones arcillosas localizadas, se consideran generalmente como buenos medios constructivos.

Cuadro 5.3.4-1 Columna cronoestratigráfica del Tramo 2, km 32+000 – km 100+000

Era	Sistema	Grupo	Formación	Espesor	Descripción Litológica
Cenozoico	Cuaternario		Aluvial	200	Arena, limos, gravas, y arcilla, en bancos inconsolidados.
			Fluvio glacial		
			Glacial		
Paleozoico	Devónico		Ccatcca	1 000	Areniscas, areniscas cuarcíferas y limolíticas; limolitas pizarrosas y lutitas
	Silúrico		Urcos	1 000	Pizarras; pizarras lutáceas; esquistos pizarrosos; cuarcitas y areniscas cuarcíticas.

5.3.4.2.2 Rocas Intrusivas

En el sector evaluado para el trazo que va del km 0+000 al km 80+000, no se ha evidenciado la presencia de intrusiones ígneas.

5.3.4.2.3 Geología Estructural

El área de estudio presenta tres zonas morfológicas que se diferencian entre sí por sus caracteres litológicos, estructurales, altitudinales y topográficos. De oeste a este, conforme aumenta el kilometraje del proyecto vial, se tiene a las vertientes montañosas de la cordillera oriental, las altiplanicies, y los valles interandinos.

En estos conjuntos morfológicos, las estructuras tienen estilos diferentes debido a la intervención de variados factores a lo largo de la evolución. Desde este punto de vista hay que destacar que algunos componentes rocosos se han comportado como zócalo, y otros como cobertura, y a la vez han sido afectados por una tectónica variable, desde niveles profundos a superficiales.

La tectónica de profundidad se aprecia en las formaciones más antiguas, Urcos y Ccatcca, que por su antigüedad y posición, han debido soportar presiones y temperaturas considerables, resultando con ello una deformación intensa y complicada. Los pliegues y fallas de estas formaciones son muy complejos por esta severa deformación. La tectónica de cobertura afectó a las formaciones mesozoicas, pero también nuevamente a las formaciones paleozoicas, con deformaciones también complejas. Las formaciones mesozoicas no aparecen directamente en el área evaluada.

Finalmente la tectónica superficial comprende las deformaciones habidas sobre los depósitos cuaternarios, las cuales consisten en flexuras o pliegues débiles de amplio radio de curvatura.

El área presenta un conjunto de anticlinales y sinclinales muy apretados con eje orientado norte – sur y noroeste – sur este, que es mayoritariamente el rumbo andino, a pesar de tratarse de resultados de la orogénesis hercínica. La complejidad y lo apretado de estos pliegues se debe a las severas deformaciones de las fases tectónicas de profundidad y de cobertura

Diversas fallas afectan también el conjunto orográfico, las mayores con el rumbo andino noroeste – sur este, y algunas perpendiculares a este rumbo. Las mayores fallas han favorecido la definición de la red de drenaje, como el caso de fallas en el valle del Vilcanota, que han hecho que el río haya ocupado esta zona de debilidad; igual ocurre en el valle de Ccatcca y en Ocongate.

En la mayoría de casos no se evidencia que los fallamientos del área constituyan fallas activas; sin embargo, algunas pueden estar jugando papeles principales en la ocurrencia de procesos geodinámicos, como los que ocurren en los deslizamientos que afectan actualmente la vía por encima de Urcos, en las pizarras y lutitas pizarrosas de la formación Urcos.

5.3.4.2.4 Sismicidad

Como la mayor parte del país, la zona es altamente sísmica en razón de ser parte del llamado Círculo de Fuego del Pacífico, el cual es una zona de la corteza terrestre de alto dinamismo, con esfuerzos tectónicos, volcanismo y movimientos orogénicos prolongados. En nuestro país, la actividad sísmica es el resultado de la dinámica de las placas en las que asienta el territorio; por un lado la placa oceánica de Nazca, que deriva del litoral hacia el oeste, y por el otro la placa sudamericana.

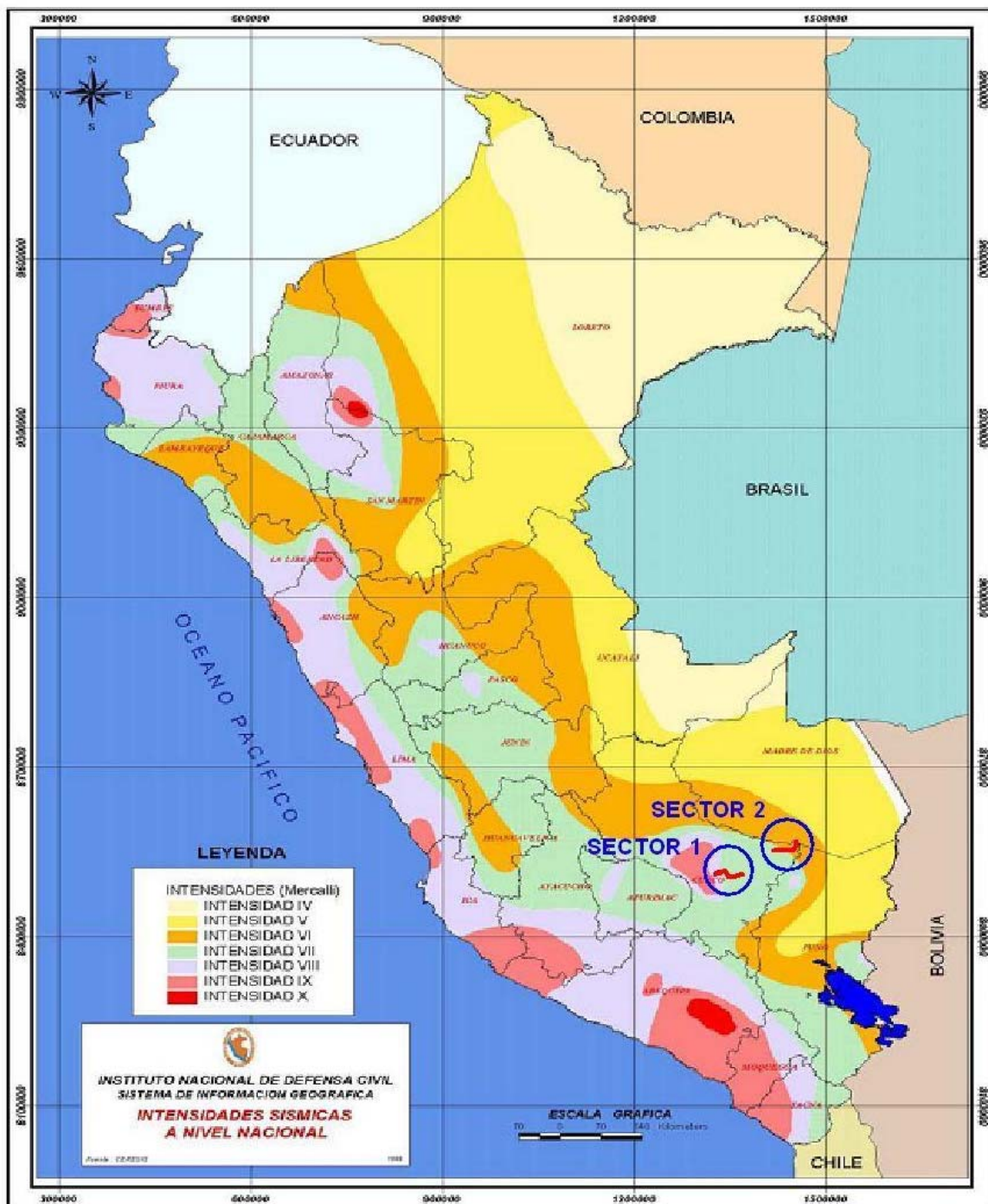
El proceso tectónico es que ambas placas convergen y “colisionan” aproximadamente en el borde del Pacífico. La placa oceánica, más pesada o densa, se hunde o subduce bajo la placa sudamericana, que es de carácter continental, de rocas más livianas que la placa oceánica. La subducción avanza a una velocidad de algunos centímetros anuales, y la penetración de la placa oceánica bajo la sudamericana provoca frecuentes fricciones corticales con liberación de energía como movimientos sísmicos, que son tanto más frecuentes e intensos, cuando más cerca nos encontramos hacia el litoral donde se produce la subducción.

No obstante, la estructura de los Andes hace a veces que muchos sismos alejados se sientan severamente lejos de los epicentros. Incluso, diversos sismos en los Andes tienen focos poco profundos, y se generan en sectores donde los movimientos tienen un origen superficial relacionado a zonas con reciente reactivación de fallas. De esta manera la afectación puede ser igualmente severa en la sierra oriental o en la selva alta; incluso, eventualmente puede ser severa en la selva baja, en las inmediaciones de los Andes.

Según la Carta de Intensidades Sísmicas publicadas por el Instituto de Defensa Civil (figura 5.3.4-1) la zona en estudio está muy cerca de un foco de actividad sísmica elevada, que puede presentar sismos de grado IX en la escala de Mercalli (sobre un máximo de X que se estima pueden ocurrir en sectores muy localizados del país). En una corta distancia la carretera desciende a valores de intensidad sísmica de VIII y VII grados en la misma escala. Desde el punto de vista de la ingeniería de la obra, esta característica altamente sísmica debe ser prevista por el proyecto, especialmente para la construcción de puentes.

Los efectos de la actividad sísmica dependen de una serie de condiciones. A igualdad de condiciones, los efectos de un sismo son mayores cuando son de tipo superficial, es decir que el sismo tiene su foco a muy poca profundidad. Luego los movimientos tienen distintos efectos según afecten terrenos con formaciones rosas más o menos compactas. En este sentido, las rocas de la formación Urcos, arcillosas y fuertemente fisuradas contribuyen a incrementar los efectos sísmicos. En las laderas de fuerte pendiente, los sismos pueden provocar deslizamientos mayores a los que se generan únicamente por lluvias. Por el contrario, las formaciones aluviales gruesas, como las del río Mapacho y Tinquimayo son mejores fundaciones frente a eventos sísmicos.

Figura 5.3.4-1 Carta de Intensidades Sísmicas a Nivel Nacional



5.3.4.2.5 Hidrogeología

Cuatro sectores claramente diferenciados pueden ser reconocidos a lo largo de la vía:

a) Sectores entre el km 32+000 a 38+500 y 45+000 a 65+000

Aquí, el relieve montañoso se halla conformado por rocas de la formación Urcos, caracterizada por su litología predominantemente arcillosa de pizarras y pizarras lutáceas, con algunas intercalaciones de areniscas cuarcíticas, hallándose la secuencia muy fracturada y replegada; por lo que su permeabilidad es sólo de tipo secundaria; sin embargo algunos pequeños bofedales se presentan en las áreas más elevadas del recorrido, pudiendo ser algunos de ellos una manifestación del afloramiento de la escorrentía subterránea.

b) Sector entre el km 38+500 y 45+000

Este tramo recorre las terrazas del río Ccatcca, constituidas por materiales aluviales conglomerádicos de gravas gruesas en una matriz arenolimososa, característicamente permeables por su naturaleza. En este sector es posible detectar napas acuíferas, cuyo nivel piezométrico varía según el punto de análisis, pero que en las terrazas bajas pueden hallarse entre unos 4 o 5 metros de profundidad. Su fuente de alimentación serían manantiales subterráneos.

c) Sector entre el km 65+000 y 78+000

En este sector, la vía recorre principalmente laderas suaves de montañas bajas altoandinas y colinas, constituidas en gran parte por materiales coluvio-aluviales de gravas subangulosas gruesas con matriz limo-arenosa a limo arcillosa; son materiales que por su naturaleza presentan buena permeabilidad. El substrato rocoso, se halla constituido por materiales de la formación Ccatcca, integrada por areniscas, areniscas cuarcíticas, limolitas y lutitas; algunas de cuyas capas, dependiendo de su porosidad y permeabilidad pueden constituirse en acuíferos, capaces de almacenar y circular aguas subterráneas, los que podrían estar aflorando en las depresiones.

d) Sector entre el km 78+000 y 100+000

En este tramo, la vía recorre principalmente por terrazas aluviales del río Mapacho con dirección hacia sus cabeceras, y una zona de depósitos fluvioglaciares; los materiales consisten en conglomerados de gravas gruesas a medias englobados en una matriz areno-limososa; los cuales se caracterizan por su buena permeabilidad. En este tramo es posible detectar acuíferos libres, no confinados, cuyo nivel piezométrico en los niveles más bajos pueden hallarse entre 2 y 6 metros. Su fuente de alimentación serían las quebradas afluentes o manantiales subterráneos.

En todo este tramo no se prevén afectaciones importantes a las napas freáticas por las actividades viales. En las vertientes de los valles, las napas freáticas, son pobres o se encuentran a profundidades variables, únicamente en los fondos de valle que cruza la vía, como los valles de Ccatcca y Mapacho, se puede encontrar napas freáticas a profundidades menores de 6 metros, y aún en estos casos se trata de sectores reducidos. Sin embargo, se deberá tener en cuenta las zonas donde los manantiales son utilizados por la población.

5.3.4.3 GEOLOGÍA DEL SECTOR 2 (km 265+000 – 300+000)

5.3.4.3.1 Estratigrafía

En el área de estudio las rocas sedimentarias aflorantes son esencialmente de edad cretácica; en menor proporción se tiene rocas sedimentarias más modernas, del Terciario, así como amplias zonas cubiertas por depósitos modernos del Cuaternario antiguo y reciente. La columna cronoestratigráfica del área está representada en el Cuadro 5.3.4-2, la cual se presenta al final de esta sección. La descripción de las unidades estratigráficas es la siguiente:

Cretácico

En el área de estudio la estratigrafía del Cretácico está representada ampliamente por tres formaciones, mayormente arenosas: grupo Oriente y formaciones Chonta y Vivian. Las características de dichas formaciones son las siguientes:

a) Grupo Oriente

Esta formación fue descrita inicialmente por Morán R. M y Fyfe D. en 1933 y 1946 respectivamente, en la zona del bajo Pachitea, en el departamento de Huanuco. Se constituye de areniscas cuarzosas bien seleccionadas de grano fino a medio, blancas a amarillentas, en capas medianas a gruesas, en partes con buena porosidad y permeabilidad. Estas areniscas se intercalan con lutitas grises en paquetes delgados a medianos. Tienen una notoria estratificación cruzada. Las rocas del grupo Oriente tienen amplia representación en el área de estudio, tanto formando parte de las laderas cercanas que bordean la carretera, como directamente formando el propio basamento rocoso en que se emplaza la vía, especialmente en sus primeros 20 km de recorrido

En el puente Inambari, el grupo Oriente aflora conformando los núcleos de anticlinales de rumbo N 60° a 70° W, con un buzamiento que alcanza en la charnela de 10 a 12°.

La formación Agua Caliente es la unidad superior de este grupo, se le considera de edad Albiano y Cenomaniano; su ambiente deposicional corresponde a un medio marino fluvial, y por la estratificación cruzada y la textura de granos en arenisca, corresponde a una zona litoral, donde tenían influencia los ríos que aportan los sedimentos y las mareas y olas marinas en su distribución.

En general las rocas del grupo Oriente son bastante competentes y favorables para la construcción, ya que la mayoría de sus bancos de areniscas son resistentes, sin embargo, hay frecuentes intercalaciones de material blando inestable, como paquetes delgados a medianos de lutitas que favorece las acciones erosivas.

b) Formación Chonta

Esta formación fue descrita inicialmente por Morán, R. M. y Fyfe, D. (1933), en el departamento de Huanuco, describiendo una serie constituida por lodolitas grises con intercalación de limolitas y calizas, que se ubican concordantes entre dos unidades litológicas arenosas como son: la formación Agua Caliente en la base y la formación Vivian en el techo. La formación Chonta tiene una litología variada, de limolitas, lutitas, calizas, areniscas y margas, y es la formación de más amplia presencia a lo largo de la vía, siendo el soporte directo de casi el 50% de su recorrido

La formación Chonta aparece como una gruesa secuencia arcillo limosa en algunos niveles arenosa, constituida por lutitas gris verdosas, limolitas rojo marrón y violáceas, en partes de color ocre amarillento por oxidación; margas gris rojizas, calizas grises y areniscas cuarzosas. Forma anticlinales y sinclinales así como pliegues apretados con planos axiales verticales a subverticales. Se presenta en partes fallada y fracturada, observándose en las secuencias lutáceas material molido y disturbado.

Sus afloramientos pueden ser observados a lo largo del río Inambari. Asimismo se la observa en los cortes de la carretera entre Puente Inambari y Quincemil, con rumbos que van de N50° a 60°W y buzamientos de 60° a 70° al NE; siendo a lo largo de estos valles donde tiene su mayor espesor, disminuyendo hacia el sureste de Quincemil.

El espesor es muy variado, no obstante en el río Inambari se estima que puede alcanzar 400 a 500 m, pudiendo ser mayor ya que su apreciación se complica por la cobertura cuaternaria que cubre gran parte de los afloramientos de esta formación.

Son numerosos los trabajos que aseveran la presencia de gasterópodos, branquiópodos, ostracodos y carofitas que pertenecen Cretáceo superior y que por su posición estratigráfica entre dos unidades, en la base del Albiano-Cenomaniano, y en el techo del Cretáceo terminal, se puede aseverar que su edad puede estar entre el Cenomaniano-Turoniano-Coniaciano. La sedimentación corresponde a aguas ligeramente salobres poco profundas, en parte de lagos, con condiciones anaeróbicas reductoras para los niveles lutáceos carbonosos y en partes oxidantes para los niveles de limolitas rojizas. Los niveles de arenisca se dan en medio transicional.

La formación Chonta incluye en buena parte de sus componentes a rocas poco consistentes y desfavorables para la construcción, las mismas que requieren medidas apropiadas para su estabilización.

c) Formación Vivian

Su denominación corresponde a Kummel, B. (1946) en la Estratigrafía de la región Santa Clara – Alto Urubamba; se le conoce también como “Areniscas Azúcar”, que se presenta ampliamente en el área de estudio y forma parte del substrato rocoso directo de la vía en una tercera parte de la vía.

Se trata de una secuencia de areniscas blancas cuarzosas de grano fino a grueso, las que en parte muestran coloraciones amarillentas por oxidación de los minerales ferromagnesianos que puedan estar constituyendo parte de la roca en algunos niveles. Se trata de areniscas bien seleccionadas ocasionalmente cuarcitas, cuyos granos son subredondeados a redondeados, indicando transporte eólico. En partes se muestran friables a duras y casi siempre con estratificación cruzada. Entre los estratos de areniscas se puede tener intercalaciones de escasos niveles delgados de limolitas y lutitas rojizas, a veces abigarradas.

Morfológicamente se presentan farallones y altos topográficos por la competencia y resistencia de las cuarcitas, formando alineamientos que sobresalen y que forman rasgos distinguibles en las fotografías aéreas y en las imágenes de satélite. Estratigráficamente se ubica entre la Formación Chonta por abajo y las capas Rojas terciarias del Grupo Huayabamba por el techo, en ambos casos en contacto concordante.

Esta formación es asignada al Cretáceo superior y aunque carece de fósiles, su posición estratigráfica y numerosos estudios realizados por compañías petroleras, permiten confirmar su edad como Cretáceo superior probablemente Cenoniano.

En general la formación Vivian presenta rocas bastante competentes y favorables para la construcción, ya que la mayoría de sus bancos de areniscas son resistentes. Estos bancos aparecen como crestas rocosas muy notorias en las laderas, y son un freno a la ocurrencia de movimientos de masa que, de otro modo, serían más considerables.

Terciario

a) Grupo Huayabamba

Es la secuencia de Capas Rojas que descansan sobre las rocas cretáceas. Esta unidad, que representa gran parte del Paleógeno y Neógeno, es una secuencia de rocas sedimentarias de carácter clástico, de color rojizo y origen continental, depositadas en medios fluviales y con llanuras inundables, frecuentemente fangosas.

Las rocas terciarias del grupo Huayabamba no afloran directamente en el trazo de la carretera, pero sí bastante cerca, hacia el norte, dentro de lo que se ha considerado como área de influencia directa del estudio pasando el km 300+000. En este grupo se reconocen tres miembros, y los tres son en conjunto de edad terciaria, principalmente considerados como de edad eocena a miocena.

- **Huayabamba inferior**

Esta unidad consiste de lutitas, limolitas y areniscas de color rojo ladrillo, en partes con coloraciones abigarradas, en algunos niveles con matriz calcárea. Se presentan en estratos medianos a delgados, pero en paquetes gruesos formados por varios de estos estratos alcanzando espesores de más de 200 m. En la base hay intercalaciones de lutitas grises a verdosas.

En el río Inambari, a 30 m de la desembocadura de la quebrada El Carmen se encontraron fósiles que indican un ambiente de formación deltaico continental de principios del Neógeno. En la parte inferior, su contacto con la formación cretácica Vivian es concordante, y su contacto superior con la unidad Huayabamba 2 es transicional.

- **Huayabamba medio**

Corresponde a la secuencia que deviene en forma transicional del miembro inferior, consistente en lutitas y limolitas arcillosas rojo a marrón chocolate moteadas, en algunos niveles gris verdosa y lutitas calcáreas gris parduscas con concreciones. Se intercalan areniscas cuarzosas feldespáticas de color marrón claro, algo ocre, con laminación cruzada, las mismas que se presentan en capas medianas a delgadas, así como lentes fosilíferos que contienen gasterópodos.

Su contacto tanto en la base con el Huayabamba inferior como en el techo con el Huayabamba superior es concordante y gradacional.

- **Huayabamba superior**

Es la secuencia más extendida, y consiste de areniscas feldespáticas cuarzosas gris claras de grano fino, en capas medianas, lodositas gris rojizas a marrón calcáreas intercaladas con otras de color gris verdoso en capas delgadas; en algunos lugares se observa yeso en la parte alta de la secuencia.

En general el grupo Huayabamba presenta rocas medianamente competentes para la construcción; generalmente duras o resistentes, tienen sin embargo, frecuentes intercalaciones de materia blanda inestable que favorece las acciones erosivas.

Cuaternario

Las rocas cuaternarias consisten de depósitos sueltos que aparecen principalmente en los fondos de valle a orillas de los ríos. Aparecen en pocos lugares como terrenos soporte de la vía, pero en dimensiones muy reducidas, que por la escala no permiten su representación en el mapa geológico. En el área se distinguen dos niveles de acumulación cuaternaria:

a) Conglomerado Cancao

Corresponden a un relleno de materiales detríticos que son producto de una acción torrencial rápida desde la cordillera, que se ha depositado en la cuenca de Quincemil. No aflora directamente en la ruta de la carretera, pero si un poco al sur del km 265.

El conglomerado Cancao está constituido por cantos y bloques grandes de 20 y 30 cm, y hasta 1 m dentro de una matriz gravosa, arenosa y en partes limosa. Los cantos son anfibolitas, gneis, cuarcitas, etc. Cabe destacar que esta formación es conocida por los mineros artesanales como una unidad con buen contenido de oro aluvial.

Por su forma de cono y terrazas aluviales, se considera que esta acumulación corresponde al Pleistoceno, y se trata de una formación de materiales poco consistentes para la construcción, que favorece la erosión, pero que a la vez resulta un medio relativamente sencillo para los trabajos viales, sin necesidad de uso de explosivos o de grandes movimientos de tierra.

b) Depósitos aluviales recientes

Se constituye de gravas, arenas y arcillas inconsolidadas que aparecen de manera dispersa aledañas a los ríos en niveles de terraza, cuyo espesor fluctúa entre pocos metros a unas decenas de metros como máximo. Se distribuyen ampliamente en la cuenca de Quincemil, donde confluyen los ríos Jujununta, Nusiniscato, Camanti y San Lorenzo, para unirse casi en un mismo punto al río Araza para formar un amplio complejo aluvional reciente (aproximadamente km 275 – 277).

Estas acumulaciones son conocidas por los mineros artesanales como unidades de buen contenido de oro aluvial. Son formaciones de materiales poco consistentes para la construcción, que favorecen la erosión, pero que a la vez resultan un medio relativamente sencillo para los trabajos viales, sin necesidad de uso de explosivos o de grandes movimientos de tierra.

Cuadro 5.3.4-2 Columna estratigráfica del Tramo 2, km 265+000 – km 300+000

Era	Sistema	Grupo	Formación	Espesor	Descripción Litológica
Cenozoico	Cuaternario		Aluvial	0 a 300	Suelo arcillo limoso y arenoso, marrón claro. Conglomerado heterogéneo pobremente clasificado.
			Cancao		Conglomerado aluvial y torrencial, con cantos de cuarcitas, intrusivos y esquistos, en matriz areno-gravosa.
	Terciario	Huayabamba	H3	400	Lodolitas marrón rojizas oscuras, calcáreas.
			H2		Lodolitas abigarradas, gris verdosas a rojizas, con concreciones calcáreas.
			H1		Lodolitas rojo ladrillo con intercalaciones de areniscas.
	Mesozoico	Cretáceo		Vivian	100 a 200
Chonta				200 a 800	Limolitas y lutitas abigarradas, varían de rojo púrpura a gris; calcáreo y en parte carbonoso. Arenisca cuarzosa gris clara de grano fino. Limolitas arcillosas gris verdosas, fisibles.
Oriente			Aguas Calientes	200 a 300	Areniscas cuarzosas de granos medios a gruesos, redondeados, blanquecinos con laminación cruzada.

5.3.4.3.2 Rocas Intrusivas

En el sector evaluado para el trazo que va del km 265+000 al km 300+000, no se ha evidenciado la presencia de intrusiones ígneas.

5.3.4.3.3 Geología Estructural

El área de estudio se encuentra específicamente en la unidad morfoestructural andina conocida como Faja Subandina. En general esta faja se halla inmediatamente al este de la Cordillera Oriental, la cual se formó en el Paleozoico, sufrió las deformaciones producidas por la tectónica hercínica, luego se hundió a fondos marinos durante casi todo el Mesozoico, para luego elevarse nuevamente con la tectónica andina de fines del Cretácico al Terciario. Durante este lapso, las rocas sedimentarias que cubren a la cordillera oriental se pliegan también formando una faja que bordea a la cordillera Oriental, con sus formaciones cretácicas del grupo Oriente, Chonta y Vivian, así como sus formaciones terciarias Huayabamba e Ipururo (esta última no aflora en el área de estudio).

El conjunto de la faja subandina muestra un claro alineamiento estructural, en el que las formaciones tienen un definido rumbo casi de este a oeste, que contrasta con la mayoritaria deformación andina, de rumbo sur este – noroeste. Esta variación en el rumbo formacional andino se debe a la deformación producida por la deflexión de Abancay, bajo la presión de los esfuerzos y subducción de la placa Nazca bajo la placa sudamericana.

Durante el Meso - Cenozoico la faja subandina mostró una tendencia negativa formando una cuenca longitudinal en la que se depositó una espesa serie marino – continental. El tectonismo causó

plegamiento y callamiento inverso subvertical. Formó una apretada secuencia de anticlinales y sinclinales, con fallas de sobre escurrimiento que ponen en contacto las formaciones cretácicas y terciarias, y con fallas perpendiculares al rumbo de los pliegues. El drenaje actual y las propias formas del relieve quedan muy controladas por la geología estructural, ya que las montañas, colinas y valles quedan dispuestos a manera de fajas correlativas al alineamiento que presentan las formaciones sedimentarias.

5.3.4.3.4 Sismicidad

La zona en estudio se halla en una franja de territorio donde la sensibilidad sísmica es intermedia. Si bien la mayor parte del país es altamente sísmica, en razón de que nuestro territorio es parte del llamado Círculo de Fuego del Pacífico (el cual es una zona de la corteza terrestre de alto dinamismo, con esfuerzos tectónicos, volcanismo y movimientos orogénicos prolongados), la zona específica de esta carretera se halla en una franja de transición entre los relieves altamente sísmicos de la costa y sierra, y la zona de actividad sísmica reducida de los llanos depresionados de la amazonía.

En nuestro país, la actividad sísmica es el resultado de la dinámica de las placas en las que asienta nuestro territorio; por un lado la placa oceánica de Nazca, del litoral hacia el oeste, y por el otro la placa sudamericana.

El proceso es que ambas placas convergen y “colisionan” aproximadamente en el borde pacífico. La placa oceánica, más pesada o densa, se hunde o subduce bajo la placa sudamericana, que es de carácter continental, de rocas más livianas que la placa oceánica. La subducción avanza a una velocidad de algunos centímetros anuales, y la penetración de la placa oceánica bajo la sudamericana provoca frecuentes fricciones corticales con liberación de energía como movimientos sísmicos, que son tanto más frecuentes e intensos, cuando más cerca nos encontramos hacia el litoral donde se produce la subducción. Este tramo se halla bastante alejado de la zona de convergencia de las placas.

No obstante, la estructura de los Andes hace que muchos sismos alejados se sientan severamente lejos de los epicentros; asimismo, diversos sismos en los Andes tienen focos poco profundos, por lo que la afectación puede ser igualmente severa en la sierra oriental o en la selva alta; incluso, eventualmente puede ser severa en la selva baja, en las inmediaciones de los Andes, en zonas que se perciben como sectores donde existe una cierta reactivación de las fallas.

Según la Carta de Intensidades Sísmicas publicadas por el Instituto de Defensa Civil, la zona en estudio se halla relativamente cerca de un foco de actividad sísmica elevada (sector Cusco-Urcos), que puede presentar sismos de grado IX en la escala de Mercalli (sobre un máximo de X que se estima pueden ocurrir en sectores muy localizados del país, ver figura 5.3.4-1, presentada en las páginas anteriores referidas al sector 1 de este tramo). Para la zona en estudio, la Carta prevé sismos de intensidad VI, que si bien, no representan riesgos extremos, aún siguen siendo significativos.

5.3.4.3.5 Hidrogeología

En este tramo, ubicado en la selva alta, las condiciones hidrogeológicas son casi similares a lo largo de la vía, debido a la poca variabilidad litológica de las formaciones geológicas, caracterizadas por un predominio de areniscas y secundariamente por lutitas y calizas; en un medio climático de alta pluviosidad y un relieve dominante de montañas bajas de alta pendiente. Las aguas subterráneas en este sector, se identifican por acuíferos y manantiales, cuyos caudales mantienen cierta persistencia a lo largo de todo el año. En el tramo, los acuíferos son mayoritariamente de tipo confinado o semiconfinado, vale decir se hallan entre capas impermeables o semipermeables (acuitardos); pero

también debido al tectonismo, las aguas subterráneas pueden circular a través de las fracturas, dando lugar a manantiales de regular caudal. Acuíferos libres o no confinados, ocurren sólo en las terrazas aluviales que se extienden en ciertas áreas de los ríos principales.

Los siguientes sectores diferenciados por su carácter hidrogeológico pueden ser reconocidos a lo largo del trazo de la vía.

a) Sector entre el km 265+000 y 274+000

En este sector, la vía recorre mayormente la margen derecha del río Nusiniscato, cruzando una serie de laderas de montañas bajas conformadas principalmente por capas del grupo Oriente, unidad geológica que se halla integrada por areniscas cuarzosas bien seleccionadas de grano fino a medio, que en partes presentan buena porosidad y permeabilidad; intercaladas ocurren lutitas en paquetes delgados a medianos. Algunas capas arenosas de esta unidad, constituyen importantes acuíferos confinados o semiconfinados, entre paquetes arcillosos o limolíticos impermeables o semipermeables (acuitardos), los que sin embargo por el alto buzamiento de las capas, transportan las aguas subterráneas a niveles cada vez más profundos. Los manantiales son frecuentes o numerosos.

b) Sector entre el km 275+000 y 277+500

Este tramo de la vía recorre por terrazas medias aluviales, que se desarrollan en la confluencia de los ríos Araza y Nusiniscato, conformadas por conglomerados de gravas gruesas y medias con matriz areno-limosa, característicamente de buena porosidad y permeabilidad. En este tramo, es posible detectar acuíferos importantes cuya profundidad oscila entre 4 y 6 metros; siendo su fuente de alimentación, las pequeñas quebradas que lo cruzan, no descartándose la participación de manantiales subterráneos.

c) Sectores entre el km 274+000 a 275+000 y 277+500 a 279+000

Aquí, el relieve se encuentra conformado por rocas de las formaciones Chonta y Vivian que integran el flanco sur de un extenso anticlinal. La primera unidad, se halla constituida por una secuencia de lutitas con intercalaciones de limolitas y calizas; en tanto que la segunda, se encuentra integrada por una secuencia de areniscas sacaroideas de grano fino a grueso y de buena porosidad y permeabilidad. Algunas capas arenosas de estas unidades pueden dar lugar a manantiales confinados de mediano a bajo espesor, pero que debido al buzamiento de los estratos orientan el flujo de las aguas subterráneas hacia el sur.

d) Sectores entre el km 279+000 a 283+500 y 298+500 a 300+000

En estos dos sectores, la vía cruza relieves montañosos cuyo substrato se encuentra constituido por rocas del grupo Oriente, integrado por areniscas cuarzosas de buena porosidad y permeabilidad con algunas intercalaciones de lutitas; en la zona, esta potente secuencia conforma pliegues anticlinales de carácter regional. Algunas de sus capas arenosas, constituyen importantes acuíferos confinados o semiconfinados entre paquetes de lutitas o limolitas impermeables o semipermeables (acuitardos), los que orientan el flujo de las aguas subterráneas según el buzamiento de los estratos. También es posible, que el fracturamiento tectónico de lugar a la surgencia de manantiales, pero la hojarasca y el frondoso bosque tropical, limitan su observación.

e) Sectores entre el km 283+500 a 284+500 y 293+000 a 298+500

En estos sectores, el relieve montañoso se encuentra conformado por rocas de la formación Chonta, caracterizado por su litología dominante de lutitas con intercalaciones de limolitas y calizas; la secuencia conforma capas con buzamiento al suroeste e integra un sinclinal de carácter regional. Por su carácter mayormente arcilloso, es poco probable que algunas de sus capas constituyan acuíferos de importancia, sin embargo pueden presentar permeabilidad secundaria.

f) Sector entre el km 284+500 y 293+000

En este sector, la vía recorre laderas montañosas boscosas cuyo substrato se encuentra conformado por areniscas de la formación Vivian, que integra el eje de un sinclinal que es aprovechado por el río Apaza en su desplazamiento. La buena porosidad y permeabilidad de estas rocas permite el desarrollo de acuíferos, a algunos metros o decenas de metros de profundidad, cuyas aguas se estima fluyen hacia el río por el buzamiento de las capas a favor de la pendiente.

En el sector de selva alta, los manantiales son frecuentes y por sus características litológicas y climáticas son generalmente de carácter permanente y de regular a mediano caudal, por lo que la escorrentía subterránea o subsuperficial es normalmente de gran recorrido. Sin embargo, a pesar de la ocurrencia numerosa de acuíferos y manantiales, las poblaciones locales poco los utilizan.