

**AMENAZAS POR REMOCIÓN EN MASA EN EL CORREDOR VIAL CUCUTA –PAMPLONA, NORTE DE
SANTANDER.**

**DIEGO HERNÁN ROZO GÓMEZ
GEÓLOGO**

**MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN PREVENCIÓN, ATENCIÓN Y
REDUCCIÓN DE DESASTRES “EPARD”**

**Asesor
ROGELIO PINEDA
GEÓLOGO
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES “UCM”**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESPECIALIZACIÓN EN PREVENCIÓN, ATENCIÓN Y REDUCCIÓN DE DESASTRES “EPARD”
MANIZALES – CALDAS
Agosto de 2018**

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	6
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3.	JUSTIFICACIÓN	8
4.	OBJETIVOS	9
4.1.	GENERAL.....	9
4.2.	ESPECIFICOS.....	9
4.2.1.	Caracterización geológica general:	9
4.2.2.	Identificar y caracterizar los sitios críticos por amenaza por remoción en masa: ..	9
4.2.3.	Proponer estrategias de manejo de las amenazas. (Medidas prospectivas y correctivas):	9
5.	CONTEXTO GEOGRÁFICO-DE LA ZONA DE TRABAJO.....	10
6.	MARCOS CONCEPTUALES.....	12
6.1	REFERENCIAL:	12
6.1.1	Sismicidad:	12
6.1.2	Remoción en masa.....	14
6.1.3	Amenaza hidrológica	17
6.2	NORMATIVO O LEGAL:	18
6.2.1	Ley 388 del 97: Desarrollo territorial.....	18
6.2.2	Decreto 1807 de 2014: Incorporación de la Gestión del Riesgo en los planes de ordenamiento Territorial.....	19
6.2.3	Decreto 2157 del 2017 Planes Empresariales de GR – Art 42 de la ley 1523.....	19
6.3	TEÓRICO-CONCEPTUAL	20
6.3.1	Amenaza:	20
6.3.2	Bioingeniería:	20
6.3.3	Buzamiento:.....	20
6.3.4	Concreto Lanzado:	20
6.3.5	Desastre:	20
6.3.6	Deslizamiento rotacional:	21
6.3.7	Deslizamiento planar:	21
6.3.8	Diaclasa / Junta:.....	21
6.3.9	Drenes horizontales:.....	21
6.3.10	Escarpe:.....	21
6.3.11	Escollera:.....	21

6.3.12	Mallazo:.....	21
6.3.13	Movimiento en masa:	21
6.3.14	Muro anclado:.....	22
6.3.15	Reptación:	22
6.3.16	Riesgo:.....	22
6.3.17	Rumbo:.....	22
6.3.18	Talud:	22
6.3.19	Trincheras:.....	22
6.3.20	Vulnerabilidad:.....	22
7.	METODOLOGÍA.....	24
7.1	ETAPA 1. REVISIÓN DE INFORMACIÓN.....	24
7.2	ETAPA 2. ANÁLISIS DE IMÁGENES	24
7.3	ETAPA 3. RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO	24
7.4	ETAPA 4. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	24
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
8.1	GEOLOGÍA GENERAL DE LA ZONA	26
8.1.1	Cretácico	27
	• Formación Tibú y Mercedes (Kitm):	27
	• Formación Aguardiente (Kia):.....	27
	• Formación Capacho (Kic):.....	27
	• Formación La Luna (Ksl):.....	28
	• Formaciones Colón y Mito Juan (Kscm):	28
8.1.2	Paleógeno	28
	• Formación Barco (E1b):	28
	• Formación Los Cuervos (E1lc):.....	28
	• Formación Carbonera (E2c):.....	29
8.1.3	Cuaternario	29
	• Depósitos aluviales (Qal):	29
	• Depósitos coluviales (Qc):	29
	• Depósitos de terraza aluvial (Qt):.....	29
	• Suelos residuales:	30
8.2	INVENTARIO DE SITIOS CRÍTICOS POR AMENAZA DE REMOCIÓN EN MASA	30

8.2.1	SITIO CRÍTICO 1. (KM 6+440 – KM 6+470)	31
8.2.2	SITIO CRÍTICO 2. (KM 7+200 – KM 7+300)	32
8.2.3	SITIO CRÍTICO 3. (KM 28+020 – KM 28+070)	34
8.2.4	SITIO CRÍTICO 4. (KM 31+520 – KM 31+580)	37
8.2.5	SITIO CRÍTICO 5. (KM 31+640 – KM 31+960)	40
8.2.6	SITIO CRÍTICO 6. (KM 32+510 – KM 32+560)	42
8.2.7	SITIO CRÍTICO 7. (KM 34+180 – KM 34+520)	44
8.2.8	SITIO CRÍTICO 8. (KM 34+940 – KM 35+040)	48
8.2.9	SITIO CRÍTICO 9. (KM 40+820 – KM 40+950)	49
8.2.10	SITIO CRÍTICO 10. (KM 41+260 – KM 41+380)	51
8.2.11	SITIO CRÍTICO 11. (KM 41+550 – KM 41+680)	52
8.2.12	SITIO CRÍTICO 12. (KM 41+860 – KM 41+980)	53
8.2.13	SITIO CRÍTICO 13. (KM 50+820 – KM 51+000)	57
8.2.14	SITIO CRÍTICO 14. (KM 42+760 – KM 42+820)	58
8.2.15	SITIO CRÍTICO 15. (KM 43+115 – KM 43+200)	64
8.2.16	SITIO CRÍTICO 16. (KM 45+870 – KM 46+000)	67
8.2.17	SITIO CRÍTICO 17. (KM 46+640 – KM 46+730)	71
9.	CONCLUSIONES	76
10.	RECOMENDACIONES	77
11.	BIBLIOGRAFÍA	78

RESUMEN

En el presente trabajo monográfico se hace un inventario de sitios críticos que por sus condiciones geológicas naturales o por actuaciones antrópicas se asociaron a amenazas por remoción en masa que pueden llegar a comprometer la ejecución del proyecto que pretende ampliar la vía existente para convertirla en una vía de cuarta generación “4G” en el corredor vial Cúcuta – Pamplona.

La geología del área del proyecto está representada por diferentes unidades sedimentarias de edades comprendidas desde el Cretácico al Paleógeno, depositadas inicialmente en una cuenca de mar somero que evoluciona hacia un ambiente continental, y finalmente cubierta parcialmente por depósitos de edad reciente depositados en ambientes aluviales y coluviales.

La construcción de la vía puede desencadenar procesos de inestabilidad y/o de remoción en masa importantes. Aunque la mayoría de estos sitios se encuentran ya intervenidos, la nueva calzada proyectada afectará de forma sustancial a los sistemas de sostenimiento instalados (fundamentalmente anclajes).

De acuerdo a esto se entiende entonces que la mayor parte de los sitios críticos corresponden a sectores ya intervenidos y que la configuración de la vía proyectada obliga a la demolición total o parcial de los sistemas de contención existentes, o bien modifica su estado de esfuerzos.

1. INTRODUCCIÓN

Colombia se caracteriza por tener una gran diversidad de accidentes geográficos. La cordillera oriental, central y occidental, son las principales cadenas montañosas en su territorio, está dividido en una región montañosa al occidente y una región plana al oriente. Estas tres cadenas montañosas, junto con la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de la Macarena, así como otras más pequeñas, definen las características geomorfológicas del país, dadas sus condiciones topográficas en el territorio se presentan fenómenos de remoción en masa. Los fenómenos de remoción en masa se ven representados en afectaciones sobre las viviendas, personas (muertos y /o heridos), equipamientos y redes de Servicios Públicos. (Fuente SGC)

En cuanto a las afecciones de las remociones en masa sobre los corredores viales en Colombia se puede decir que el manejo que se le ha dado muchas veces es de carácter asistencial para vías antiguas; para vías relativamente nuevas o en planes de ampliación o mejoramiento el tratamiento es diferente, las concesiones se han preocupado por hacer vigilancia en sectores posiblemente inestables y se han preocupado por realizar obras de contención (principalmente obras ingenieriles en concreto) y no se ha implementado mucho la aplicación de técnicas bioingenieriles que pueden llegar a ser en muchos casos tan efectivas como las obras en concreto y con una inversión de capital mucho menor.

Para el caso puntual al que hace referencia el presente trabajo monográfico, se puede apreciar que la mayor parte de estos sitios críticos en cuanto a amenazas por movimiento en masa se refiere, corresponden a sectores ya intervenidos estructuralmente mediante muros en concreto, muros anclados y sistemas de sostenimiento (anclajes, bulonado, concreto lanzado, etc).

En el presente trabajo monográfico se pretende realizar un inventario de sitios críticos en cuanto a amenazas de remoción en masa se refiere para el corredor vial Cúcuta – Pamplona en el departamento de Norte de Santander. Dicho corredor vial se hace de vital importancia tanto para el desarrollo del departamento como del país, ya que comunica a Cúcuta y la frontera con Venezuela con el centro del País.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el presente trabajo monográfico se pretende realizar a partir de la participación en la realización del *“VOLUMEN DE GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA”* del informe de *“ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS, FINANCIACIÓN, GESTIÓN AMBIENTAL, PREDIAL Y SOCIAL, CONSTRUCCIÓN, MEJORAMIENTO, REHABILITACIÓN, OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y REVERSIÓN DEL CORREDOR VIAL PAMPLONA-CÚCUTA”*, un inventario de sitios críticos en cuanto a amenazas de remoción en masa se refiere para el corredor vial. Dicho corredor vial se hace de vital importancia tanto para el desarrollo del departamento como de la nación, ya que comunica a Cúcuta y la frontera con Venezuela con el centro del País.

Para un corredor vial con inestabilidades geológicas que conecta dos grandes centros urbanos de Colombia y que permite la conectividad de una región importante para el desarrollo económico y social del país, se deben realizar estudios cada vez con más detalle para reducir las pérdidas, daños y sobre costos en los diseños de construcción y mantenimiento de dicho corredor vial y así llegar a su ampliación y posterior operatividad. Se deben tener en cuenta muchos aspectos técnicos desde la parte constructiva hasta los aspectos que tienen que ver con las amenazas de tipo natural.

Partiendo de esto se prevé que hay que tener muy bien definidas desde el momento de los estudios para la ampliación y la construcción de las vías de cuarta generación (conocidas como vías “4G”), las zonas que pueden llegar a tener complicaciones tanto al momento de demoler obras de estabilización existentes, al momento de construir la vía nueva y al momento que ya esté operando la misma.

Además de los estudios generales de las amenazas de tipo Geológico, se debe realizar un aparte específico para la identificación de sitios inestables que pueden comprometer la viabilidad del proyecto y puede generar condiciones de riesgo tanto al momento de construir como al momento de estar operativa la obra; es precisamente este tema en el cual se centrará el presente trabajo monográfico.

Con el presente trabajo se pretende hacer un aporte a una problemática relevante del país y la región como lo es el conocimiento de los sectores amenazados por posibles movimientos en masa, la importancia de estos al momento de tomar decisiones en cuanto a obras de mitigación del riesgo y la implicación de dichas obras en el presupuesto de un proyecto de tal importancia para el desarrollo vial de la nación.

3. JUSTIFICACIÓN

Al igual que la mayor parte del territorio colombiano, este sector del país se encuentra en condición de amenaza por diferentes factores. Para este trabajo se tratarán las amenazas de tipo natural y más específicamente las amenazas de tipo Geológico por remoción en masa.

De acuerdo con la Memoria Explicativa publicada por INGEOMINAS (2003), los fenómenos de tipo natural que constituyen la mayor amenaza en el territorio colombiano son en su orden sismos, deslizamientos y avenidas torrenciales. Con la determinación de los sitios críticos o inestables por amenaza de remoción en masa en el corredor vial vial Cúcuta – Pamplona, se pretende abordar uno de los factores más importantes en cuanto a amenazas de origen natural se refiere.

Aprovechando la vinculación del autor de la monografía en el proyecto, se tiene información de primera mano en cuanto a insumos necesarios para la realización del inventario de sitios críticos en el corredor vial, como lo son las ortofotos del proyecto, el acceso a los mapas geológicos y al trazado tentativo del nuevo carretable.

Con esta información se tiene un acercamiento a las condiciones reales del terreno que permiten tener un buen nivel de detalle al momento de describir y mostrar las condiciones amenazantes para cada sector en el momento actual y una proyección al momento de la ampliación de la vía para convertirla en una vía “4G”.

4. OBJETIVOS

4.1. GENERAL

Realizar una aproximación a la evaluación de la amenaza por remoción en masa en el corredor vial Cúcuta –Pamplona en el departamento de Norte de Santander por medio de la vinculación al proyecto **“Estudios y Diseños definitivos, Financiación, Gestión Ambiental, Predial y Social, Construcción, Mejoramiento, Rehabilitación, Operación, Mantenimiento y Reversión del Corredor Vial Pamplona-Cúcuta”**. El objetivo de dicho proyecto es transformar la vía actualmente existente en una autopista de cuarta generación (4G) para favorecer la movilidad, conectividad y el desarrollo económico de Norte de Santander.

4.2. ESPECIFICOS

4.2.1. Caracterización geológica general:

Realizar una descripción general de la geología general del corredor vial por medio de la descripción de las unidades geológicas apreciadas en la zona de estudio.

4.2.2. Identificar y caracterizar los sitios críticos por amenaza por remoción en masa:

Identificar sitios críticos en el corredor vial, especialmente analizar los aspectos geológicos y geomorfológicos del corredor, identificando y caracterizando los materiales del subsuelo y las geoformas del relieve en dichos sectores, para tener un conocimiento específico de ello y que sea este un insumo para posibles propuestas de diseño de obras que garanticen una mejor operatividad de la vía en condiciones de completa seguridad.

4.2.3. Proponer estrategias de manejo de las amenazas. (Medidas prospectivas y correctivas):

Tras la identificación de los sitios críticos o zonas vulnerables tratar de proponer, en caso necesario, un plan de instrumentalización y monitoreo de los mismos o medidas de instrumentación y control.

5. CONTEXTO GEOGRÁFICO-DE LA ZONA DE TRABAJO

El corredor vial se localiza íntegramente en el Departamento de Norte de Santander, y presenta un trazado con dirección aproximada NE-SO a N-S siguiendo el valle del río Pamplonita, con avance del abcisado de proyecto en sentido sur. La vía conecta los municipios de Pamplona y Cúcuta, en la región suroccidental del departamento.

En la siguiente imagen se presenta el trazado de la vía y las diferentes unidades funcionales que la componen.

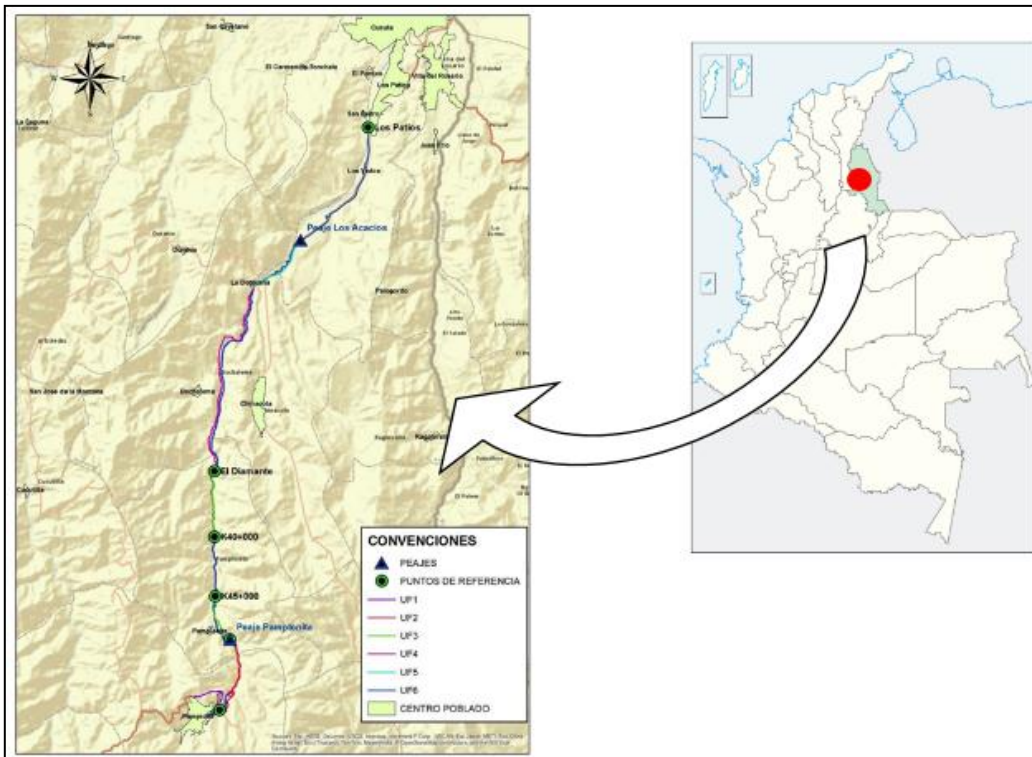


Figura 1. Localización general del Proyecto y Unidades Funcionales (Fuente: ANI, SECOP).

Actualmente, según el plan de desarrollo del municipio de Pamplona 2016 - 2019, los principales conflictos que afronta el municipio en gestión integral del riesgo, desde las dimensiones del desarrollo en cuanto a los temas económicos, ambientales, sociales y políticos son los siguientes. (Ver **Tabla 1**).

Tabla 1. Matriz sistémica de problemáticas en Gestión del Riesgo. (Fuente: PBOT).

Matriz sistémica de problemáticas en gestión del riesgo en Pamplona.				
Sistema	Conflicto	Actores	Escala de Impacto	Impacto en el territorio
Económico	Ausencia de formulación de proyectos de prevención y mitigación del riesgo	Administración local	Regional y Municipal	Alto
	El PMGRD no evidencia un presupuesto ajustado para la gestión del riesgo local	Administración local	Regional y Municipal	Alto
	No hay una fuente financiera sólida para la atención de emergencias.	Gobierno Regional y local	Nacional, Regional y Municipal	Medio
Ambiental	El PMGRD no evidencia escenarios de riesgo rurales y los urbanos se encuentran incompletos.	Administración local, Juntas de acción comunal rural, CORPONOR, CMGRD	Regional Municipal	Alto
	No hay una actualización cartográfica ambiental del municipio.	Administración local, CORPONOR, CMGRD	Municipal	Medio
	No hay diagnóstico de los diferentes escenarios de riesgo del PMGRD	Administración local, CORPONOR, CMGRD	Municipal	Medio
Social	Hay comunidades en zonas de alto riesgo, los cuales deben ser reasentados prioritariamente	Administración local	Municipal	Alto
	Ausencia de proyectos de mejoramiento y construcción de Hábitat	Administración regional y local	Municipal	Alto
Político	No se ha realizado el ajuste e incorporación del POMCH, PBOT y el PMGRD	Administración local, CORPONOR, CMGRD	Regional y Municipal	Medio
	La gestión del riesgo carece de estrategias de planificación local	Administración local, CORPONOR, CMGRD	Regional y Municipal	Alto
	No existe expediente municipal	Administración Local	Municipal	Alto

Según el plan de desarrollo del municipio de Cúcuta 2016 - 2019, en el apartado de Gestión del riesgo, sólo se habla de manera muy general de 9 posibles escenarios de riesgo, entre los cuales se encuentra el escenario de movimientos en masa, pero no se hace un análisis un poco más centrado en cuanto a las afecciones que en temas de Gestión del Riesgo se tienen.

6. MARCOS CONCEPTUALES

6.1 REFERENCIAL:

Se realiza en este ítem del trabajo una revisión general de las amenazas de tipo natural a las que está expuesto el corredor vial para presentar un contexto en el cual se desarrolla el estudio y dejar en claro que las amenazas por remoción en masa no son el único factor a tener en cuenta en un estudio de amenazas de tipo natural para el sector.

6.1.1 Sismicidad:

Según el mapa de amenaza sísmica del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-10, el área del proyecto se enmarca en la zona de amenaza alta. En la Figura 2 se reproduce parcialmente la imagen A.2.3-1 de la norma NSR-10.

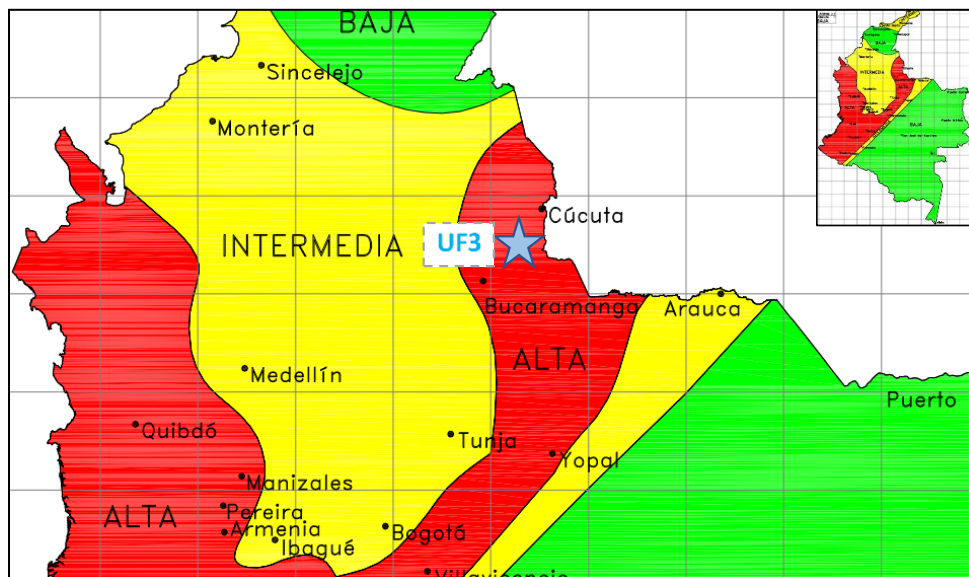


Figura 2. Zonas de amenaza sísmica (Fuente: NSR-10).

La definición de las diferentes zonas se realiza con base en los parámetros A_a (aceleración horizontal de pico) y A_v (velocidad pico efectiva). En la Figura 3 se reproducen los mapas de estos valores, correspondiendo para esta zona: $A_a=0,30-0,35 \text{ m/s}^2$ y $A_v=0,25 \text{ m/s}$.

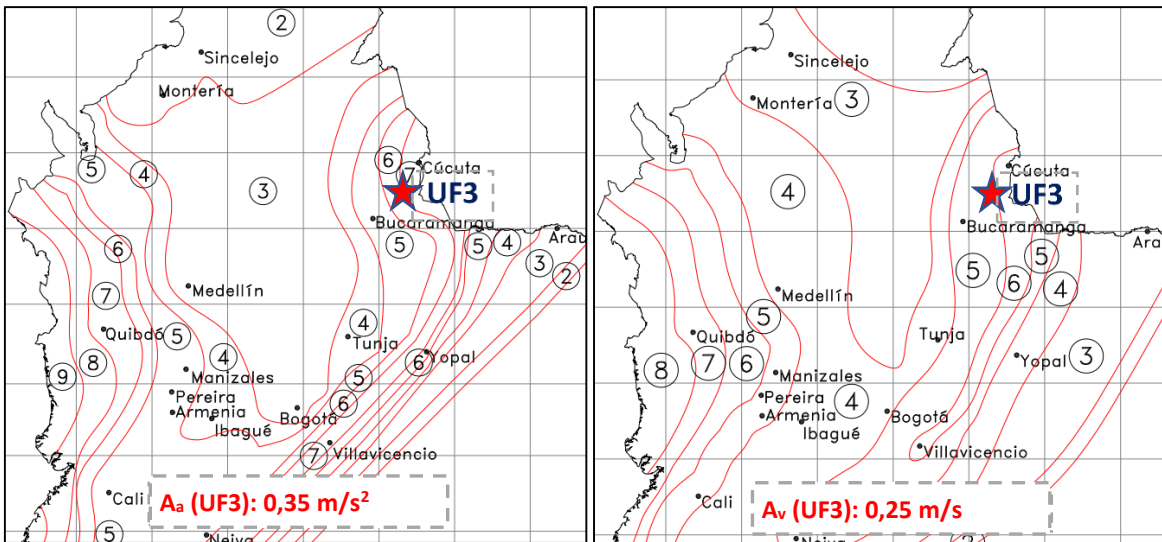


Figura 3. Mapa de valores Aa y Av (Fuente: Título A.2.3 Zonas de Amenaza Sísmica, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10).

Según los datos de sismicidad histórica del SGC, en el área del proyecto se han registrado siete eventos importantes, tres de ellos (años 1644, 1875 y 1950) especialmente destructivos que afectaron a las localidades de Pamplona, Cúcuta y Arboledas respectivamente.

Tabla 2. Datos de sismicidad histórica (Fuente: SGC).

N o.	Fecha	Hora local	Epicentro Latitud	Epicentro Longitud	Magnitud	Profundidad km	Área epicentral
1	1644/01/16	05:00	7.37	-72.64	6.5	15	Pamplona
2	1796/02/15	00:00	7.37	-72.64	5.5	15	Pamplona
3	1826/06/17	22:30	5.01	-73.59	6.5	15	Úmbita, Boyacá
4	1875/05/18	11:15	7.86	-72.42	6.8	15	Cúcuta
5	1950/07/08	21:35	7.59	-72.85	6.1	15	Arboledas
6	1957/04/21	16:12	6.93	-72.06	6.6	120	Málaga, Santander
7	2015/03/10	15:55	6.825	-73.134	6.3	157.7	Los Santos, Santander

En la actualidad, la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC), adscrita al SGC, dispone de 50 estaciones sismológicas que transmiten datos en tiempo real para el registro de la actividad sísmica en el país. Todos los eventos registrados desde junio de 1993 pueden ser consultados en el catálogo de sismicidad para un área determinada. En la zona investigada se han reportado un total de 22 eventos, todos ellos de baja intensidad, con una magnitud máxima de 2,8 (escala de Richter) y con

epicentros correspondientes a dos rangos de profundidad, algunos muy superficiales (la mayoría entre 0 y 15 Km) y otros a profundidades entre 100 y 175 km.

Respecto a las fuentes sismogénicas, a nivel regional se considera que existen tres fuentes principales, una de ellas asociada con el sistema de fallas del Piedemonte Llanero, otra con las fallas del valle Medio del Magdalena, y la última ligada al Nido de Bucaramanga. Las dos primeras generan sismos superficiales, inferiores a 30 km; y en la última se producen sismos de mayor profundidad, hasta unos 175 km.

Sin embargo, en la zona del proyecto la mayoría de la actividad sísmica está ligada a la intersección del sistema de fallas de Boconó con las fallas de Chinácota - Pamplona, responsable de los sismos de mayor magnitud. En la Figura 18 se muestran, entre otras, todas las fuentes mencionadas y los sismos registrados.

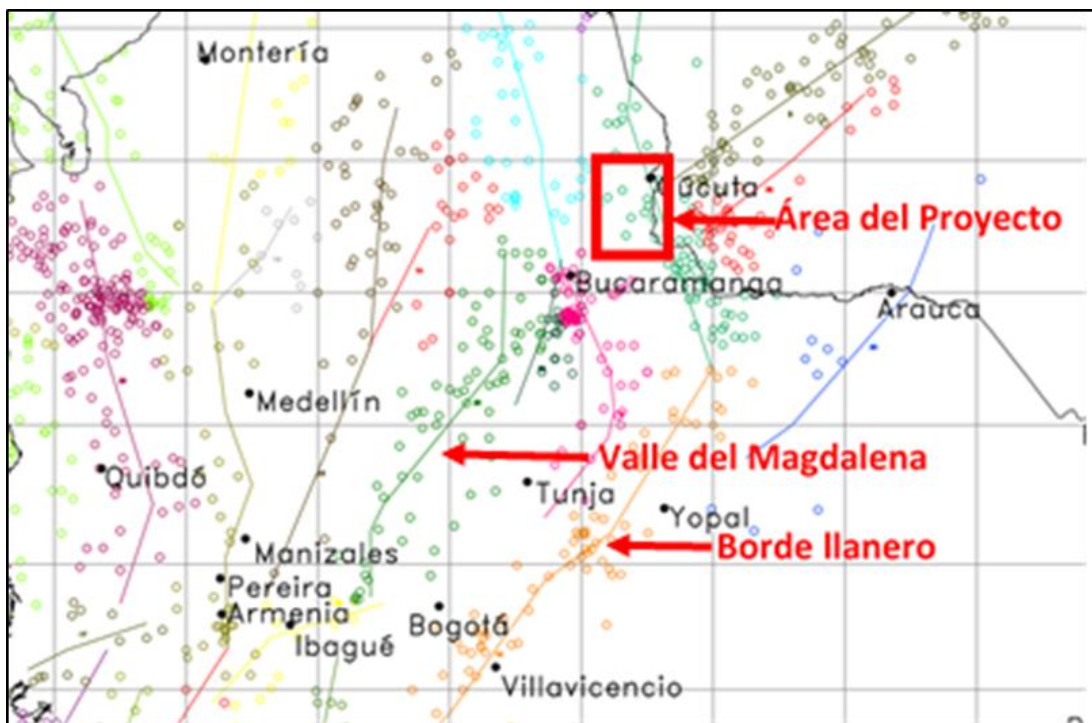


Figura 4. Localización de sismos y principales fuentes sismogénicas (Fuente: Tomado y modificado de Segura, OI, 2015).

6.1.2 Remoción en masa

Según el “Mapa de Susceptibilidad a los Deslizamientos de Tierra” elaborado por el IDEAM en 2012, y que se muestra a continuación, la zona del proyecto presenta una susceptibilidad alta a la ocurrencia de estos fenómenos, debido a su orografía abrupta y a las condiciones geológicas observadas.

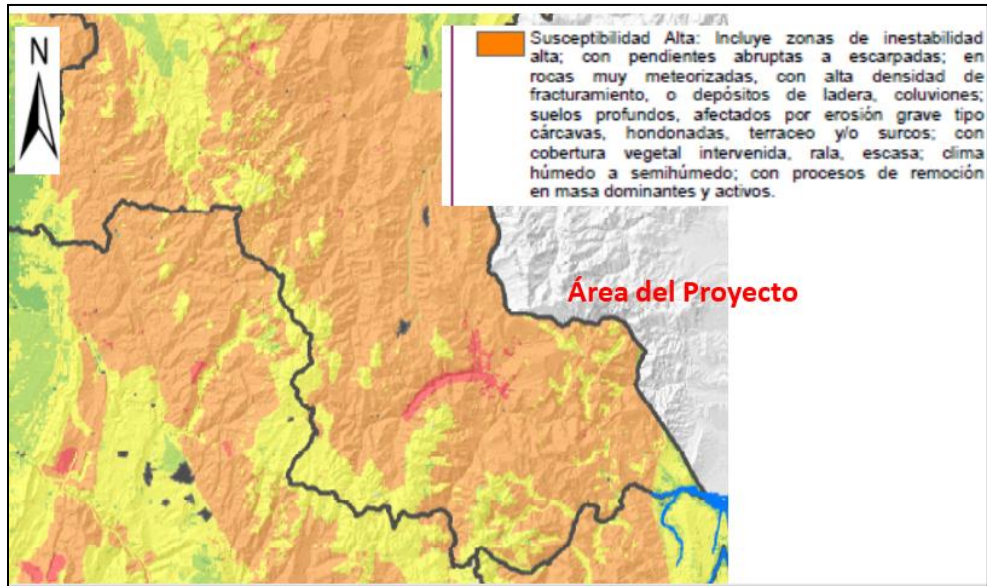


Figura 5. Mapa de Susceptibilidad a deslizamientos de tierra (Fuente: IDEAM, Zonificación de la Susceptibilidad General del Terreno a los Deslizamientos de Tierra, 2010)

Por su parte, el INGEOMINAS (ahora Servicio Geológico Colombiano) ha realizado un inventario sistemático de los movimientos en masa producidos desde el año 1997 hasta el año 2002, tanto a partir de información primaria (visitas y asistencias técnicas a zonas de emergencia) como secundaria (reportes de prensa, información de los centros operativos regionales). En la Tabla 3, se resumen los datos a nivel nacional. Como se puede observar, en el Departamento de Norte de Santander se han reportado nueve deslizamientos de importancia, aunque ninguno de ellos afectó a los municipios donde se ubica el corredor vial.

Tabla 3. Registro nacional de deslizamientos (Fuente: INGEOMINAS).

DEPARTAMENTO	EVENTOS	MUERTOS (M)	GRANDES DESLIZAMIENTOS
ANTIOQUIA	1140	2127	23
ATLANTICO	20	38	0
BOLIVAR	52	5	0
BOYACA	54	0	8
CALDAS	627	857	19
CAQUETA	12	31	0
CASANARE	14	0	5
CAUCA	157	1596	5
CESAR	11	0	0
CHOCO	37	66	0
CORDOBA	12	0	0
CUNDINAMARCA	339	878	31
GUAJIRÁ	3	1	0
HUILA	126	65	0
MAGDALENA	11	3	0
META	16	0	9
NARIÑO	191	216	10
NORTE DE SANTANDER	4	0	9
PUTUMAYO	139	31	2
QUINDIO	41	50	1
RISARALDA	35	0	1
SANTANDER	433	100	20
SUCRE	3	0	0
TOLIMA	568	21422	12
VALLE	245	129	5
TOTAL	4290	27615	160

Según los planes de desarrollo y ordenamiento de Pamplona (PBOT) y de Pamplonita (EOT), se considera en general alto el riesgo de movimientos en masa para todo el municipio de Pamplona (Tabla 4); entretanto, en Pamplonita se ha establecido que en las partes bajas y medias del valle del río Pamplonita la amenaza es media, así como en la mayoría del municipio.

Tabla 4. Amenaza por movimientos en masa Municipio de Pamplona (Fuente: PBOT Plan Básico de Ordenamiento Territorial Municipio de Pamplona, 2015).

Matriz de escenario de riesgo del Municipio de Pamplona				
Escenario de riesgo	Descripción	Ultimo evento reportado	Área de afectación	Impacto
Movimiento en masa	Los movimientos en masa son procesos esencialmente gravitatorios, por los cuales una parte de la masa del terreno se desplaza a una cota inferior de la original sin que medie ostensiblemente medio de transporte alguno, siendo tan solo necesario que las fuerzas estabilizadoras sean superadas por las desestabilizadoras	Ola Invernal año 2010 - 2011	Rural	Alto

Las litologías dominantes, rocas de naturaleza pelítica de edad cretácica, son favorables a los procesos de meteorización que dan lugar a suelos residuales de tipo arcilloso a limoso de varios metros de espesor. De este modo, las laderas constituidas por estas rocas son susceptibles a los fenómenos de remoción en masa, principalmente deslizamientos y reptaciones, que pueden verse favorecidos por la orientación de la estratificación y las diaclasas, las condiciones climáticas, así como por eventuales episodios sísmicos.

6.1.3 Amenaza hidrológica

La amenaza asociada a la dinámica fluvial contempla tanto las inundaciones lentas, que se producen en las planicies aluviales y pueden llegar a alcanzar extensiones importantes; como las crecientes súbitas de tipo torrencial, ligadas a regiones de topografía más quebrada y con un impacto más localizado.

En relación con las inundaciones lentas, el IDEAM ha elaborado mapas de amenaza tanto departamentales como de 27 municipios, sustentados en lo acontecido en el país durante los fenómenos más intensos de La Niña, especialmente en los años 2011 y 2012. Según estos mapas la zona del proyecto no está sujeta a amenaza por inundación lenta.

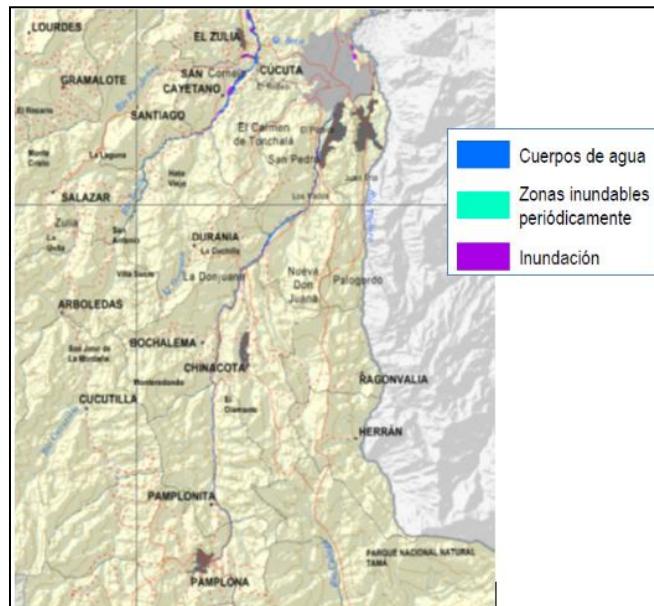


Figura 6. Mapa de inundaciones correspondiente a La Niña 2011 (Fuente IDEAM).

En lo que respecta a las avenidas torrenciales, la geomorfología de la zona sí que es propicia a la ocurrencia de estos fenómenos. Según los planes de desarrollo y ordenamiento de Pamplona (PBOT) y de Pamplonita (EOT), se considera en general un riesgo alto en las riberas del río Pamplonita, especialmente en la desembocadura de las quebradas afluentes debido al aporte de sedimentos.

Tabla 5. Amenaza por flujos torrenciales Municipio de Pamplona (Fuente: PBOT Plan Básico de Ordenamiento Territorial Municipio de Pamplona, 2015).

Matriz de escenario de riesgo del Municipio de Pamplona				
Escenario de riesgo	Descripción	Ultimo evento reportado	Área de afectación	Impacto
Avenidas torrenciales	Las avenidas torrenciales son un tipo de movimiento en masa que se desplaza generalmente por los cauces de las quebradas, llegando a transportar volúmenes grandes de sedimentos y escombros con velocidades peligrosas para los habitantes e infraestructura ubicados en la zona de acumulación de cuencas de montañas susceptibles de presentar este tipo de fenómenos.	Avenida torrencial del río Pamplonita Abril 15 de 2011	Urbano	Medio
Flujo de detritos	Desplazamiento de grandes cantidades de lodos, agua y material vegetal hacia cotas inferiores.	Ola Invernal año 2010 – 2011 y 1° temporada de lluvias Julio de 2015	Urbano Rural	Alto

En cuanto a estudios realizados concretamente en el tema de evaluación de amenazas por remoción en masa en el departamento de Norte de Santander se revisó también el trabajo “ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA, PARA EL CORREDOR VIAL CUESTABOBA – MUTISCUA EN EL DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER, IMPLEMENTANDO EL SOFTWARE ARCGIS”. (Trabajo de grado de la especialización en Geomática de la Universidad Militar Nueva granada realizado por Breider López Solano en 2017).

6.2 NORMATIVO O LEGAL:

En cuanto al marco normativo legal, se hace referencia a una serie de leyes y decretos que tienen relación con las temáticas desarrolladas en el presente documento y que tienen que ver de una u otra forma en las obras de infraestructura que se desarrollan en el país.

Se hace referencia también a la necesidad de articular el tema sectorial (Vías) a la planificación territorial, ya que, en los planes de desarrollo y ordenamiento, esta temática ha sido tocada muy superficialmente. Se debe también llegar a proponer elementos para la formulación del Plan de Gestión del Riesgo Vial: Decreto 2157 de 2017.

6.2.1 Ley 388 del 97: Desarrollo territorial.

En el artículo 3. Funciones Públicas del Urbanismo, Fin número1; se habla de posibilitar a los habitantes el acceso a las vías públicas, infraestructuras de transporte y demás espacios públicos, y su destinación al uso común, y hacer efectivos los derechos constitucionales de la vivienda y los servicios públicos.

De este modo se hace referencia al derecho que se tiene por parte de los habitantes al acceso a infraestructura de transporte y a la comunicación terrestre de la ciudad de Cúcuta con el centro del país, dicha comunicación se hace importante para el desarrollo del territorio por medio del comercio, por ejemplo.

6.2.2 Decreto 1807 de 2014: Incorporación de la Gestión del Riesgo en los planes de ordenamiento Territorial.

En el título 1. Disposiciones Generales, parágrafo 1, áreas con condición de riesgo; se dice que estas corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos.

En esta parte del decreto se aprecia que en los planes de ordenamiento territorial se deben tener en cuenta las áreas con condición de riesgo generadas por una amenaza alta en áreas urbanizadas como en las que se encuentren elementos del sistema vial, lo cual se aborda en el presente estudio por medio de la amenaza de remoción en masa para el corredor vial Cúcuta – Pamplona.

6.2.3 Decreto 2157 del 2017 Planes Empresariales de GR – Art 42 de la ley 1523

En este decreto se habla de que el capítulo III de la Ley 1523 de 2012 desarrolla los instrumentos de planificación y bajo ese marco en el artículo 42, establece la obligación para *"Todas las entidades públicas y privadas encargadas de la prestación de servicios públicos, que ejecuten obras civiles mayores o que desarrollen actividades industriales o de otro tipo que puedan significar riesgo de desastre para la sociedad, así como las que específicamente determine la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, deberán realizar un análisis específico de riesgo que considere los posibles efectos de eventos naturales sobre la infraestructura expuesta y aquellos que se deriven de los daños de la misma en su área de influencia, así como los que se deriven de su operación. Con base en este análisis diseñarán e implementarán las medidas de reducción del riesgo y planes de emergencia y contingencia que serán de su obligatorio cumplimiento."*

Quiere decir esto entonces que para la ejecución de un proyecto de tal envergadura como lo es la construcción de una vía de cuarta generación "4G", se debe realizar *"un análisis específico de riesgo que considere los posibles efectos de eventos naturales sobre la infraestructura expuesta y aquellos que se deriven de los daños de la misma en su área de influencia, así como los que se deriven de su operación"*, para este caso, al momento de realizar los nuevos cortes que prevé el nuevo trazado de la vía y más concretamente al momento de intervenir obras de estabilización que ya están construidas para la vía actual.

Se aprecia también que como resultado de la Ley 1523 de 2012, los dos municipios afectados por la vía proyectada han incorporado en sus planes de desarrollo y ordenamiento las bases para la elaboración de los Planes Municipales de Gestión del Riesgo, realizando una sectorización de los escenarios de amenaza que han sido consultados para la elaboración de este trabajo monográfico.

6.3 TEÓRICO-CONCEPTUAL

Para un mejor entendimiento en cuanto a la terminología empleada en el presente trabajo se procede a dar una definición de las terminologías más representativas que han sido utilizadas.

6.3.1 Amenaza:

Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.

6.3.2 Bioingeniería:

Es una tecnología producto de la investigación científica, que se refiere a la prevención y control de problemas de erosión, protección, estabilización y restauración de laderas, con problemas de movimientos masales, integrando los Procesos Físicos, Químicos y Biológicos de los fenómenos degradativos, hasta hallar la relación: causa – efecto de los mismos. Lo anterior permite la construcción de estructuras totalmente vivas, usando diferentes partes de las plantas, tales como: raíces y tallos principalmente. La bioingeniería es considerada como algo único en el sentido que las mismas partes de las plantas sirven como elementos mecánicos a las estructuras principales en los sistemas de protección de laderas y se transforman a través del tiempo en obras vivas que cada día son más fuertes. Estas obras, se convierten en refuerzo mecánico, drenajes hidráulicos y barreras vivas para prevenir y controlar la erosión y los movimientos masales (Rivera, 2009).

6.3.3 Buzamiento:

Es el ángulo que forma la línea de máxima pendiente de una superficie de un estrato, filón o falla con su proyección sobre el plano horizontal

6.3.4 Concreto Lanzado:

El concreto lanzado es un sistema de colocación de concreto, que se aplica en la obra por compresión neumática a través de un conducto y es proyectado a gran velocidad sobre una superficie requerida. Es un concreto con agregado pequeño que forma una mezcla relativamente seca, la cual se consolida a través de la fuerza de impacto y se puede colocar tanto en superficies verticales como horizontales.

6.3.5 Desastre:

El Congreso de la República de Colombia (2012), define como desastre, como alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad, que exige del

estado y del sistema nacional ejecutar acciones de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción.

6.3.6 Deslizamiento rotacional:

Los desplazamientos ocurren o tienen lugar a lo largo de una superficie de ruptura de forma curva o cóncava.

6.3.7 Deslizamiento planar:

Consiste en el desplazamiento de una masa a lo largo de una superficie de ruptura de forma plana u ondulada. Son movimientos lentos de materiales blandos

6.3.8 Diaclasa / Junta:

Una diaclasa es una fractura en las rocas que no va acompañada de deslizamiento de los bloques que determina, no siendo el desplazamiento más que una mínima separación transversal. Se distinguen así de las fallas, fracturas en las que sí hay deslizamiento de los bloques. Son estructuras muy abundantes. Son deformaciones frágiles de las rocas.

6.3.9 Drenes horizontales:

Los drenes horizontales de penetración transversal constituyen un sistema de subdrenaje, que consiste en la introducción de tuberías ranuradas insertadas transversalmente en los taludes de cortes y eventualmente en terraplenes, para aliviar la presión de poro.

6.3.10 Escarpe:

Entre estratos no perturbados o solo levemente inclinados, el escalón que forma la capa dura que queda sobresaliente entre otras más blandas forma un escarpe.

6.3.11 Escollera:

Son elementos naturales, como la piedra de cantera, o artificiales como bloques de hormigón, que forman parte de los mantos de diques en talud y en otras obras hidráulicas (mantos de presas), colocados de forma ordenada o aleatoriamente funcionando como protección frente a la erosión causada por el oleaje o erosión lateral de un río. Los bloques de hormigón tienen una gran variedad de formas que para cada obra se seleccionan según sus distintas propiedades: dolos, cubos, tetrápodos, cuadrípodos, tribar y otras.

6.3.12 Mallazo:

El mallazo está formado por una red de alambres o de barras de acero que tienen un diámetro pequeño. Su principal aplicación está en el sector de la construcción para refuerzo de estructuras de hormigón, como por ejemplo los encofrados. La utilización del mallazo tiene como ventaja el incremento de la capacidad de anti-fisuración, lo que dota a las construcciones de mayor cohesión y resistencia.

6.3.13 Movimiento en masa:

Los movimientos en masa son procesos esencialmente gravitatorios, por los cuales una parte de la masa del terreno se desplaza a una cota inferior de la original sin que medie ostensiblemente

medio de transporte alguno, siendo tan solo necesario que las fuerzas estabilizadoras sean superadas por las desestabilizadoras.

6.3.14 Muro anclado:

Los muros anclados son utilizados para la construcción de muros de retención o para asegurar cortes en excavaciones. Los anclajes son usados para proporcionar una precarga de los sistemas estructurales aplicando tensión por medio de sistemas hidráulicos al tendón del anclaje, que puede ser tanto barras como cables de acero de alta resistencia. El cable o barra entonces será enlazado al suelo o roca por medio de una lechada cemento. La precarga aplicada servirá entonces para limitar el desplazamiento de la estructura, esto con el fin de evitar asentamiento que puedan ocasionar el daño en estructuras existentes o la falla de un corte generado ya sea por una excavación.

6.3.15 Reptación:

Es la deformación que sufre la masa de suelo o roca como consecuencia de movimientos muy lentos por acción de la gravedad. Se suele manifestar por la inclinación de los árboles y postes, el corrimiento de carreteras y líneas férreas y la aparición de grietas.

6.3.16 Riesgo:

El riesgo se define como la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. Los factores que lo componen son la amenaza y la vulnerabilidad.

6.3.17 Rumbo:

El rumbo o azimut de una línea es el ángulo horizontal medido en el sentido de las manecillas del reloj a partir de un meridiano de referencia. Lo más usual es medir el azimut desde el Norte (sea verdadero, magnético o arbitrario), pero a veces se usa el Sur como referencia.

6.3.18 Talud:

Los taludes pueden ser naturales o artificiales. Al primer tipo de talud se le denomina también laderas, formados por la naturaleza a través del tiempo sin la injerencia del hombre. Al segundo tipo se le denomina talud debido a que se tiene la intervención del hombre para su construcción. (Ingeniería Real, 2011).

6.3.19 Trinchera:

Las trincheras de infiltración y retención son excavaciones poco profundas rellenas de gravas u otros materiales porosos con el fin de crear vacíos y así generar un almacenamiento temporal de aguas lluvias. Luego de dicha interceptación, las aguas, según el tratamiento, pueden infiltrarse en el suelo o ser enviadas aguas abajo (WoodsBallard et al., 2007).

6.3.20 Vulnerabilidad:

Factor complejo interno de riesgo o sistema que corresponde al grado de exposición a sufrir algún daño por la manifestación de una amenaza específica, ya sea de origen natural o antrópico, debido a su disposición intrínseca de ser dañado. Tienen un carácter multidimensional, el cual se expresa a

través de diversas dimensiones: físico, cultural, psico-social, ambiental, económico, político e institucional.

7. METODOLOGÍA

7.1 ETAPA 1. REVISIÓN DE INFORMACIÓN

En la fase inicial del estudio se realizó la revisión y análisis de la información secundaria disponible referente a la zona del proyecto. En este sentido se han consultado los trabajos de grado y posgrado publicados en relación con las condiciones geológicas de la zona y se han analizado las cartografías publicadas por el INGEOMINAS (el actual Servicio Geológico Colombiano), así como las correspondientes memorias descriptivas. También se ha recopilado la información publicada por entidades municipales, departamentales y del estado.

7.2 ETAPA 2. ANÁLISIS DE IMÁGENES

Antes de iniciar los trabajos de campo se realizará un análisis fotogeológico de imágenes satelitales y de ortofotos aéreas de la zona de estudio, recolectadas en el IGAC e ICDE, con objeto de identificar rasgos geomorfológicos, morfodinámicos, estructurales y litológicos que posteriormente deberán ser verificados in situ. Se ha obtenido de este modo información sobre lineamientos estructurales, extensión de la llanura aluvial, localización de rellenos antrópicos y movimientos en masa entre otros. Así mismo, el estudio e interpretación de los patrones de drenaje ha aportado información sobre el substrato rocoso, siendo un apoyo para el trazado de algunos contactos geológicos.

7.3 ETAPA 3. RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO

En esta etapa del estudio se recorre todo el corredor investigado para determinar las condiciones geológico-geotécnicas generales, para la toma de datos litológicos y estructurales, y para la recogida de muestras representativas de las diferentes unidades litológicas presentes en el área de interés. Se realiza además la verificación de los procesos y rasgos apreciados durante el estudio de fotogeología.

7.4 ETAPA 4. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN



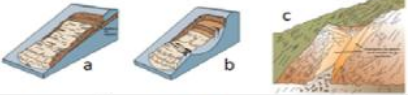
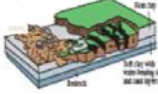
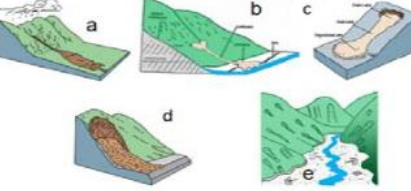

La etapa final consiste en el procesamiento e interpretación de toda la información colectada en las diferentes etapas, basada en la elaboración de un documento escrito y la preparación de las diferentes descripciones e imágenes que acompañan el texto del documento.

Para realizar la evaluación de las amenazas por movimientos en masa en el presente documento, se ha utilizado la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano en el documento titulado “PROPUESTA METODOLÓGICA SISTEMÁTICA PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS GEOMORFOLÓGICOS ANALÍTICOS APLICADOS A LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR

MOVIMIENTOS EN MASA”, que está basada en la clasificación de movimientos en masa de PMA-GEMMA (2007).

Dicha metodología se basa en diferenciar entre seis tipos de movimientos en masa, los cuales a su vez se dividen en subtipos. En la Figura 7, se puede ver en resumen dicha clasificación.

Figura 7. Tipos de Movimientos en Masa, tomado y modificado de PMA-GEMMA 2007.

Tipo	Subtipo	Esquema
Caídas	Caída de rocas (detritos o suelo)	
Volcamiento	Volcamiento de roca (Bloque). Volcamiento Flexural de roca o del macizo rocoso	
Deslizamiento roca o suelo	Deslizamiento traslacional (a) Deslizamiento rotacional (b) Deslizamiento en cuña (c)	
Propagación lateral	Propagación lateral lenta Propagación lateral por licuación (rápida)	
Flujo	Flujo de detritos (a) Crecida de detritos Flujo de lodo (b) Flujo de tierra (c) Flujo de turba Avalancha de detritos (d) Avalancha de rocas (e) Deslizamiento por flujo o deslizamiento por licuación (arena, limo, detritos, roca fracturada)	
Reptación	Reptación de suelos (a) Solifluxión (b) Gelifluxión (en permafrost)	

Además de la clasificación referida en la Figura 7, se han tenido en cuenta otros factores al momento de la identificación de los sitios críticos o inestables como lo son la presencia de agua, los tipos de materiales y la presencia de obras de estabilidad presentes y que al momento de la construcción de la nueva calzada se vean afectadas de manera significativa.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 GEOLOGÍA GENERAL DE LA ZONA

Litológicamente el área del proyecto está representada por diferentes unidades sedimentarias de edades comprendidas desde el Cretácico al Paleógeno, depositadas inicialmente en una cuenca de mar somero que evoluciona hacia un ambiente continental, y finalmente cubierta parcialmente por depósitos de edad reciente depositados en ambientes aluviales y coluviales.

En la Figura 8, se muestra una columna estratigráfica aproximada del área del proyecto donde se pueden visualizar las unidades Cretácicas y Terciarias presentes en la zona del proyecto.

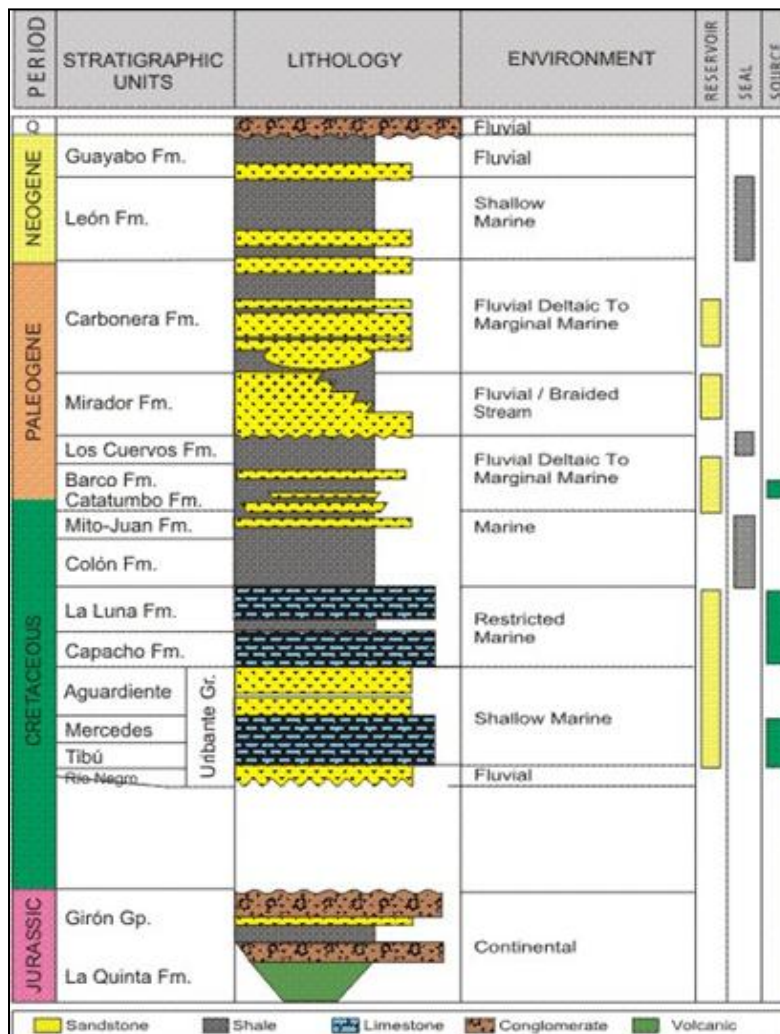


Figura 8. Columna estratigráfica tipo (Fuente: ANH)

A continuación, se hace una breve descripción de las diferentes unidades geológicas que afloran en el área del proyecto de la más antigua a la más reciente.

8.1.1 Cretácico

- **Formación Tibú y Mercedes (Kitm):**

Estas formaciones fueron definidas de forma separada por Nortestein et al. (1944) y posteriormente redefinidas por Sutton (1946) y Renz (1959). La Formación Tibú se dispone sobre rocas pre-Cretácicas de naturaleza ígnea y metamórfica. Está constituida por un paquete basal de areniscas de grano grueso de color gris, estratificadas en bancos potentes; y un nivel superior de calizas fosilíferas con intercalaciones de arena y limolita. Al suroeste de la localidad de Pamplona se ha levantado una columna estratigráfica de esta formación, detectándose un espesor del orden de 220 m. Sobre estos materiales se depositan, de manera disconforme, unas limolitas oscuras que hacen parte de la Formación Mercedes. Las limolitas presentan frecuentes intercalaciones de calizas y de areniscas glauconíticas de grano fino. El espesor medido en las proximidades de Pamplona es de unos 340 m. Debido a la afinidad litológica de ambas formaciones y a la dificultad para separar una de otra, ambas se presentan como una sola unidad que, en general, se observa bastante meteorizada, generando afloramientos poco resaltantes en el relieve. Con base en la fauna y flora que presenta se considera una edad Aptiano-Albiano (Cretácico inferior).

- **Formación Aguardiente (Kia):**

Para Nortestein et al. (1944) esta unidad constituía un miembro de la Formación Uribante aunque con posterioridad Sutton (1946) la consideró como formación propia. Esta unidad se dispone concordante con la inferior y la superior. En las proximidades de la localidad de Pamplona se ha levantado una sección de 440 m de espesor, constituida por areniscas bastante compactas estratificadas en bancos métricos y decimétricos, que se caracterizan por un color gris y amarillento, un tamaño de grano grueso y la presencia de estratificación cruzada. Son frecuentes, en la mitad superior de la unidad, las intercalaciones de capas finas de limolitas silíceas. Según su posición estratigráfica y la fauna presente, se determina una edad Albiano inferior y medio y un ambiente deposicional de playas y lagunas. Por sus características resistentes constituye una unidad muy resaltante en el relieve, por lo que puede utilizarse como nivel de referencia en los estudios cartográficos y fotogeológicos.

- **Formación Capacho (Kic):**

Esta denominación se utilizó inicialmente en 1888 por Wilhem Sievers para designar unos afloramientos calcáreos en Venezuela. Con posterioridad, Nortestein et al. (1944) diferenciaron en esta formación hasta tres miembros: uno inferior de lodolitas calcáreas negras finamente estratificadas con niveles de calizas; uno medio constituido por lodolitas y limolitas grises; y otro superior de naturaleza carbonatada formado por calizas grises en capas masivas con vetas de lodolitas. En las proximidades de Pamplona se ha definido una columna formada por 6 m de calizas

en la base, en bancos de espesor decimétrico, y un potente paquete (de unos 150 m) de lodolitas por encima, con escasas intercalaciones calcáreas. Se ha considerado una edad Albiano superior a Turoniano y un ambiente deposicional marino de aguas tranquilas.

- **Formación La Luna (Ksl):**

Esta formación fue descrita inicialmente en Venezuela (Garner, 1926) y posteriormente establecida formalmente por Hedberg and Sass (1937). La adopción de esta nomenclatura en Colombia se debe a Notestein et al. (1944) y Richards (1968), con objeto de remarcar la importante extensión regional de estos materiales. Se han identificado dos miembros: en el inferior hay calizas oscuras en capas delgadas interestratificadas con lodolitas calcáreas y con presencia de capas de arenisca fosfática en la base; y en el superior predominan los niveles de chert y liditas. En las proximidades de Pamplona se ha establecido un espesor del orden de 240 m. Por la fauna que presenta de ammonites y foraminíferos se asigna una edad Turoniano-Santoniano (Cretácico superior).

- **Formaciones Colón y Mito Juan (Kscm):**

Por las similitudes que presentan ambas formaciones y la dificultad de precisar el contacto entre ellas, se describen como una sola unidad litoestratigráfica. Se compone de lodolitas oscuras con algunas capas calcáreas y nódulos arcillosos que en la base pueden presentar niveles ricos en glauconita. Por encima se disponen lodolitas verdosas y areniscas de grano fino con esporádicos niveles de calizas a techo de la unidad. El espesor puede superar los 1000m. Se menciona una edad Campaniano-Maastrichtiano para estos materiales.

8.1.2 Paleógeno

- **Formación Barco (E1b):**

Fue descrita originalmente por Notestein et al. (1944) en la sierra de Barco. Está constituida por areniscas grises de grano fino con estratificación cruzada alternando con limolitas y arcillolitas oscuras que presentan nódulos de siderita. Se han detectado capas de carbón hacia el techo de la formación. En la localidad tipo presenta un espesor de 215 m y tanto el contacto superior como el inferior son concordantes. Se ha determinado una edad Paleoceno inferior y un ambiente deposicional aluvial a deltaico.

- **Formación Los Cuervos (E1lc):**

En la parte inferior está constituida por lodolitas carbonosas oscuras con intercalaciones de areniscas y niveles de carbón. Se han detectado entre 8 y 10 mantos carbonosos de espesor decimétrico a métrico que se explotan localmente a pequeña escala. La parte media de la formación se compone de areniscas amarillentas con finas intercalaciones de lodolitas y alguna veta de carbón. En la parte alta de la unidad predominan las lodolitas grises con niveles finos de arenisca. El espesor estimado oscila entre 250 m y unos 500 m. Descansa concordantemente sobre la formación mencionada anteriormente y según Van der Hammen (1958) presenta una edad Paleoceno medio a Eoceno inferior.

- **Formación Carbonera (E2c):**

Ha sido definida en la quebrada del mismo nombre por Notestein et al. Está constituida por un potente paquete de arcillolitas de color gris y marrón, y por niveles de arenisca, con presencia de capas de carbón en la parte alta y baja de la formación. Se asigna una edad Eoceno superior a Oligoceno inferior.

8.1.3 Cuaternario

- **Depósitos aluviales (Qal):**

Son sedimentos detríticos no consolidados asociados a los principales drenajes, concretamente en este sector al río Pamplonita. Están constituidos mayoritariamente por suelos arenosos con variable contenido de gravas y bloques de roca.

- **Depósitos coluviales (Qc):**

Suelos heterométricos lodo-soportados que pueden contener bloques de tamaño métrico, y que corresponden a acumulaciones caóticas de materiales deslizados desde su lugar de origen. Se extienden ampliamente por las laderas de fuerte pendiente y substrato pelítico, y puntualmente pueden estar asociados a escarpes de fallas.

- **Depósitos de terraza aluvial (Qt):**

Suelos detríticos medianamente consolidados que constituyen plataformas elevadas respecto al nivel actual de inundación del río y están conformados por conglomerados en matriz areno-arcillosa que presentan lentes de arcilla y arena.

- **Suelos residuales:**

Se han desarrollado in situ por meteorización del substrato rocoso¹, formando niveles que pueden alcanzar varios metros de espesor en función de la naturaleza de la roca, y de las condiciones climáticas principalmente. Por las litologías presentes en la zona, estos suelos tendrán una naturaleza predominantemente arcillosa y limosa. Por su gran extensión, y para no enmascarar la presencia de otros suelos, principalmente de los derivados de procesos morfodinámicos, se han cartografiado conjuntamente con la roca de la que derivan.

8.2 INVENTARIO DE SITIOS CRÍTICOS POR AMENAZA DE REMOCIÓN EN MASA

En el presente trabajo monográfico se detectaron 17 sitios críticos que por sus condiciones geológicas naturales o por actuaciones antrópicas se asociaron a amenazas por remoción en masa para el corredor vial Cúcuta – Pamplona.

Los criterios utilizados para la determinación de los sitios críticos en este sector fueron en primera medida que hubiera presencia de obras de estabilidad comprometidas por la presencia del trazado de la nueva vía. Es decir, en los casos que por cuestiones de diseño del nuevo trazado de la vía se van a tener que intervenir sectores con obras de estabilidad. Dicha intervención va a reactivar inestabilidades ya controladas por medio de obras ingenieriles de contención y de manejo de aguas, motivo por el cual este fue el primer criterio tenido en cuenta para la determinación de los sitios críticos.

Otros criterios tenidos en cuenta fueron los tipos de materiales en los cuales se van a realizar nuevos cortes importantes de la vía, presencia de signos de inestabilidades activas como grietas, coronas de deslizamientos, y superficies con reptación.

Además de estos la presencia de aguas superficiales y de infiltración fueron determinantes importantes al momento de la escogencia de algunos de los sitios críticos relacionados en el presente trabajo.

En la Tabla 6, se relacionan dichos sitios críticos, su ubicación con respecto al trazado de la vía y su extensión.

Tabla 6. Inventario de sitios críticos.

INVENTARIO DE SITIOS CRÍTICOS			
SITIO CRÍTICO	KM INICIO	KM FINAL	M AFECTADOS
1	6+440	6+470	30
2	7+200	7+300	100
3	28+020	28+070	50

4	31+520	31+580	60
5	31+640	31+960	320
6	32+510	32+560	50
7	34+180	34+520	340
8	34+940	35+040	100
9	40+820	40+950	130
10	41+260	41+380	120
11	41+550	41+680	130
12	41+860	41+980	120
13	42+400	42+580	180
14	42+760	42+820	60
15	43+115	43+200	85
16	45+870	46+000	130
17	46+640	46+730	90

8.2.1 SITIO CRÍTICO 1. (KM 6+440 – KM 6+470)

Localización: En la **Tabla 7**, se muestran las coordenadas de inicio y final del sector, a nivel de la actual carretera, tomadas en campo con un GPS Garmin (error en pantalla ± 4 m).

Tabla 7. Coordenadas sitio crítico 1.

SITIO	COORDENADAS PLANAS	
	X	Y
6+450	1162838.0	1342550.5

Descripción geológica: depósito coluvial de escaso espesor (estimado); se localiza en las proximidades de un afloramiento con el substrato rocoso terciario correspondiente a la Fm. Mirador. Se trata de una mezcla de grava y bolos de arenisca con matriz limoarenosa, matrizsoportado.

No se observa presencia de agua.

Descripción de la inestabilidad: Se aprecia una rotura aparentemente planar en el contacto suelo – roca. Se observa ligero levantamiento de la cuneta que afecta unos centímetros al pavimento, en una longitud de unos 20 metros. No se observan signos de movimiento reciente, por lo cual no parece tratarse de un movimiento activo, pero ha de ser tenido en cuenta al momento de hacer obras de mantenimiento y reparcho de la vía.



Fotografía 1. Fotografía sitio crítico 1 con levantamiento de pavimento (Fuente: Elaboración propia).

Propuesta de estabilización: se recomienda construcción de un muro en concreto, que se prolongaría entre las coordenadas los K 6+440 y K 6+470.

8.2.2 SITIO CRÍTICO 2. (KM 7+200 – KM 7+300)

Sector de 100 metros de longitud en el que el talud de la vía actual se encuentra intervenido. En la Figura 9, se muestra el aspecto del sitio con una vista aérea.



Figura 9. Localización y vista en planta del sitio crítico 2. (Fuente: Elaboración propia).

En este sector se aprecian depósitos cuaternarios de terraza, de naturaleza fundamentalmente granular, constituido por gravas, cantos y bloques redondeados a subangulares de areniscas y lutitas principalmente (ver Fotografía 2). La matriz es limo-arenosa, de color crema, matriz-soportado, de aspecto relativamente consolidado mal seleccionado.



Fotografía 2. Detalle de bloques de arenisca en la terraza aluvial del Sitio crítico 2. (Fuente: Elaboración propia).

En el costado izquierdo de la vía existe una intervención reciente constituida por varias filas de anclajes, así como sistemas de manejo de aguas mediante cunetas y canales de drenaje. Adicionalmente, se precia que se ha realizado un manejo de tierras, con una perfilado del corte.



Fotografía 3. Obras de control de aguas entre el sitio crítico 2. (Fuente: Elaboración propia).

El costado derecho se encuentra limitado por un muro en concreto anclado, la finalidad del muro existente es constituir un elemento de protección de la banca frente a la socavación del río Pamplonita.



Fotografía 4. Obras de estabilidad entre el sitio crítico 2. (Fuente: Elaboración propia).

Como este sector inestable ya ha sido controlado por medio de una gran obra ingenieril, se recomienda seguir haciendo mantenimiento a dicha obra de estabilización y monitoreo en la parte alta del talud detectando posibles signos de inestabilidad.

8.2.3 SITIO CRÍTICO 3. (KM 28+020 – KM 28+070)

Sector de 50 metros de longitud en el que el talud de la vía actual se encuentra intervenido mediante bulones reforzados con malla de alambre de doble torsión (ver Fotografía 5). Complementariamente, existe una red de cunetas revestidas para el drenaje de la escorrentía superficial.

Adicionalmente, el costado derecho de la actual carretera se sitúa sobre la llanura de inundación activa del río Pamplonita. Actualmente existe un muro en concreto que protege la banca.

A continuación, se muestran diferentes fotografías de este sector y de la intervención realizada.

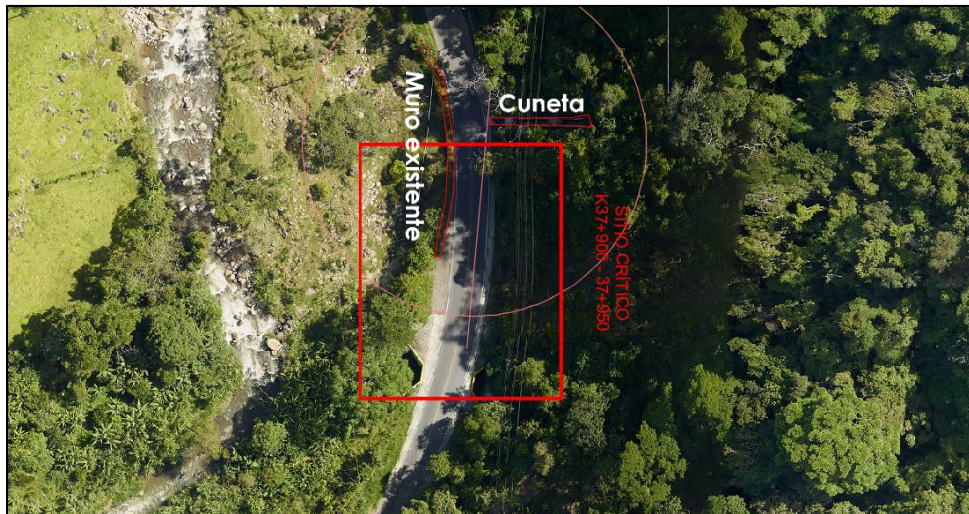


Figura 10. Localización y vista en planta del sitio crítico 3. (Fuente: Elaboración propia).



Fotografía 5. Detalle de bloques de arenisca en la terraza aluvial sostenida con malla de alambre de doble torsión. (Fuente: Elaboración propia).



Fotografía 6. Obras de estabilidad en el sitio crítico 3. (Fuente: Elaboración propia).



Fotografía 7. Obras de control de aguas en el sitio crítico 3. (Fuente: Elaboración propia).



Fotografía 8. Paso del río Pamplonita sobre el depósito aluvial reciente en el sitio crítico 3. (Fuente: Elaboración propia).

8.2.4 SITIO CRÍTICO 4. (KM 31+520 – KM 31+580)

Tramo de unos 60 metros de longitud, en corte por su costado izquierdo, excavado en depósitos de origen coluvial, constituido por bloques de arenisca angulosos o, localmente, subangulosos, en una matriz limo arenosa. Actualmente, no se observan signos de inestabilidad; no obstante, existe una importante intervención de estabilización.

Dicha obra consistente en al menos cinco filas de anclajes, separados cada 2 – 4 m en sentido horizontal y 3 – 5 metros en vertical; los anclajes disponen únicamente de un dado en concreto de aproximadamente 1x1metro. Adicionalmente, se ha construido una red de cunetas revestidas en concreto, distribuidas en espina de pescado.

En la Figura 11. Localización y vista en planta del sitio crítico 4. (Fuente: Elaboración propia). Figura 11 se tiene una vista aérea correspondientes a este tramo, sobre las que se han señalado los sistemas de anclaje identificados.



Figura 11. Localización y vista en planta del sitio crítico 4. (Fuente: Elaboración propia).

En la Fotografía 9 se aprecia el aspecto de estos depósitos de coluvión constituido por bloques de arenisca angulosos o, localmente, subangulosos, en una matriz limo arenosa.



Fotografía 9. Detalle de los materiales observados en el sitio crítico 4. (Fuente: Elaboración propia).

Adicionalmente, se observan obras de estabilización menores, mediante trinchos de guaduas en algunos sectores bajos del corte (ver Fotografía 10).



Fotografía 10. Detalle de las obras de estabilidad del talud en el sitio crítico 4. (Fuente: Elaboración propia).

Como se ha indicado, el manejo de aguas consiste en un sistema de canales en espina de pescado, las cuales llevan el agua de la ladera a la canal principal que pasa por el centro del tramo (ver **Figura 12**).



Figura 12. Vista en planta del sistema de canales en espina de pescado y detalle de trinchos y cunetas del sitio crítico 4. (Fuente: Elaboración propia).

8.2.5 SITIO CRÍTICO 5. (KM 31+640 – KM 31+960)

Este sitio inestable se extiende a lo largo de 320 metros sobre el trazado de la vía (Figura 13). La vía discurre sobre depósitos coluviales constituidos por grava y bolos de arenisca en matriz limoarenosa. Existe una intervención de estabilización consistente en anclajes y manejo de aguas superficiales por medio de cunetas en concreto.



Figura 13. Localización y vista en planta del sitio inestable del sitio crítico 5. (Fuente: Elaboración propia).

En el lado este del trazado, sobre el talud, se aprecia un depósito de coluvión con bloques angulosos de arenisca y de matriz limosa de color café amarillento (ver Fotografía 11).



Fotografía 11. Detalle de los materiales observados en el sitio crítico 5 (Fuente: Elaboración propia).

Las obras de estabilización en la ladera consisten principalmente en filas de anclajes separados entre cuatro y cinco metros que se prolongan hasta unos 40 – 50 metros sobre la rasante de la carretera actual; los anclajes se distribuyen en filas de separación variable.

Adicionalmente, se han realizados trabajos de perfilado de la ladera, que actualmente se encuentra con una inclinación de unos 25 – 30° con bermas de unos tres metros cada 10 – 12 m de altura aproximadamente.

El manejo de aguas se realiza mediante drenes horizontales y un sistema de cunetas distribuidas en espina de pescado, complementadas con una zanja de coronación.

A lo largo del sector se encuentran instalados inclinómetros, probablemente instalados durante la fase de intervención del sector.

En la Fotografía 12 se aprecian una fila de anclajes correspondiente a la zona intermedia del corte, como elemento de amarre dispone de un dado en concreto de 1x1 m y 0.3 m de anchura.



Fotografía 12. Detalle del sistema de anclajes observado en el sitio crítico 5. (Fuente: Elaboración propia).

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Se aprecian las obras de manejo de aguas mediante drenes horizontales y un sistema de cunetas distribuidas en espina de pescado, complementadas con una zanja de coronación.



Fotografía 13. Detalle del sistema de drenaje observado en el sitio crítico 5 (Fuente: Elaboración propia).

8.2.6 SITIO CRÍTICO 6. (KM 32+510 – KM 32+560)

Sitio inestable que se extiende 80 metros sobre el trazado de la vía (ver Figura 14). El talud del costado izquierdo se encuentra excavado en coluvión. Actualmente presenta una intervención de estabilización importante, consistente en un sistema de anclajes con dados de concreto y concreto lanzado además de un sistema de manejo de aguas con cunetas en concreto en la parte más alta.



Figura 14. Localización y vista en planta del sitio inestable 6. (Fuente: Elaboración propia).

En la parte alta del sector se afloran rocas pertenecientes a la Fm. Colón – Mito Juan que en este punto se muestran como una arenisca masiva de grano fino y de color gris. En la parte baja y sostenida por la obra de contención se aprecia un depósito de coluvión con bloques de arenisca de grano fino con matriz limo arcillosa de color café. En la parte superior del talud se aprecia un lóbulo de material desprendido, que, aunque no muestre evidentes signos de inestabilidad, debe ser tenido en cuenta (ver Fotografía 14).



Fotografía 14. Litología presente en el sitio crítico 6 (Fuente: Elaboración propia).

La obra existente consta de tres filas de anclajes con dados de 1,5m * 1,5m, separados entre 10cm y 50cm en la horizontal. Además de esto se tiene la superficie recubierta con concreto lanzado hasta unos 15m de altura. El sistema de drenaje en la parte superior consta de canales en concreto de aproximadamente 2m de ancho por 50cm de profundidad (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



Fotografía 15. Detalle de los anclajes y las cunetas observados en el sitio crítico 6. (Fuente: Elaboración propia).

8.2.7 SITIO CRÍTICO 7. (KM 34+180 – KM 34+520)

Este sitio se extiende a lo largo de 340 metros de longitud sobre el trazado de la vía (ver Figura 15). Este es el sitio crítico más importante del corredor vial.

En esta obra se aprecian por lo menos cuatro filas de anclajes con dados de 1,5m * 1,5m, además de un sistema de contención con bulones y geotextil. Para este sitio también se tiene un complejo sistema de drenaje por medio de cunetas que llevan el agua hacia las afueras del talud hasta dos bajantes de aguas principales.

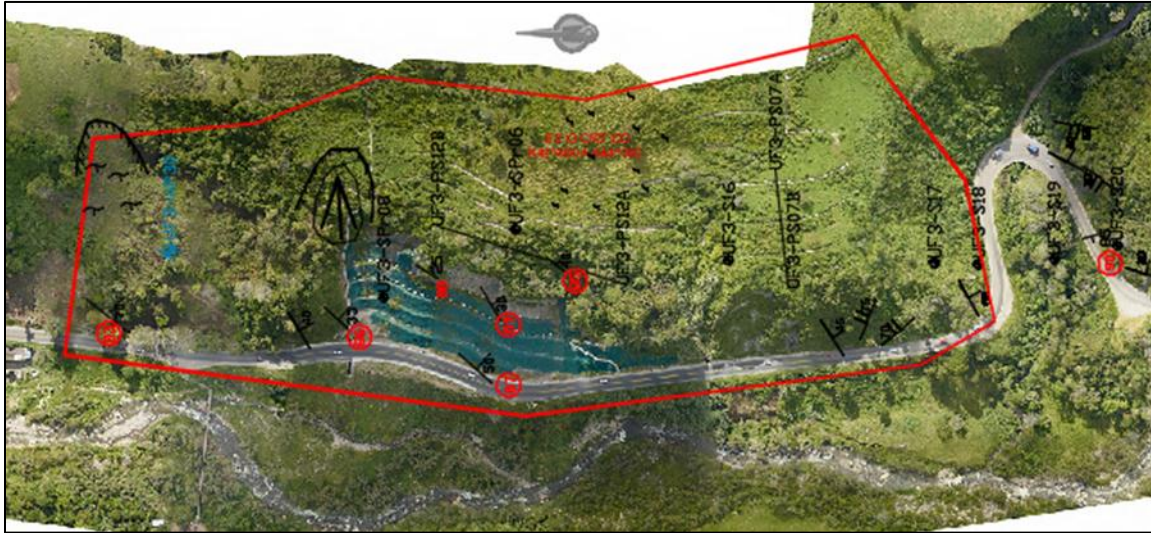


Figura 15. Localización y vista en planta del sitio crítico 7. (Fuente: Elaboración propia).

En este sector se aprecian las rocas correspondientes a la FM. Colón – Mito Juan, cubiertos por depósitos coluviales y de terraza aluvial. Adicionalmente, se evidencian dos coronas de deslizamiento (una de ellas con un lóbulo de material deslizado); además de mostrar superficies con reptación (ver Figura 16)

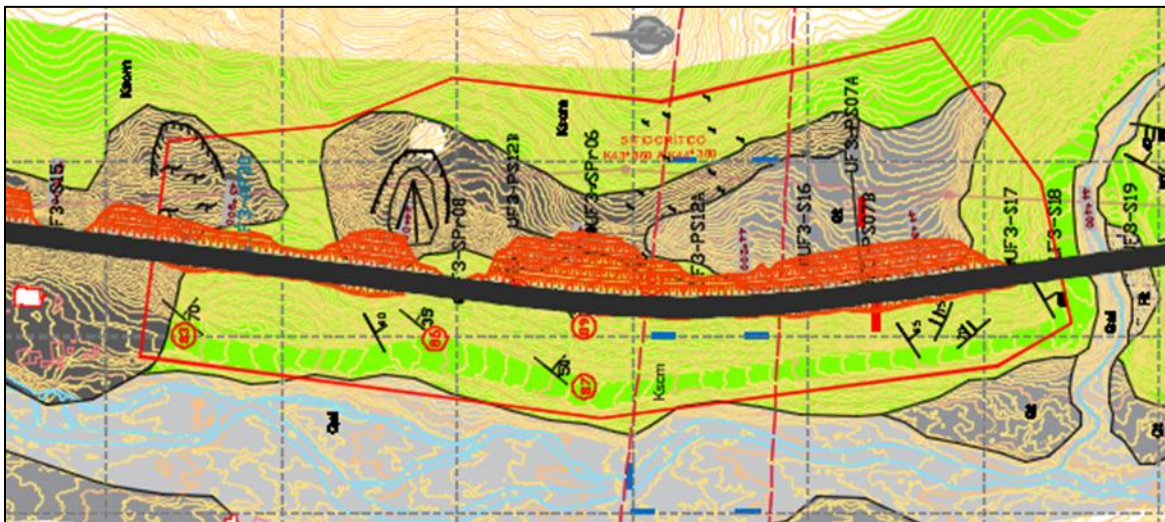


Figura 16. Vista en planta de la Geología del sitio crítico 7. (Fuente: Elaboración propia).

En este sector la FM. Colón – Mito –Juan se aprecia al sur como una secuencia de arcillolitas de color gris azuloso, meteorizada grado III. En la parte central se aprecia alternancia de arenisca de grano fino y color gris oscuro con estratos de arcillolitas grises muy fracturadas, físliles y de color gris azuloso. En la parte más norte se aprecia arenisca cuarzosa, de tamaño de grano medio a grueso, masiva y diaclasada (Ver Fotografía 16).



Fotografía 16. Detalle de los afloramientos de la Fm. Colón – Mito Juan observados en el sitio crítico 7. (Fuente: Elaboración propia).

Los depósitos coluviales en este sector se aprecian con cantos y bloques principalmente de las areniscas de la Fm. Colón – Mito Juan en una matriz limo arenosa de color café oscuro; estos fragmentos de roca van desde angulares a subredondeados y se aprecian más hacia el norte del sitio. El depósito de terraza aluvial se aprecia al sur del sector, es moderadamente consolidado y tiene clastos plomicticos redondeados a subredondeados. (Ver Fotografía 17)



Fotografía 17. Detalle de los afloramientos de depósitos coluviales y de terraza observados en el sitio crítico 7. (Fuente: Elaboración propia).

En la obra de contención y manejo de aguas existente se aprecian por lo menos cuatro filas de anclajes con dados de 1,5m * 1,5m; también se tiene un sistema de contención con bulones y geotextil (ver Fotografía 18).



Fotografía 18. Detalle de los anclajes del sitio crítico 7. (Fuente: Elaboración propia).

Para este sitio también se tiene un complejo sistema de drenaje por medio de cunetas que llevan el agua hacia las afueras del talud hasta dos bajantes de aguas principales que pasan dicha agua por debajo de la vía actual por medio de box culvert hasta el río Pamplonita (ver Fotografía 19).



Fotografía 19. Detalle de las cunetas del sitio crítico 7. (Fuente: Elaboración propia).

En este sector se apreció una inestabilidad potencial que aún no han sido controlada en la parte más norte del sitio crítico y consiste en una corona de deslizamiento y una superficie con reptación (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



Fotografía 20. Detalle de la corona de deslizamiento al norte del sitio crítico 7. (Fuente: Elaboración propia).

8.2.8 SITIO CRÍTICO 8. (KM 34+940 – KM 35+040)

Sitio inestable de 100 m de longitud. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra su ubicación y el plano geológico del sector.

Para este sitio crítico se aprecia una obra de estabilidad sobre el talud, el cual está sobre un depósito de coluvión principalmente hacia la vía actual, hacia la parte alta del talud se aprecian las rocas correspondientes a la Fm. Colón Mito - Juan. Dicha obra de estabilidad consiste en un sistema de anclajes con dados de concreto en la parte alta y dos muros en la vía actual.



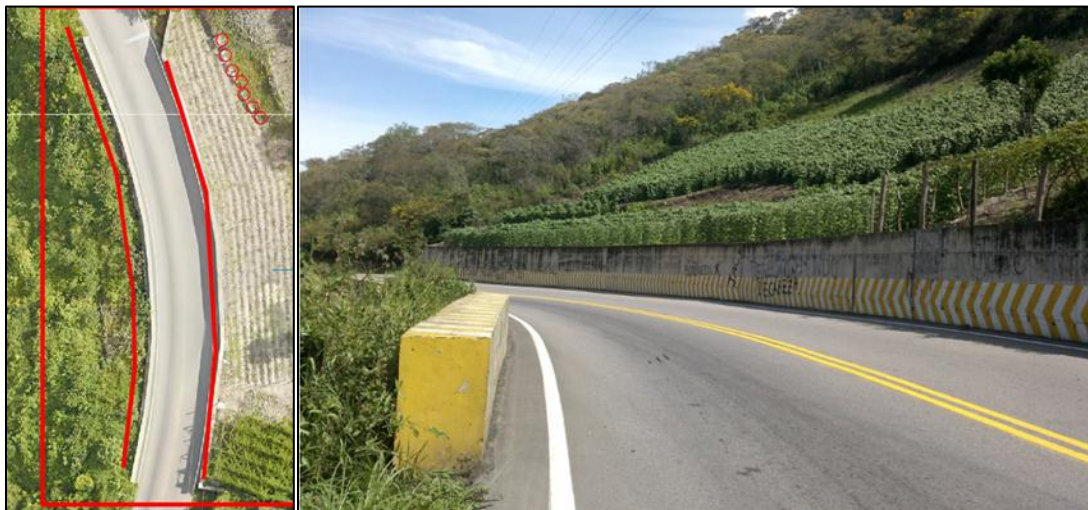
Figura 17. Vista en planta del sitio crítico 8. (Fuente: Elaboración propia).

La Fm. Colón – Mito Juan en este sector se aprecia como estratos de arcillolitas de color gris azulosos con fracturamiento intenso perpendicular a la estratificación. En este sector también se aprecia un depósito de coluvión generado a partir de desprendimiento de los materiales correspondientes a las arcillolitas mencionadas y un relleno antrópico sobre el cual hay un cultivo (ver Fotografía 21).



Fotografía 21. Detalle de los afloramientos de la Fm. Colón Mito Juan y relleno antrópico en el sitio crítico 8. (Fuente: Elaboración propia).

En cuanto a las obras existentes en este sector se puede apreciar una fila de anclajes con dados de 1,5 x 1.5m, separados entre 50cm y 80cm. También se tienen dos muros en concreto para la estabilización de la vía (uno a cada lado). (Ver Fotografía 22).



Fotografía 22. Detalle de obras estabilización en el sitio crítico 8. (Fuente: Elaboración propia).

8.2.9 SITIO CRÍTICO 9. (KM 40+820 – KM 40+950)

Se trata de un sector de 130 metros de longitud en donde la calzada actual se encuentra en un tramo en voladizo. Así mismo, en el talud de la carretera actual existe un muro anclado (2 filas).

Se recomienda revisar la calzada lateral prevista que discurre sobre el voladizo.

Adicionalmente, la trinchera prevista se excavará en coluvión; la presencia del muro es indicativa de posibles situaciones de inestabilidad.

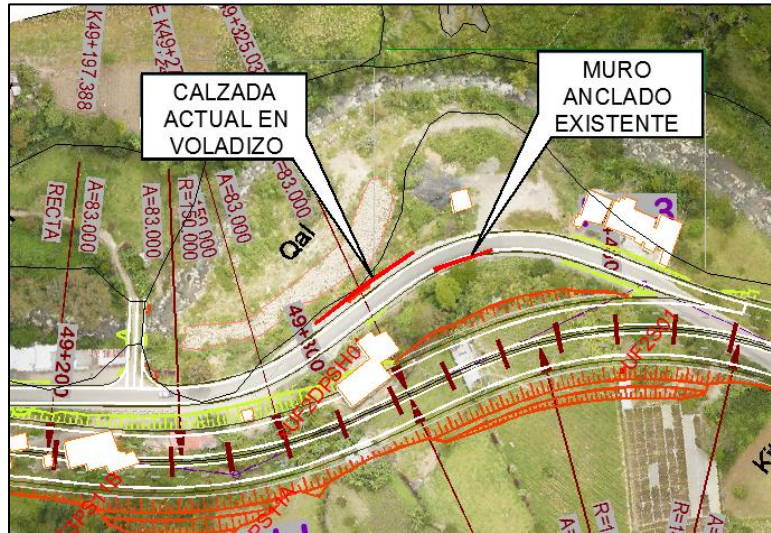


Figura 18. Localización del sitio crítico 9 y las obras existentes. (Fuente: Dirección de Proyecto).



Fotografía 23. Calzada en voladizo y protección del cauce con escollera en el sitio crítico 9. (Fuente elaboración propia).



Fotografía 24. Muro anclado en el sitio crítico 9. (Fuente elaboración propia).

8.2.10 SITIO CRÍTICO 10. (KM 41+260 – KM 41+380)

Se trata de un tramo de 120 metros de longitud en donde se aprecia un muro de contención, la mitad muro es convencional y el resto muro anclado.

En la Figura 19 se aprecia una vista en planta del sitio y el muro existente al cual se hace referencia.

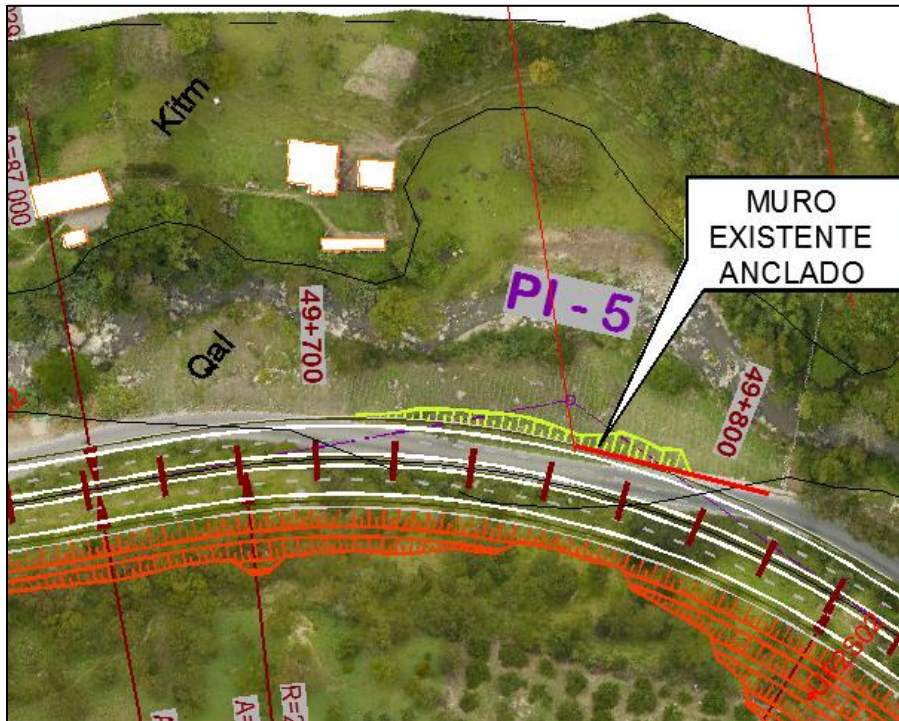


Figura 19. Localización del sitio crítico 10 y sus obras existentes. (Fuente: Dirección de Proyecto).



Fotografía 25. Detalle del muro anclado en el sitio crítico 10. (Fuente elaboración propia).

8.2.11 SITIO CRÍTICO 11. (KM 41+550 – KM 41+680)

Se trata de un muro convencional antiguo de sostenimiento de una masa potencialmente inestable. El tramo discurre sobre suelos de origen coluvial.



Figura 20. Localización del sitio crítico 11 y muro existente. (Fuente: Dirección de Proyecto).



Fotografía 26. Aspecto del muro en el sitio crítico 11. (Fuente elaboración propia).

8.2.12 SITIO CRÍTICO 12. (KM 41+860 – KM 41+980)

Este sitio crítico actualmente se encuentra controlado por medio de una intervención compleja consistente en:

- Protección del corte con bulones cada 2 x 2 m con concreto lanzado
- Muro de hormigón ¿pilotado?
- Sistema de anclajes en coronación dispuestos en cinco filas irregulares
- Complejo sistema de cunetas en coronación

En la Figura 21 se muestra la localización de estos elementos:

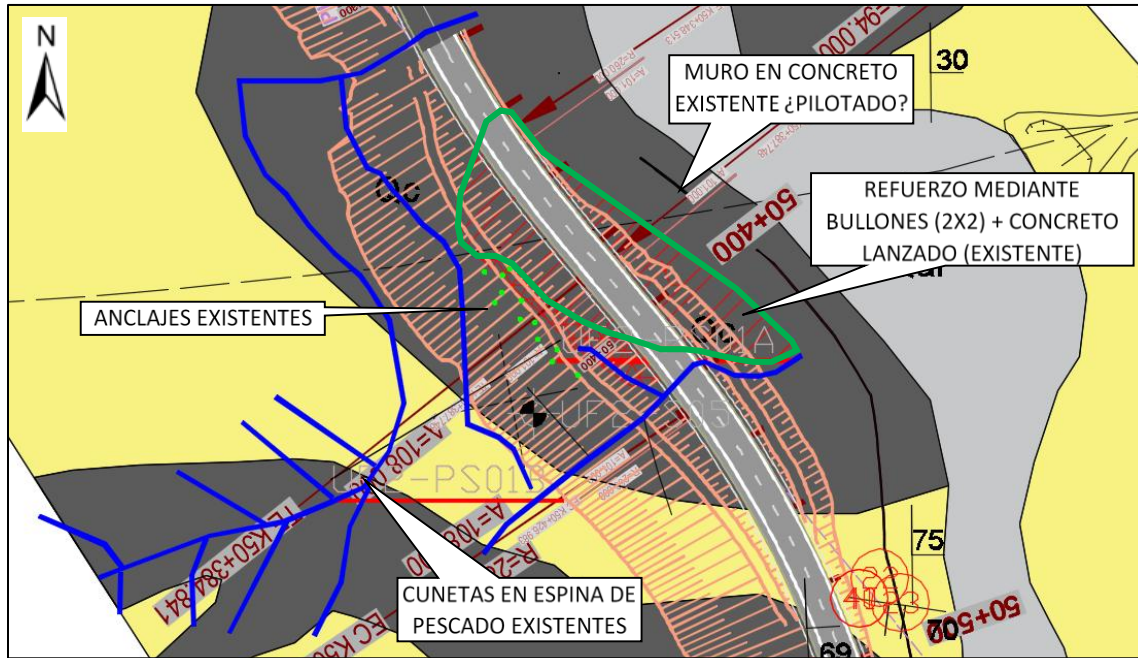


Figura 21. Localización obras existentes del sitio crítico 12. (Fuente: Elaboración propia).

En la siguiente imagen se muestra la localización de los escarpes de coronación posicionados por GPS. La cicatriz más alejada se encuentra a 265 metros de la vía y actualmente presenta un aspecto estable. A unos 200 metros se observan escarpes activos; entre los escarpes y la cicatriz superior se aprecia zonas encharcadas que infiltran agua a la masa inestable.

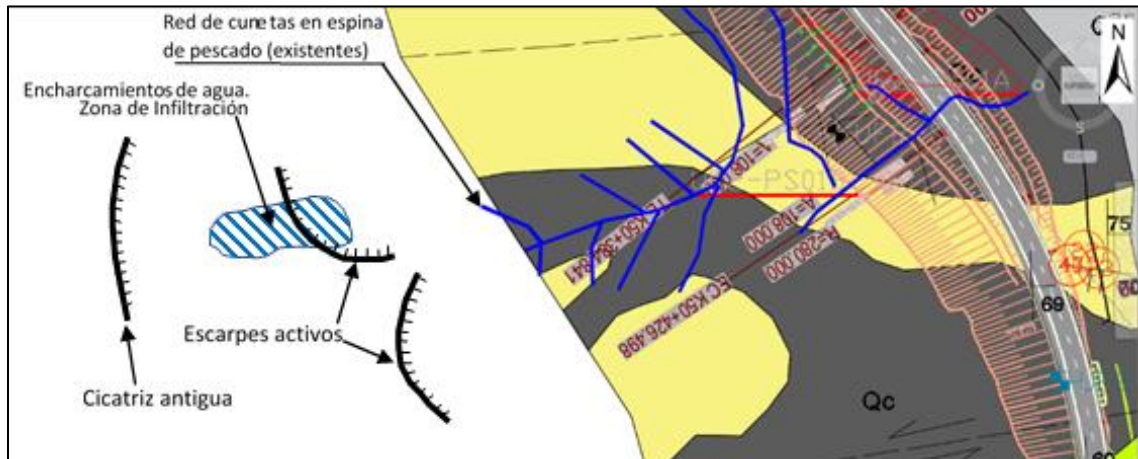


Figura 22. Escarpes superiores (Fuente: Elaboración propia).



Fotografía 27. Talud bulonado. (Fuente elaboración propia)



Fotografía 28. Detalle cabeza bulón. (Fuente elaboración propia)



Fotografía 29. Muro de hormigón armado ¿sobre pilotes? (Fuente elaboración propia)



Fotografía 30. Anclajes en coronación (Fuente elaboración propia)



Fotografía 31. Cunetas revestidas (Fuente elaboración propia)

8.2.13 SITIO CRÍTICO 13. (KM 50+820 – KM 51+000)

Sector sobre coluvión con un muro curvo de contención antiguo. Para este muro se tomaron coordenadas para tener un mejor detalle de la ubicación y el tamaño del mismo.

Tabla 8. Coordenadas del muro (precisión $\pm 4m$). Fuente: Elaboración propia

INICIO	E	1161092
	N	1312111
INTERMEDIOS	E	1161125
	N	1312019
	E	1161132
	N	1311981
FINAL	E	1161129
	N	1311938

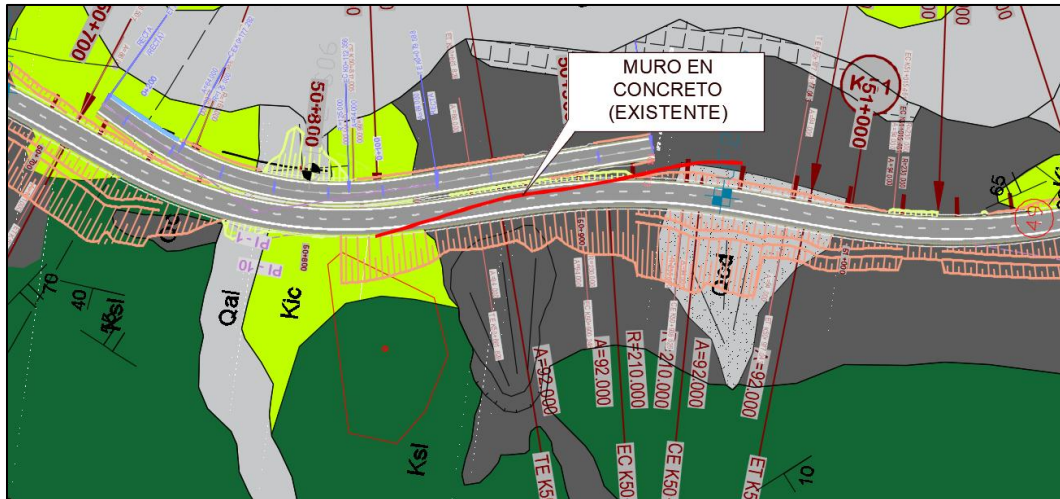


Figura 23. Muro del sitio crítico 13 (Fuente: Elaboración propia).

En el coluvión situado por encima se aprecian escarpes y signos superficiales de inestabilidad (reptaciones, relieve irregular) así como zonas locales muy húmedas. Se recomienda considerar la posibilidad de obras bioingenieriles en la parte superior.



Fotografía 32. Aspecto muro actual (Fuente: elaboración propia)

8.2.14 SITIO CRÍTICO 14. (KM 42+760 – KM 42+820)

Localización: En la siguiente Tabla se muestran las coordenadas de inicio y final del sector, a nivel de la actual carretera, tomadas en campo con un GPS Garmin (error en pantalla ± 4 m).

Tabla 9. Coordenadas sitio crítico 14.

SITIO	INICIO		FINAL	
	X	Y	X	Y
42+800	1161198	1311790	1161222	1311736

Descripción geológica: Se trata de suelos predominantemente limo arcillosos, con bloques dispersos de arenisca de tamaño decimétrico, ocasionalmente métrico. Algunos de los bloques presentan un aspecto subredondeado, indicativos de un cierto transporte fluvial; no obstante, predominan los fragmentos angulosos, por lo que finalmente este depósito se clasifica como coluvial.

El terreno presenta un elevado grado de saturación; en coronación se observan zonas de morfología plana que sin duda constituyen puntos de entrada de agua hacia la masa potencialmente inestable.

Actualmente, al pie del corte existe un muro en concreto de 1,5 m de altura; al inicio del mismo, según avance de los PR de la carretera, existe una salida de alcantarilla que vierte un caudal importante en la cuneta lateral. Se ha efectuado un reconocimiento de la procedencia de esta agua, comprobándose que tiene su origen en la escorrentía superficial de los pastizales localizados a cotas más levadas de la ladera.

En la siguiente imagen se muestra la cartografía del sector y algunas imágenes representativas.

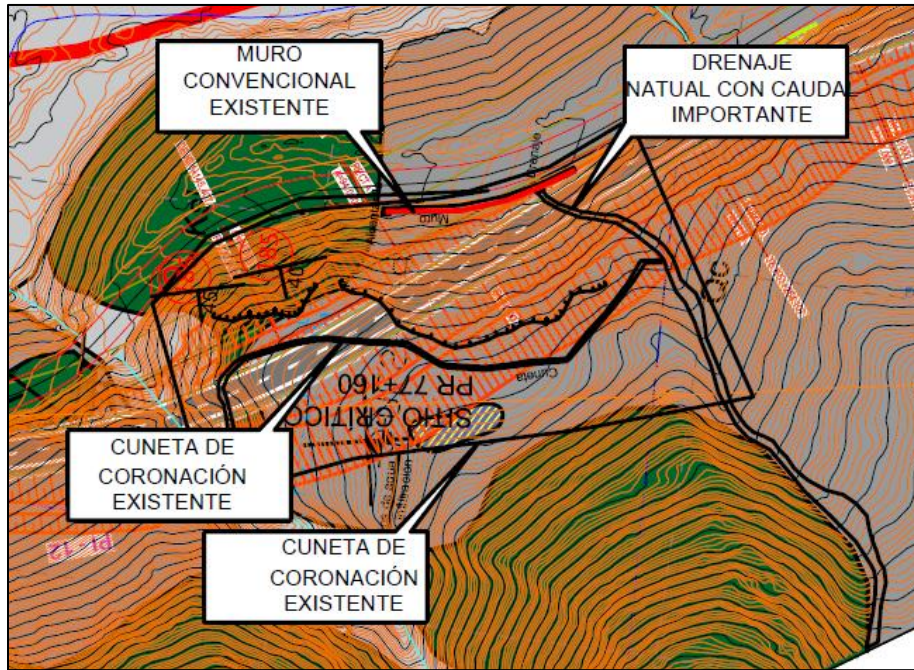


Figura 24. Localización e inventario de obras existentes. (Fuente: Elaboración propia)



Fotografía 33. Vista de la inestabilidad del sitio crítico 14. (Fuente: elaboración propia)



Fotografía 34. Detalle del muro en concreto. (Fuente: elaboración propia)



Fotografía 35. Detalle de la alcantarilla. (Fuente: elaboración propia)

En el sector final se aprecia afloramiento de lutitas con intercalaciones de arenisca, con buzamiento de unos 40° hacia el interior de la ladera.



Fotografía 36. Detalle de la litología observada. (Fuente: elaboración propia)

Descripción de la inestabilidad: Actualmente el sector se observa estable, con movimientos superficiales tipo reptaciones; estos movimientos están relacionados con la saturación del terreno relacionada con escorrentía superficial y profunda.

En coronación del talud actual se observa una cuneta de unos 115 m de longitud, que se encuentra en buen estado, aunque cubierta de vegetación.

En la coronación del sector en el que a cota de la vía actual se observa afloramiento del substrato rocoso, se aprecia presencia de suelos, con signos de inestabilidad superficial, con caídas que afectan la carretera.



Fotografía 37. Detalle de la cuneta en coronación. (Fuente: elaboración propia)



Fotografía 38. Detalle de la corona de deslizamiento. (Fuente: elaboración propia)



Fotografía 39. Vista general del sitio crítico 14. (Fuente: elaboración propia)

No se aprecia ninguna afección a la vía.

Propuesta de estabilización: Se recomienda una atención especial al manejo de aguas, con drenajes superficiales y profundos (drenes horizontales), que deberían incluir los sectores por encima de la coronación prevista que actualmente que son fuente de filtraciones.

8.2.15 SITIO CRÍTICO 15. (KM 43+115 – KM 43+200)

Localización: En la siguiente Tabla se muestran las coordenadas de inicio y final del sector, a nivel de la actual carretera, tomadas en campo con un GPS Garmin (error en pantalla ± 4 m).

Tabla 10. Coordenadas sitio crítico 15.

SITIO	INICIO		FINAL	
	X	Y	X	Y
43+150	1161257.5	1311397.6	1161259.0	1311479.1

Descripción geológica: depósito coluvial limo arcilloso con fragmentos decimétricos a métricos de arenisca. Se encuentra saturado; en las zonas más elevadas se identifican sectores de topografía llana por los que se produce infiltraciones de agua de escorrentía favoreciendo su saturación.

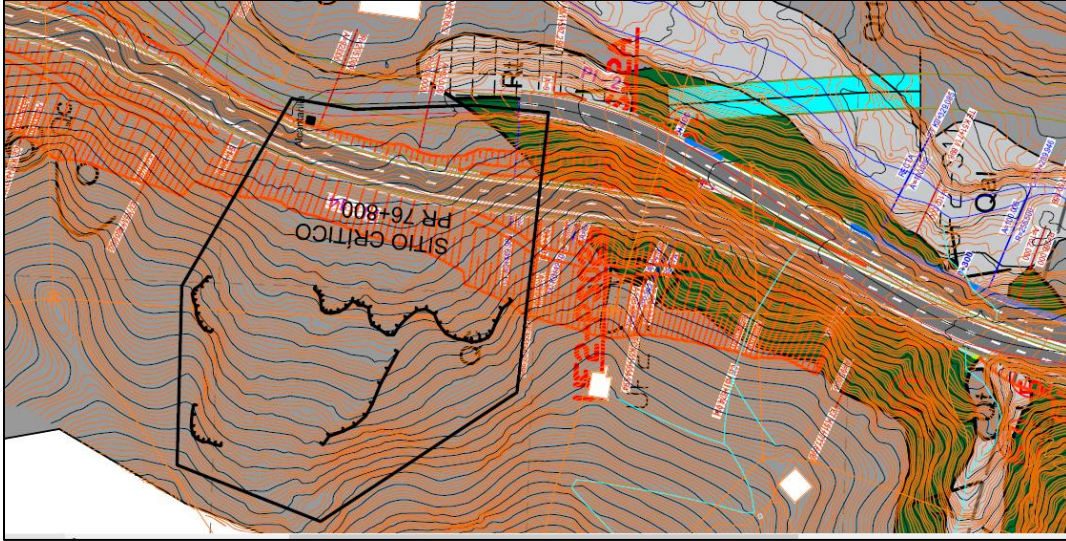


Figura 25. Ubicación y geología del sitio crítico 15. (Fuente: elaboración propia)

Descripción de la inestabilidad: Actualmente el sector se observa estable, con movimientos superficiales tipo reptaciones; estos movimientos superficiales están relacionados con la saturación del terreno relacionada con escorrentía superficial y profunda.

A nivel de la vía actual, se aprecia la cuneta con deformaciones antiguas. No se aprecia levantamiento de la vía ni ninguna otra afección reciente.

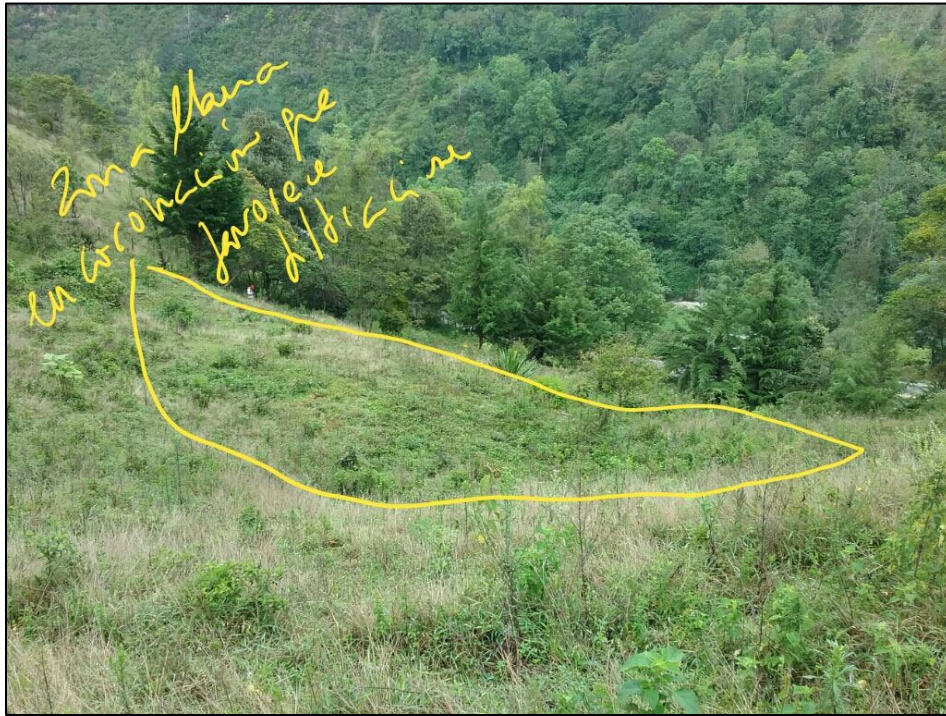
A continuación, se muestran algunas imágenes de este sector:



Fotografía 40. Detalle del sitio crítico 15. (Fuente: elaboración propia)



Fotografía 41. Detalle de cuneta con deformaciones antiguas. (Fuente: elaboración propia)



Fotografía 42. Detalle de zona de infiltración en coronación. (Fuente: elaboración propia)

Propuesta de estabilización: Se recomienda una atención especial al manejo de aguas, con drenajes superficiales y profundos (drenes horizontales), que deberían incluir los sectores por encima de la coronación que actualmente que son fuente de filtraciones.

8.2.16 SITIO CRÍTICO 16. (KM 45+870 – KM 46+000)

Localización: En la siguiente Tabla se muestran las coordenadas de inicio y final del sector tomadas en campo con un GPS Garmin (error en pantalla ± 4 m)

Tabla 11. Coordenadas sitio crítico 16.

SITIO	INICIO		FINAL	
	X	Y	X	Y
45+940	1160188.3	1309165.3	1160244.3	1309273.8

Descripción geológica: Corte de fuerte pendiente, localmente subvertical, unos 40 metros de altura, en el que se observa el substrato rocoso constituido en la mitad inferior por lutitas de la Fm Capacho y en la superior por la Fm La Luna.

En este punto, la Fm Capacho se encuentra constituida por lutitas muy fracturada, meteorizada grado IV, en estratos decimétricos, con intercalaciones de arenisca más sana (grado III) de espesor centimétrico o decimétrico; este nivel más competente es muy escaso en relación con los niveles lutíticos.

La Fm La Luna se encuentra constituida fundamentalmente por niveles de chert, estratificados en niveles centimétricos muy fracturados, con algunos niveles centimétricos o decimétricos de arenisca y escasos niveles centimétricos de lutita meteorizada grado IV-V.

En la siguiente imagen se muestra el aspecto del corte en el que claramente se aprecia el contacto Capacho – La Luna, así como otros aspectos del sitio.



Fotografía 43. Corte del sitio crítico 16. (Fuente: elaboración propia)

Recubriendo el substrato rocoso, en el pie del corte se aprecian acumulaciones de material desprendido.



Fotografía 44. Material desprendido en el sitio crítico 16. (Fuente: elaboración propia)

Estructuralmente, la serie presenta un buzamiento hacia el interior del macizo rocoso, con inclinaciones variables entre 20 y 35 grados; los estratos presentan una ligera ondulación con cambios rápidos de buzamiento, en todos los casos hacia el interior del macizo.

Se identifican varias familias de diaclasas con continuidad métrica y separación 0,5 a 1,5 metros entre juntas de una misma familia. Las dos principales presentan buzamiento subvertical; una tercera familia presenta rumbo subparalelo a la vía con buzamientos variables entre 50 y 70°. Esta tercera familia es responsable de las caídas superficiales que se observan.

No se observa filtraciones de agua a través del macizo rocoso, aunque los suelos superficiales en coronación y pie del corte se encuentran saturados.

En la siguiente imagen se muestra el sector en relación con su entorno geológico.

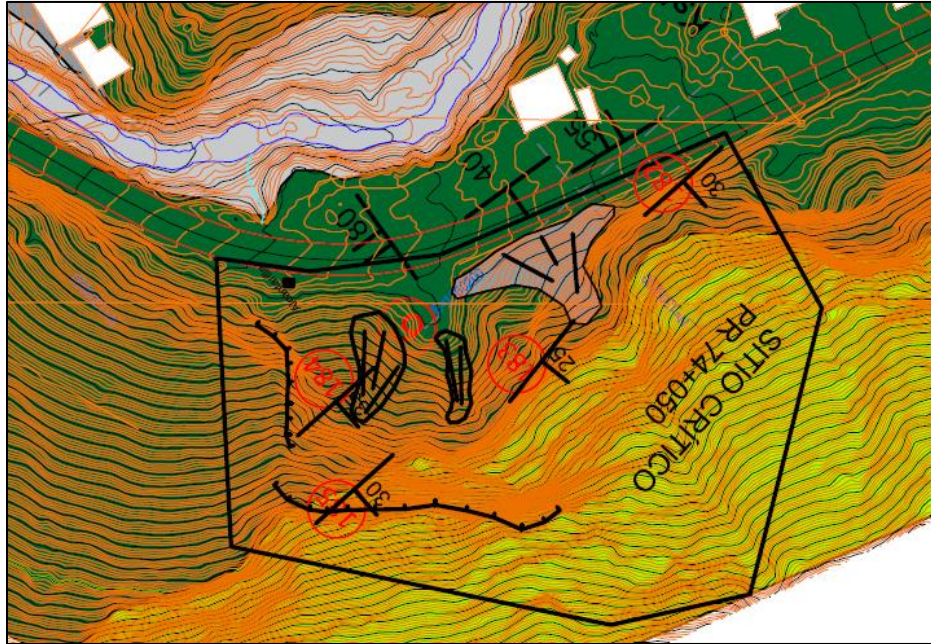


Figura 26. Geología del sitio crítico 16. (Fuente: proyecto)

Descripción de la inestabilidad: caídas superficiales a favor de las familias de diaclasas identificadas, así como por alteración superficial, en especial en los niveles en los que la lutita presenta un aspecto más masivo.

Al pie del corte se observa una pequeña plataforma en la que se intuye la extracción de estos materiales para pequeñas actuaciones de reparación de la vía, lo que contribuye a su descalce y progresión de las caídas.

No se observan signos de inestabilidad global.

Propuesta de estabilización: Se pueden diferenciar dos tramos; el primero comprende los 30 metros iniciales del sector, en los que se observa un talud de unos diez metros de altura, de fuerte pendiente, excavado en su mayor parte en lutita. Se presentan desprendimientos superficiales relacionados con la meteorización superficial de esta formación, así como caídas de bloques a favor de las diaclasas paralelas a la vía.

En este sector, cuyo aspecto se muestra en la siguiente imagen, se podría considerar un tratamiento superficial mediante pernado y concreto lanzado con mallazo.



Fotografía 45. Aspecto del primer tramo de 30 metros del sitio crítico 16. (Fuente: elaboración propia)

En el resto, sería razonable plantear un elemento de retención de caídas al pie de la vía (muro en concreto). Debido a su gran altura y pendiente, la estabilización de todo el frente del corte se aprecia complicada y costosa; deberá evaluarse cuidadosamente su necesidad.

La cuneta existente en el borde de la carretera lleva instalado un filtro francés, por lo que es de esperar un espesor de relleno de al menos un metro, que deberá ser tenido en cuenta en el diseño de la cimentación del muro que se proponga.

8.2.17 SITIO CRÍTICO 17. (KM 46+640 – KM 46+730)

Localización: En la siguiente Tabla se muestran las coordenadas de inicio y final del sector tomadas en campo con un GPS Garmin (error en pantalla ± 4 m)

Tabla 12. Coordenadas sitio crítico 18.

SITIO	INICIO		FINAL	
	X	Y	X	Y
46+700	1160037.3	1308491.9	1160040.9	1308582.2

Descripción geológica: Ladera constituida sobre depósitos de coluvión. Se trata de suelos predominantemente limo arcillosos, con bloques dispersos de arenisca de tamaño decimétrico a métrico.

El elevado contenido de fracción lutítica podría indicar presencia del substrato de la Fm Capacho próxima a la superficie.

El terreno se encuentra completamente saturado y encharcado en superficie, con alimentación de agua por escorrentía superficial y a través de una pequeña quebrada procedente de las zonas más elevadas de la ladera



Figura 27. Ubicación y geología del sitio crítico 17. (Fuente: Proyecto)

Descripción de la inestabilidad: Deslizamiento circular progradante con un importante componente de desplazamiento por flujo debido al elevado grado de saturación del terreno. La corona activa de la inestabilidad se localiza a 60 metros de la vía; no obstante, en campo se aprecian signos de reptaciones de varias decenas de metros más alejadas.

Las caídas por flujo de material sobre la vía son constantes, obligando a trabajos de conservación prácticamente diarios.

En la inspección de campo se observa levantamiento de la calzada.

En Fotografía 46, Fotografía 47, Fotografía 48 y Fotografía 49; se observan diferentes aspectos del sitio:



Fotografía 46. Vista global del sitio crítico 17. (Fuente: elaboración propia)



Fotografía 47. Zonificación del sitio crítico 17. (Fuente: elaboración propia)



Fotografía 48. Material desprendido en la vía del sitio crítico 17. (Fuente: elaboración propia)



Fotografía 49. Corona de deslizamiento activa. (Fuente: elaboración propia)

Propuesta de estabilización: La solución de estabilización propuesta incluiría:

- Elemento rígido a nivel de carretera para contención de los desprendimientos.
- Elementos de drenaje superficial (cunetas y zanjas). Se recomienda considerar drenaje profundo mediante pozos drenantes.

Si no se efectúa una intervención efectiva para el control del agua superficial y profunda, el movimiento por flujo continuará pudiendo sobrepasar cualquier elemento de contención que se construya al lado de la carretera.

La cuneta de la vía actual dispone de un filtro francés aproximadamente a un metro por debajo. El apoyo de cualquier muro que se diseñe en este sector debe tener en cuenta la presencia de los rellenos correspondientes a este filtro.

9. CONCLUSIONES

A lo largo del trazado del proyecto, se han identificado 17 sitios en los que, por sus características geológicas, la construcción de la vía puede desencadenar procesos de inestabilidad y/o de remoción en masa importantes. La mayoría de estos sitios se encuentran ya intervenidos y la nueva calzada proyectada afecta de forma sustancial a los sistemas de sostenimiento instalados (fundamentalmente anclajes).

Se pudo apreciar que la mayor parte de las inestabilidades detectadas ya se encuentran controladas por medio de obras ingenieriles y que el riesgo más grande para la realización del proyecto se dará al momento de intervenir las laderas que ya se encuentran estabilizadas.

Se puede apreciar entonces que la gran mayoría de estos sitios corresponden a zonas intervenidas geotécnicamente mediante muros en concreto, muros anclados y sistemas de sostenimiento (anclajes, bulonado, concreto lanzado...).

Además de las obras de estabilización, también se apreciaron obras para el manejo aguas por medio de canales, filtros, drenes horizontales y sistemas en espina de pescado que evidencian la importancia del manejo de la filtración de agua para la estabilidad de las laderas.

También se evidenció la presencia de coronas, grietas, procesos de remoción en masa y zonas con procesos de reptación que pueden generar nuevos procesos de inestabilidad al momento de intervenir laderas que aún no han sido intervenidas entrópicamente.

De acuerdo a esto se entiende entonces que la mayor parte de los sitios críticos corresponden a sectores ya intervenidos y que la configuración de la vía proyectada obliga a la demolición total o parcial de estos sistemas ya existentes, o bien modifica su estado de esfuerzos, de manera que la nueva configuración crea una situación de amenaza potencial que debe ser estudiado en detalle por los especialistas en geotecnia del proyecto.

10. RECOMENDACIONES

Como la configuración de la vía proyectada obliga a la demolición total o parcial de las obras de estabilidad y sistemas de manejo de aguas ya existentes, o bien modifica su estado de esfuerzos, de manera que la nueva configuración crea una situación de amenaza potencial por remoción en masa, se recomienda que cada sector denominado como sitio crítico en el presente estudio sea estudiado en detalle por los especialistas en geotecnia del proyecto.

11. BIBLIOGRAFÍA

- AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Reglamento NSR-10.
- Alcaldía de Pamplona, "PBOT, Plan Básico de Ordenamiento Territorial, 2001" y su revisión y ajuste de 2015. "Plan de Desarrollo Municipio de Pamplona 2016-2019".
- Alcaldía de Pamplonita, "EOT, Esquema de Ordenamiento Territorial"; "Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019".
- CDGRD, Consejos Departamentales para la Gestión del Riesgo de Desastres. Estos organismos sustituyen al antiguo CREPAD a nivel departamental.
- CORPONOR, Corporación Autónoma Regional de La Frontera Nororiental, máxima autoridad ambiental departamental. "Plan de Acción Institucional PAI 2016-2019"; "Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hoidrográfica del río Pamplonita, 2010".
- Gobernación de Norte de Santander. Información general sobre el departamento.
- IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Datos Climáticos generales (Atlas Climatológico de Colombia); datos de estaciones meteorológicas concretas bajo petición.
- IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Cartografía básica, imágenes Landsat, información de usos y clasificación del suelo, etc.
- INVIAS, Instituto Nacional de Vías. Información de la red nacional de carreteras y proyectos viarios (plataforma SECOP).
- SGC, Servicio Geológico Colombiano-INGEOMINAS. "Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa"
- SGC, Servicio Geológico Colombiano-INGEOMINAS. Planchas geológicas 1:100.000; mapas de amenaza volcánica, estudios de sismicidad, información geológica general.
- UAEGRD, Unidad Administrativa Especial para la Gestión de Riesgos de Desastres. Mapas de gestión de riesgos.
- UNGRD, Unidad Nacional de Gestión del Riesgo y Desastres. "Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 2015-2015".
- Universidad Militar Nueva Granada, Trabajo de grado. "Análisis de susceptibilidad por movimientos en masa, para el corredor vial Cuestaboba – Mutiscua en el departamento de norte de Santander, implementando el software Arcgis".