Consorcio
CUNDINAMARCA JINT 17

# ESTUDIO DE GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA

CONTRATO CONSULTORÍA ICCU-783-2025

"ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LAS VÍAS: 1. VÍA DESDE EL CASCO URBANO DE LENGUAZAQUE AL CASCO URBANO DE VILLAPINZÓN, 2. VÍA DESDE EL CASCO URBANO DE JERUSALÉN AL CRUCE DE LA VÍA RUTA 45, 3. VÍA QUE DESDE EL SECTOR TABACAL CONDUCE AL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE QUIPILE, 4. VÍA DESDE EL CASCO URBANO DE CHOCONTA AL CASCO URBANO DE CUCUNUBÁ, 5. VÍA QUE CONECTA EL CRUCE CON EL CORREDOR BOGOTÁ – FONTIBÓN - FACATATIVÁ - LOS ALPES, SECTOR LA VIRGEN, HASTA LA VÍA FACATATIVÁ - EL ROSAL, 6. VÍA DESDE EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE SUPATÁ AL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE PACHO".

## 3. VÍA QUE DESDE EL SECTOR TABACAL CONDUCE AL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE QUIPILE

**VERSIÓN 03**

**AGOSTO 2026**



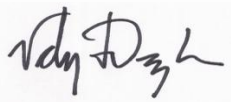
ICCU
INSTITUTO DE CAMINOS Y CONSTRUCCIONES DE CUNDINAMARCA

| ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN | |
|---|---|
| "ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LAS VÍAS: 1. VÍA DESDE EL CASCO URBANO DE LENGUAZAQUE AL CASCO URBANO DE VILLAPINZÓN, 2. VÍA DESDE EL CASCO URBANO DE JERUSALÉN AL CRUCE DE LA VÍA RUTA 45, 3. VÍA QUE DESDE EL SECTOR TABACAL CONDUCE AL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE QUIPILE, 4. VÍA DESDE EL CASCO URBANO DE CHOCONTA AL CASCO URBANO DE CUCUNUBÁ, 5. VÍA QUE CONECTA EL CRUCE CON EL CORREDOR BOGOTÁ – FONTIBÓN - FACATATIVÁ - LOS ALPES, SECTOR LA VIRGEN, HASTA LA VÍA FACATATIVÁ - EL ROSAL, 6. VÍA DESDE EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE SUPATÁ AL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE PACHO". | **ESTUDIO DE GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA**<br>**3. VÍA QUE DESDE EL SECTOR TABACAL CONDUCE AL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE QUIPILE** |

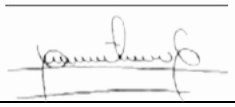
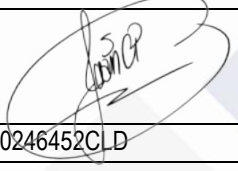
**CONTROL DE CAMBIOS**

| Rev. | Fecha | Descripción |
|---|---|---|
| 1 | 26/02/2026 | Entrega inicial para revisión de la interventoría mediante comunicado CCJINT17-0783- 0251-26 del 26/feb/2026 |
| 2 | 04/06/2026 | Respuesta a comunicado T-003-2025-168-OFC para revisión de la interventoría mediante comunicado CCJINT17-0783- 0735-26 del 04/Jun/2026 |
| 3 | 14/08/2026 | Entrega V3, mediante comunicado CCJINT17-0783-1043-26 del 14/Ago/2026 |

**REPRESENTANTES CONSULTORÍA – CONSORCIO CUNDINAMARCA JINT 17**

| | | |
|---|---|---|
| REALIZÓ<br>Geólogo | NOMBRE: | Geo. Víctor Hugo Díaz-Herrera |
| | FIRMA |  |
| | T.P. | 1771 C.P.G. |
| REVISÓ y APROBÓ<br>Director de Estudios y Diseños | NOMBRE: | Ing. César Augusto Palacios Wilches |
| | FIRMA |  |
| | MAT: | 25202-079229 CND |

**REPRESENTANTES INTERVENTORÍA – INGEOCIM S.A.S.**

| | | |
|---|---|---|
| REVISIÓN<br>Geólogo Interventoría | NOMBRE: | Gustavo Adolfo Trejos González |
| | FIRMA |  |
| | MAT: | 2120 |
| VALIDACIÓN y APROBACIÓN<br>Director Interventoría | NOMBRE: | Ing. Juan Carlos Pineda Suarez |
| | FIRMA |  |
| | MAT: | 1720246452CLD |

## TABLA DE CONTENIDO

**Pág.**

**1. INTRODUCCIÓN ..... 7**

**2. OBJETIVOS Y ALCANCES ..... 9**
2.1 Objetivo general ..... 9
2.2 Objetivos específicos ..... 9
2.2 ALCANCES ..... 9

**3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO ..... 11**
3.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO ..... 11

**4 METODOLOGÍA DE TRABAJO ..... 13**
4.1 VOLUMEN DE GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA ..... 13
4.2 PLAN DE CAMPO ..... 15

**5 MARCO REGIONAL ..... 20**
5.1 GEOLOGÍA REGIONAL ..... 20
5.2 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL ..... 21
5.3 AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA ..... 22
5.4 AMENAZA SÍSMICA ..... 25
5.5 HIDROGEOLOGÍA CONCEPTUAL ..... 26

**6 RECONOCIMIENTO DE CAMPO ..... 28**

**7 FOTOINTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE IMÁGENES ..... 50**
7.1 FOTOINTERPRETACIÓN ..... 50
7.2 MAPA DE PENDIENTES ..... 52

**8 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL ..... 54**
8.1 GEOLOGÍA LOCAL ..... 54
8.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL ..... 56
8.3 MORFODINÁMICA ..... 59

**9 GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA ..... 60**
9.1 CORREDOR GEOTÉCNICO ..... 60
9.2 ZONAS DE COMPORTAMIENTO HOMOGÉNEO ..... 60

**10 FUENTES DE MATERIALES Y ZODMES ..... 66**
10.1 FUENTES DE MATERIAL ..... 66
10.2 ZODME ..... 68

**11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 71**

**12 BIBLIOGRAFÍA ..... 72**

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Localización del corredor vial Quipile - Tabacal en el departamento de Cundinamarca. .....11
Ilustración 2 Corredor vial Quipile - Tabacal .....12
Ilustración 3 Esquema metodológico secuencial (Carvajal, 2012). .....15
Ilustración 4 Comparación de perfiles de meteorización del macizo rocoso según Deere y Patton (1971), Dearman (1974, 1991), Forero et. al. (1999). Tomado de SGC S.G., 2017. .....17
Ilustración 5 Perfil de meteorización según ISRM, 1981. Tomado de U. de Oviedo, 2007. .....17
Ilustración 6 Dureza de la roca frente a la navaja y el martillo geológico. Fuente: Adaptado de US. Bureau of Reclamation (1990), en "Engineering Geology Field Manual". .....18
Ilustración 7 Resistencia del suelo a partir de índices de campo (ISRM). Fuente: Modificado de British Standard Institution (1999). .....18
Ilustración 8 Formato modificado para inventario de movimientos en masa (hoja 1). Tomado de SGC, 2017. 19
Ilustración 9 Formato modificado para inventario de movimientos en masa (hoja 2). Tomado de SGC, 2017. 19
Ilustración 10 Geología regional tramo Quipile – Tabacal .....20
Ilustración 11 Geomorfología regional tramo Quipile – Tabacal .....22
Ilustración 12 Zonificación de amenaza por movimientos en masa (en línea roja la vía Tabacal-Quipile) .....23
Ilustración 13 Catálogo de procesos de remoción en masa en el área (SIMMA) .....24
Ilustración 14 Mapa nacional de amenaza sísmica de Colombia (INGEOMINAS-UNC, 2010), señalando en rojo la vía Quipile - Tabacal .....25
Ilustración 15 Detalle del mapa de unidades hidrogeológicas en el área de estudio (en rojo el eje vial) .....27
Ilustración 16 Rangos de pendientes, SGC, 2016 .....28
Ilustración 17 Panorámica de la vertiente desde el K0 en Tabacal; vista hacia Quipile (Az 185) .....28
Ilustración 18 Vistas del proceso de erosión concentrada en borde externo de la banca .....29
Ilustración 19 Aspecto del talud de corte en K0+100. El Gavión en la parte alta está en el talud exterior de la vía a La Sierra .....29
Ilustración 20 Panorámica de la vertiente, vista hacia Quipile (Az 190) .....30
Ilustración 21 Detalle en afloramiento rocoso en K0+230 talud interior .....30
Ilustración 22 Panorámica del talud rocoso en K0+230 .....31
Ilustración 23 Panorámica de la banca de la vía, en K0+350; vista hacia Quipile (Az 195) .....32
Ilustración 24 Detalle del talud interno en K0+350 .....32
Ilustración 25 Panorámica desde el K 0+950, final del tramo de mejoramiento; vista hacia Tabacal (Az 345) .33
Ilustración 26 Panorámica de la vertiente en el inicio del tramo central de rehabilitación; vista hacia Quipile (Az 130) .....33
Ilustración 27 Vista desde el K1+550 -aproximadamente- hacia Tabacal (Az 355) .....34
Ilustración 28 Vista hacia Quipile (Az 180), del extremo norte del sector coluvial. Al fondo, la corona del flujo del K1+600, afectando la banca externa. .....34
Ilustración 29 Fallo del borde externo de la banca en K1+600; vista hacia Quipile (Az 170) .....35
Ilustración 30 Fallo del borde externo de la banca en K1+800; vista hacia Quipile (Az 150) .....35
Ilustración 31 Talud erosivo 10 m adelante del K1+800, como superficie de deslizamiento; vista hacia Quipile (Az 150) .....36
Ilustración 32 Panorámica de la estación 5; vista hacia Quipile (Az 160) .....36
Ilustración 33 Acercamiento a la corona de cárcava en K2+120 .....37
Ilustración 34 Vista de la cárcava del K2+120, desde su corona en la banca de la vía .....38
Ilustración 35 Panorámica del sector K2+190-K2+220; vista hacia Quipile (Az 170) .....39
Ilustración 36 Vista hacia el extremo Tabacal del muro (Az 350), en K2+150 .....39

Ilustración 37 Vista hacia el extremo Quipile del muro (Az 160), en K2+240 ....40
Ilustración 38 Vista desde el K2+240 hacia Tabacal (Az 340) ....40
Ilustración 39 Corona de flujo concentrado en la banca externa de la vía en K2+700, vista hacia Quipile (Az 185) ....41
Ilustración 40 Zona de flujo lento en el talud interior, frente a la zona de fallo del talud exterior en K2+700 (hacia Az 210) ....41
Ilustración 41 Afectación en los taludes en K2+740 (vista hacia Az 200) ....42
Ilustración 42 Panorámica de la corona de falla que afecta la banca en K2+930. Se señalan los vectores del desplazamiento indicados por el escalonamiento de la banca (vista hacia Az 110) ....42
Ilustración 43 Vista del escalonamiento de la banca, hacia Tabacal (Az 360) ....43
Ilustración 44 Esquema de la condición en planta del del K2+930 ....43
Ilustración 45 Grietas en la banca por desconfinamiento del talud exterior, en K3+370; vista hacia Tabacal (Az 025) ....44
Ilustración 46 Panorámica de la vía desde el K3+460, vista hacia Quipile (Az 360) ....44
Ilustración 47 Acercamiento a la zona de humedad en la banca, se observa saturación y pérdida de la capa de rodadura y la base (Az 360). ....45
Ilustración 48 Aspecto de la banca en la zona humeda, vista hacia Tabacal (Az 185) ....45
Ilustración 49 Panorámica de la vía en K3+700, vista hacia Tabacal (Az 005) ....46
Ilustración 50 Panorámica de la vía en K3+700, vista hacia Quipile (Az 190) ....46
Ilustración 51 Aspecto de la banca y el talud exterior en K3+700, vista hacia Quipile (Az 200) ....47
Ilustración 52 Panorámica del corredor vial desde el K3+920, vista hacia Quipile (Az 200) ....47
Ilustración 53 Condición de la vía desde el K4, aproximadamente, vista hacia Quipile (Az 190) ....48
Ilustración 54 Panorámica del corredor vial desde el K4+100; vista hacia Quipile (Az 180) ....48
Ilustración 55 Aspecto del corredor vial desde el K4+800, vista hacia Tabacal (Az 030). ....49
Ilustración 56 Fotointerpretación Quipile - Tabacal ....50
Ilustración 57 Mapa de pendientes del corredor vial Tabacal - Quipile ....52
Ilustración 58 Geología del corredor geotécnico ....55
Ilustración 59 Geomorfología del corredor geotécnico ....57
Ilustración 60 Gráfica para el cálculo del GSI ....62
Ilustración 61 GSI estimado en el K0+230 ....63
Ilustración 62 GSI estimado en el K2+120 ....64
Ilustración 63 Localización de las fuentes de material en el sector de Balsillas, con la vía Quipile-Tabacal al occidente ....66
Ilustración 64 Aspectos el material en el patio de la cantera Cerro Grande: Izq: Frente rocos y triturado, Centro: rajón; Der: Detalle rajón ....67
Ilustración 65 Materiales ofrecidos por la cantera El Pencal ....68
Ilustración 66 Vista inclinada al norte, desde la ubicación de la zona del Zodme Ojo de Agua ....69
Ilustración 67 Panorámica polígono ZODME Ojo de Agua ....69
Ilustración 68 Detalle área Zodme Ojo de Agua ....70

## Índice de Tablas

Tabla 2 Caracterización de los planos de discontinuidad en K0+230 .....31
Tabla 3 Caracterización de los planos de discontinuidad en K2+120 .....37

Consorcio CUNDINAMARCA JINT 17

# 1. INTRODUCCIÓN

Mediante la Ordenanza No. 001 del 22 de marzo de 2024 se adoptó el Plan Departamental de Desarrollo 2024 – 2028 "GOBERNANDO: MÁS QUE UN PLAN", en el cual se encuentra establecida la Línea Estratégica: "Competitividad compartida", cuyo objetivo principal es "la reducción de brechas y rezagos en diversas áreas, como educación superior, ciencia, tecnología e innovación, así como en la generación de ingresos, productividad y bienestar general. Esta estrategia se enfoca en superar las disparidades entre la ciudad y el campo, brechas de géneros, productores y comercializadores, así como las diferencias marcadas entre estratos socioeconómicos. La premisa es lograr un progreso colectivo que abrace a toda la diversidad existente en el Departamento."

Una competitividad compartida pasa por diagnosticar, identificar y desarrollar las vocaciones productivas de los territorios, basándose en sus ventajas comparativas. Esto implica no solo fortalecer las vocaciones existentes, sino también promover la apropiación de tecnologías adecuadas para procesos sencillos que aporten un gran valor, tanto a los productos, como a los servicios generados en los diferentes municipios. Además, la línea estratégica busca fomentar la creación de vocaciones basadas en las mejores prácticas agropecuarias, como también en la creación de rutas de turismo inteligente y demás potencialidades locales.

Dentro de las apuestas que se desarrollan para fortalecer la competitividad compartida se tienen 2: Conectividad y Movilidad Eficiente, ya que el mejorar la conectividad afecta positivamente la competitividad compartida. Esto considera la ampliación y mejora de la infraestructura vial, la puesta en marcha de sistemas de transporte con enfoque de sostenibilidad, con el desarrollo soluciones férreas, reposición de flotas a energías amigables con el ambiente, así como infraestructura para la bicicleta. Además, es fundamental el buen manejo del tráfico vehicular y la seguridad en las zonas metropolitanas, y el uso permanente de las autopistas digitales. La conexión efectiva entre Bogotá y las provincias, así como la conexión intermunicipal, no solo mejorará la movilidad y conectividad, sino que también acortará las brechas sociales de quienes habitan."

En las apuestas que se proponen en el Plan de Desarrollo Departamental, se encuentra la "Conectividad" la cual se entiende cómo "el proceso de unión de los territorios, los sistemas económicos y las personas (CEPAL, 2006). Es por ello, que la apuesta se proyecta como todo tipo de unión y acercamiento de la población en Cundinamarca, sea digital o vial. Desde este punto, se pretende conectar a Cundinamarca mediante infraestructura óptima que permita el transporte de la ciudadanía, mejorando la calidad de vida y facilitando el transporte de los productos del departamento incrementando la competitividad de este. Es decir, se establece la conectividad como elemento integrado que fomenta la productividad y competitividad."

La consultoría a desarrollar en el contrato ICCU-783-2025 corresponde al lote 1, el cual contempla las siguientes vías:

LOTE 1: 1. VÍA DESDE EL CASCO URBANO DE LENGUAZAQUE AL CASCO URBANO DE VILLAPINZÓN, 2. VÍA DESDE EL CASCO URBANO DE JERUSALÉN AL CRUCE DE LA VÍA RUTA 45, 3. VÍA QUE DESDE EL SECTOR TABACAL CONDUCE AL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE QUIPILE, 4. VÍA DESDE EL

CASCO URBANO DE CHOCONTÁ AL CASCO URBANO DE CUCUNUBÁ, 5. VÍA QUE CONECTA EL CRUCE CON EL CORREDOR BOGOTÁ - FONTIBÓN - FACATATIVÁ - LOS ALPES, SECTOR LA VIRGEN, HASTA LA VÍA FACATATIVÁ - EL ROSAL, 6. VÍA DESDE EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE SUPATÁ AL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE PACHO.

Las actividades desarrolladas, dentro de los estudios y diseños, han sido las siguientes: Plan de campo, metodología de trabajo y cronograma de trabajo, estudio de transporte, estudio de topografía, trazado y diseño geométrico, señalización y seguridad vial y plan de manejo de tránsito, geología para ingeniería, estudio de suelos para el diseño de fundaciones y otras estructuras de contención, estudio de estabilidad y estabilización de taludes, estudio geotécnico y diseño del pavimento, estudio de fuentes de materiales, estudio de hidrología, hidráulica y socavación, estudio y diseño de estructuras, gestión ambiental y social del proyecto, gestión predial, estudio de cantidades de obra, análisis de precios unitarios y presupuesto para la estructuración del pliego de condiciones. Los diferentes volúmenes han sido realizados por profesionales de formación especializada y amplia experiencia especifica en consultoría de obras civiles, para garantizar el aseguramiento de los resultados en la compleja industria de la construcción.

Todo conforme a los lineamientos establecidos por el Instituto de Infraestructura y Concesiones de Cundinamarca (ICCU), en el marco del contrato ICCU-783-2025. Este conjunto de estudios tiene como objetivo principal definir, estructurar y validar las soluciones técnicas necesarias para la ejecución de las obras contempladas en el Lote 1, garantizando su viabilidad técnica, normativa, ambiental y financiera.

Este documento en particular, presenta el desarrollo del volumen III Estudio de Geología para Ingeniería para el tramo vial desde la intersección Tabacal al casco urbano del municipio de Quipile, como parte integral de los estudios y diseños para las vías del Lote 1, del Proceso de Contratación No. ICCU-CM-017-2025, mediante el cual el Instituto busca realizar estudios y diseños para la futura ejecución de proyectos de infraestructura vial en el Departamento de Cundinamarca, realizando proyectos de mejoramiento y/o rehabilitación en vías de primer, segundo y tercer orden a cargo del Departamento de Cundinamarca.

# 2. OBJETIVOS Y ALCANCES

## 2.1 Objetivo general

Adelantar los estudios de geología para ingeniería detallados, a nivel de Fase III, con la definición de las características geológicas geomorfológicas e hidrogeológicas del Corredor Vial (CV), Tabacal - Quipile, así como el análisis para geotecnia e ingeniería. Como parte de las últimas definiciones establecidas por las autoridades nacionales para los estudios y diseños viales, en particular lo que respecta a los estudios de geología y geotecnia, se contempla la definición y análisis del Corredor Geotécnico (CG), el cual se entiende como la franja del terreno en la que se desarrolla el CV, dentro de la que trascienden las eventuales afectaciones entre la vía y el terreno.

## 2.2 Objetivos específicos

Los objetivos particulares para adelantar los estudios de Geología para Ingeniería, se definen de manera congruente con el Anexo Técnico (AT) del proceso de contratación ICCU-CM-017-2025, descritos a continuación:

- Definición de las características geológicas, geomorfológicas del corredor vial (CV), enmarcado en el CG. La caracterización parte de la revisión, análisis y condensación disponible en las instancias pertinentes, como el Servicio Geológico Colombiano (SGC), la Gobernación de Cundinamarca, los municipios que cubren las vías objeto de estudios, la corporación autónoma regional en la zona, la CAR, y otras autoridades nacionales como el IGAC, el IDEAM, el INVIAS, en aspectos como geología, geomorfología, suelos, coberturas vegetales y uso de la tierra, riesgo sísmico, volcánico y por procesos de remoción en masa (PRM), geología para ingeniería, geotecnia y estudios ambientales.
- El modelo geológico y geomorfológico se detalla, de acuerdo con el AT, a escala 1:2.000, sobre el levantamiento topográfico del CV, definiendo las unidades de geología para ingeniería y los elementos geomorfológicos. Mediante la elaboración de estudios y análisis propios se describen y analizan las unidades y elementos diferenciados, así como los aspectos de estabilidad y seguridad del corredor vial, clasificación de los materiales excavación para pago de los mismos, las fuentes de materiales disponibles en cada zona y la caracterización de zonas apropiadas para la disposición de materiales sobrantes (botaderos o ZODMES), en la zona de los CV, acorde con los alcances establecidos en el AT.

## 2.2 ALCANCES

El estudio de geología para ingeniería determina, mediante la evaluación y análisis detallados, a escala 1:2.000, los aspectos de estabilidad y seguridad de los C.V., donde se adelantarán las intervenciones que determinen los estudios y diseños, asi como la clasificación de excavaciones para pago.

Se contemplan además los siguientes alcances, complementando lo expuesto en el Anexo Técnico:

- Definición del Corredor Geotécnico, a partir del análisis de información, como la cartografía temática regional (geología y geomorfología), publicada por el SGC, topografía base del IGAC, la interpretación de fotografías aéreas y otras imágenes de sensores remotos (satelitales y ortofotomosaicos), así el reconocimiento de la vía, lo cual permite definir las afectaciones sobre la banca y las laderas contiguas al corredor vial. Se definen sitios inestables o críticos, potencialmente inestables, obras especiales como puentes y obras de arte importantes, así como estructuras de contención existentes, para recomendar los sitios de exploración geotécnica. La escala para la definición del CG será 1:10.000, de acuerdo con la disponibilidad de topografía del territorio (IGAC).

- Caracterización geológica y geomorfológica del CV, con longitud de 5 km, desde lo regional a lo local, con base en el análisis de la información existente, complementada con las definiciones y análisis propios del estudio de geología para ingeniería, como el reconocimiento de campo, fotointerpretación y análisis de imágenes, así como la descripción e interpretación de los registros de exploración: sondeos, trincheras y exploración geofísica. La escala final de los análisis será 1:2.000, conforme con lo establecido en el AT.

- Detallar en la investigación y análisis de geología y geomorfología para geotecnia e ingeniería, en zonas inestables y potencialmente inestables.

- Modelo hidrogeológico conceptual del corredor vial.

- Proponer los taludes más favorables, tanto en corte como en terraplén, de manera que se garanticen condiciones adecuadas de estabilidad, según la definición de zonas de comportamiento geotécnico homogéneo.

- Identificación y caracterización de fuentes de materiales y ZODMES aledaños al CV, adecuados para el desarrollo de las obras proyectadas para la rehabilitación de la vía.

- La cartografía temática de los diferentes corredores viales, Unidades de Geología para Ingeniería (UGI) y Elementos Geomorfológicos (EGMF), será llevada a la escala de detalle, 1:2.000, sobre el levantamiento topográfico de los CV.

# 3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

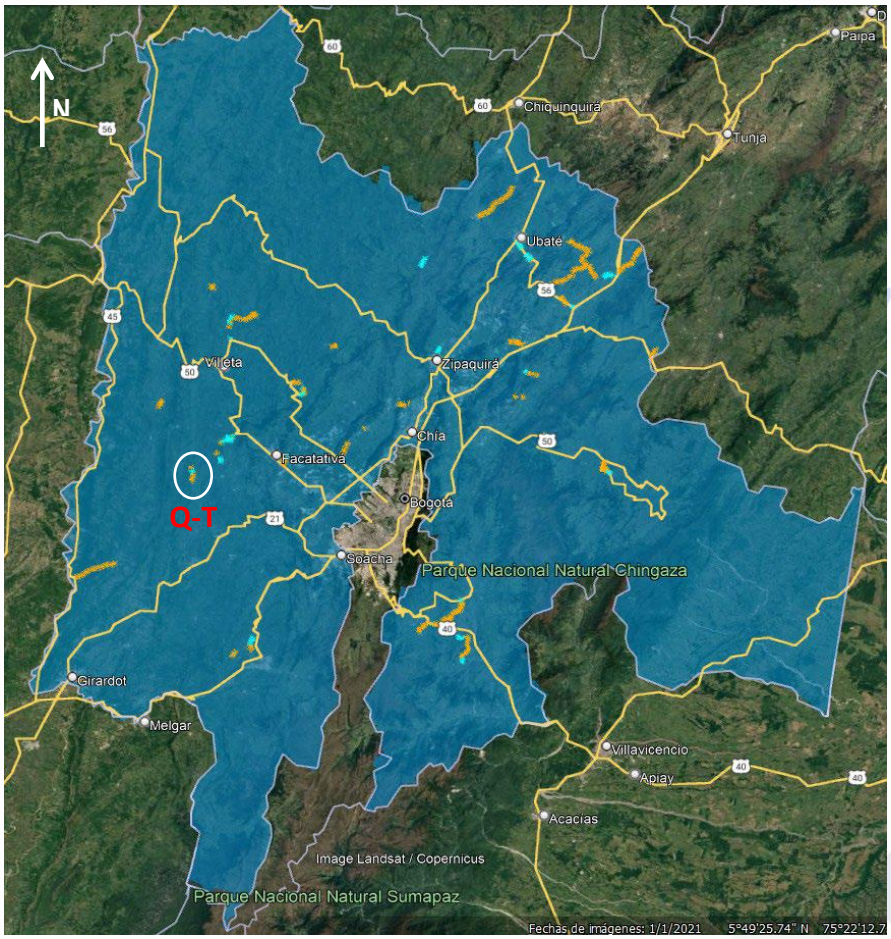
El estudio de geología se adelanta para el corredor vial establecido, como parte de vías secundarias priorizadas existentes en el Departamento de Cundinamarca, utilizando metodologías y tecnologías de punta que le permitan al Departamento avanzar en el desarrollo de la infraestructura vial para la competitividad, en armonía con el Plan Nacional de Desarrollo y el Plan Departamental de Desarrollo.

La vía Quipile – Tabacal (Q-T) se ubica en la provincia del Tequendama, parte centro-occidental del departamento de Cundinamarca.

## 3.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

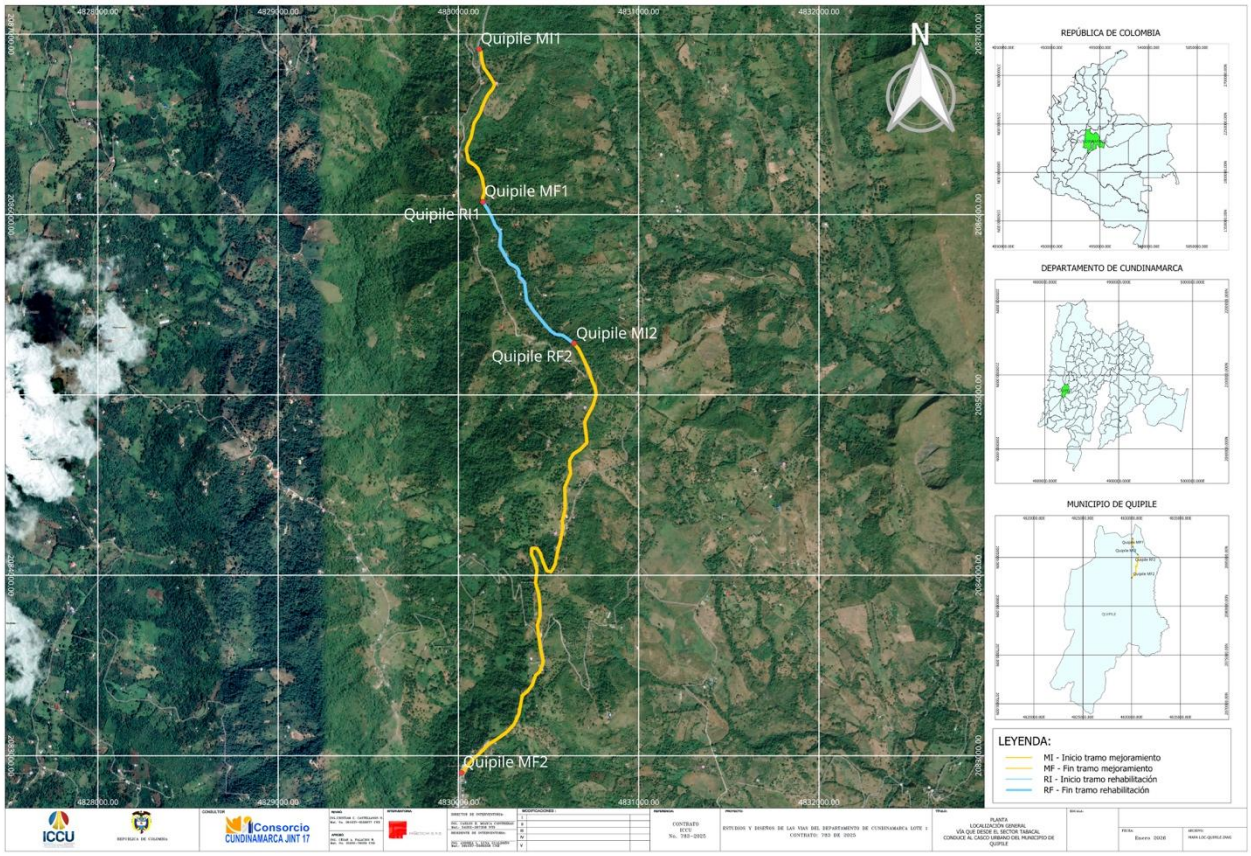
En la Ilustración 1 se presenta la ubicación general de la vía Quipile – Tabacal (Q-T) en el contexto del departamento de Cundinamarca, acercándola en la Ilustración 2.

Ilustración 1 Localización del corredor vial Quipile - Tabacal en el departamento de Cundinamarca.




Fuente: Modificado de de Anexo Técnico del proceso ICCU-CM-017-2025

Ilustración 2 Corredor vial Quipile - Tabacal




Fuente: Elaboración - CONSORCIO CUNDINAMARCA JINT 17 sobre imagen satelital de Google Earth

# 4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El volumen se desarrolla con el siguiente esquema metodológico, de manera que se alcancen los objetivos y contenidos del estudio de geología, dentro del volumen de geología para ingeniería, de acuerdo con los términos de referencia para los estudios y diseños, correspondientes al Anexo 1 -Anexo técnico ICCU-CM-017-2025.

Como referentes metodológicos se cuenta con los siguientes documentos:

- Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia, CARVAJAL, 2012.
- Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa, SGC, 2017.
- Guía de lineamientos técnicos y metodológicos para la incorporación del Concepto de Corredor Geotécnico (CG) en los proyectos de Infraestructura Vial, MINTRANSPORTE-INVIAS, 2025.
- Propuesta metodológica para el desarrollo de la cartografía de geología para ingeniería para la zonificación geomecánica, Volumen INGEOMINAS, 2004.
- Propuesta metodológica para el desarrollo de la cartografía geomorfológica para la zonificación geomecánica, Volumen II INGEOMINAS, 2004.
- Propuesta metodológica para el desarrollo de una zonificación geotécnica para cartografía de zonificación geomecánica, Volumen III.

## 4.1 VOLUMEN DE GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA

Para la elaboración del volumen de Geología del corredor vial, se ha desarrollado la siguiente metodología, desde lo regional a lo local:

- Definición de los objetivos y alcances, aspectos generales del área de estudio y la metodología para adelantar el volumen de geología y el plan de campo, así como el cronograma para adelantar los estudios.

- Estudio de antecedentes: Recopilación, revisión y análisis de la información disponible del área de estudio, como la cartografía temática (SGC-geología y geomorfología regional), factores de riesgo sísmico y volcánico (SCG) y de procesos de remoción en masa (SIMMA-SGC, UNGRD, CDGRD), y modelo hidrogeológico (SGC); fotografías aéreas y cartografía publicada por el IGAC, especialmente los planos 1:10.000, los cuales se encuentran en diferentes años; imágenes disponibles, estudios de la CAR, la Gobernación de Cundinamarca, el INVIAS, y del municipio de Quipile. La información y los resultados se plasmarán en el respectivo capítulo del informe de geología. La información será recopilada y analizada por el geólogo de apoyo, con supervisión del geólogo principal.

- Modelos geológico y geomorfológico regional de los corredores viales, a partir de la cartografía temática publicada por el SGC. Los mapas y memoria serán elaborados por el geólogo de apoyo.

- Estudios de campo: Reconocimiento de los corredores viales, adelantada por el geólogo principal. En el siguiente numeral se detallarán las actividades a desarrollar.

- Fotointerpretación y análisis de imágenes: A partir del reconocimiento de las vías y laderas aledañas, con la definición de sitios críticos o zonas potencialmente inestables, así como ponteaderos y sitios de obras especiales, se adelantará la fotointerpretación sobre los pares aerofotográficos disponibles para

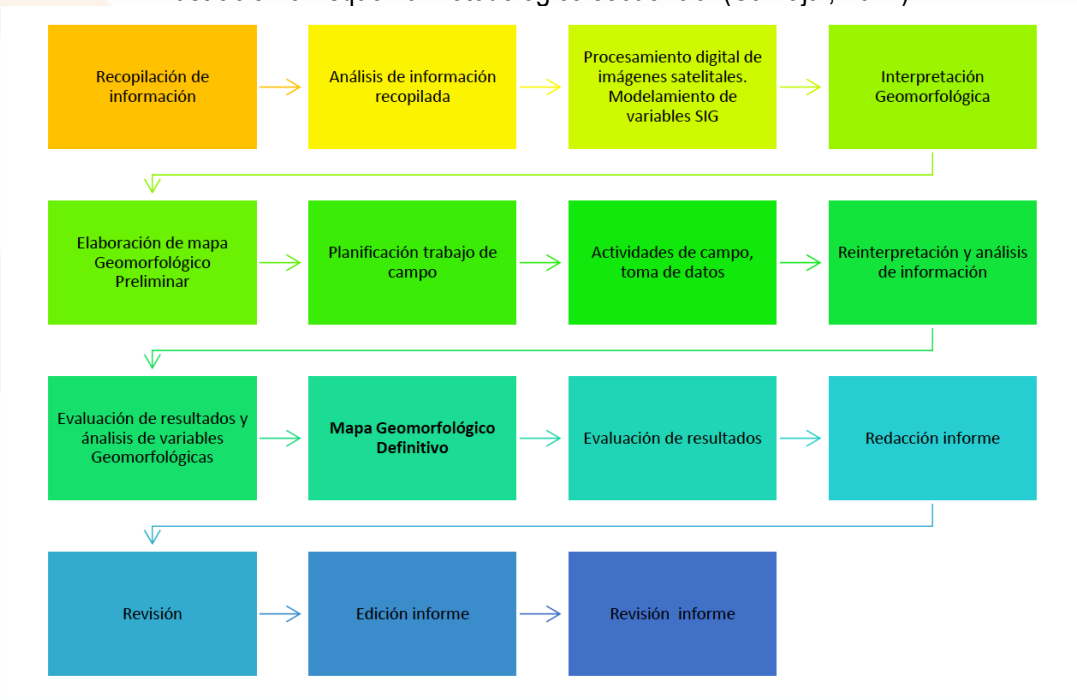
el área de estudio, en el IGAC, así como imágenes de sensores remotos, de tal forma que se caractericen, en el contexto regional, las observaciones del reconocimiento de campo. Desde este análisis se delimitan los CG, extendiendo el corredor vial en la franja de vertiente con influencia en la estabilidad tanto de la banca, como en sitios especiales, como puentes importantes, sitios críticos y zonas potencialmente inestables. Eventualmente se puede plantear la pertinencia de adelantar análisis multitemporal en zonas donde se aprecie recurrencia histórica de procesos de inestabilidad, así como ponteaderos importantes. Esta actividad está sujeto a la disponibilidad, en el registro histórico, de imágenes con adecuada escala y/o resolución, cartografía, publicaciones y la evaluación elaborada por los presentes estudios. La fotointerpretación será elaborada por el geólogo principal.

- Elaboración del informe y cartografía temática: Se plasma en el informe final los resultados de las fases previas del estudio, y el análisis de toda la información, construyendo el capítulo de geología para ingeniería, en el que se diferenciaran los sectores con comportamiento geotécnico homogéneo, la caracterización de los sitios críticos y potencialmente inestables, el detalle en ponteaderos, definiendo amenazas por susceptibilidad en las márgenes y cauces, y caracterización de las fuentes de materiales identificadas en la zona, así como sitios adecuados para la disposición de materiales sobrantes (ZODMES). El informe será elaborado por los dos geólogos.

- Elaboración de los planos de unidades de geología para ingeniería (UGI) y de elementos geomorfológicos (EGMF) a la escala del levantamiento topográfico de los CV (1:2.000), con la definición de unidades de materiales superficiales: roca y suelo, elementos geomorfológicos y los rasgos morfodinámicos diferenciados, tanto en campo como en los análisis de imágenes y planos (activos, recientes, antiguos, relictos), definiendo zonas de comportamiento geotécnico homogéneo, con secciones transversales representativas, especialmente en los sitios inestables y potencialmente inestables determinados, así como ponteaderos. Se plantea el modelo hidrogeológico conceptual de los corredores viales analizados.

- Para la elaboración de la cartografía geomorfológica se seguirá el el esquema metodológico planteado por Carvajal, 2012, el cual compendia los esquemas seguidos en Colombia. en la Ilustración 3 se esquematiza secuencialmente esta metodología:

Ilustración 3 Esquema metodológico secuencial (Carvajal, 2012).




Fuente: Adaptado de Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia (Carvajal, 2012) en Consorcio Río Garagoa, 2016.

- La cartografía temática se digitaliza sobre la base topográfica detallada levantada para la vía, adelantada con el sistema de coordenadas oficial MAGNA-SIRGAS, que incluye el uso de una proyección pertinente, como la Gauss-Krüger. La plantilla de los diferentes planos, estará acorde con los lineamientos establecidos para la topografía en los términos de referencia para los estudios, con leyendas particulares claras, acordes con los lineamientos de las guías metodológicas del SGC. La cartografía es elaborada por el geólogo principal, digitalizada por el geólogo de apoyo.

- Finalmente se redacta el capítulo de conclusiones y recomendaciones, plasmando las características geológicas y geomorfológicas del corredor de estudio, así como los comportamientos geotécnicos previsibles y las recomendaciones para el manejo de taludes y sitios de obras especiales.

## 4.2 PLAN DE CAMPO

Se realiza el reconocimiento de los corredores viales, identificando las rocas y suelos aflorantes, rasgos estructurales, como fallas, buzamiento y diaclasas, el relieve y los procesos morfodinámicos que lo modelan actualmente, así como eventos antiguos y potenciales. Se definen los sitios inestables y potencialmente inestables, las características en las márgenes y cauces aferentes en los sitios de ponteadero, y de las obras especiales que se identifiquen.

La actividad se adelanta por parte del geólogo principal, en vehículo con conductor. Los equipos utilizados son:

- Martillo de geología
- Brújula
- GPS

- Cámara fotográfica
- Libreta de campo y formatos de levantamiento de información
- Tabla Munsell digital (pdf)

En el recorrido de los corredores se adelantan estaciones de campo, en puntos de buenas exposiciones de material y zonas de interés, como sitios inestables y potencialmente inestables, ponteaderos y sitios de obras especiales, describiendo las características geológicas identificables como la estratigrafía, rasgos estructurales (buzamiento, diaclasas – con levantamiento de estación estructural si lo amerita), geomorfología: relieve y morfodinámica, georreferenciando las estaciones de campo y toma del registro fotográfico (eventualmente con toma de imágenes con dron en sitios críticos). Se definen las zonas de comportamiento homogéneo para geotecnia e ingeniería, valorando en el terreno la estabilidad de taludes en corte y relleno proyectados, así como las características y prestaciones de las fuentes de materiales disponibles en la zona de influencia del proyecto. Se identifican sitios para ZODMES, describiéndolos, georreferenciándolos y toma de registro fotográfico.

Para los levantamientos en macizos rocosos se tiene como guía los procedimientos de la ISRM, 1981, adelantando levantamientos de discontinuidades en zonas donde los macizos rocosos evidencien falla por la interacción de planos, en zonas donde se prevean cortes.

Para el levantamiento de los perfiles de rocas y suelo, se diferencia como primera medida el substrato, que puede ser roca o depósito, definiendo el perfil residual que se pueda desarrollar, según sistemas de clasificación convencionales, como Dearman, Deere y Patton o ISRM (ver Ilustración 4 e Ilustración 5).

Ilustración 4 Comparación de perfiles de meteorización del macizo rocoso según Deere y Patton (1971), Dearman (1974, 1991), Forero et. al. (1999). Tomado de SGC S.G., 2017.

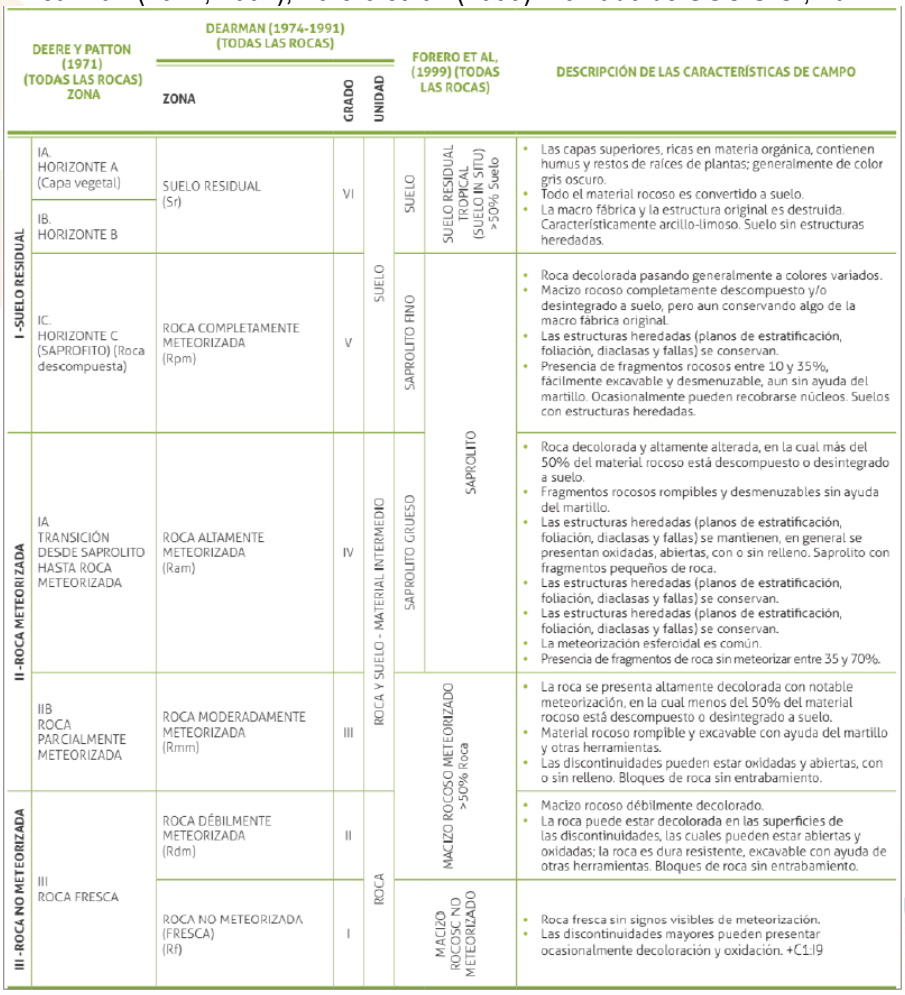



Ilustración 5 Perfil de meteorización según ISRM, 1981. Tomado de U. de Oviedo, 2007.

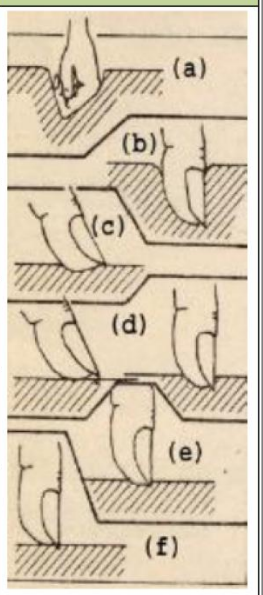
| Clase | Término | Descripción |
|---|---|---|
| I | Fresco | No aparecen signos visibles de meteorización, tal vez ligera decoloración en las grandes superficies de discontinuidad. |
| II | Ligeramente meteorizado | Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización. La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. |
| III | Moderadamente meteorizado | Menos de la mitad del macizo aparece descompuesto o trasformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece de forma continua o como núcleos aislados. |
| IV | Altamente meteorizado | Más de la mitad del macizo aparece descompuesto o trasformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece de forma discontinua o como núcleos aislados. |
| V | Completamente meteorizado | Todo el macizo aparece descompuesto o trasformado en suelo. Se conserva la estructura original del macizo rocoso. |
| VI | Suelo residual | Todo el material rocoso se ha trasformado en suelo. Se ha destruido la estructura del macizo rocoso y la fábrica del material. Existe cambio de volumen pero el suelo no se ha transportado significativamente. |

Para determinar la dureza relativa de rocas y suelos, se emplean estimados según la resistencia a herramientas habituales en campo, como la navaja y el martillo, para rocas (Ilustración 6), e índices de campo para la resistencia de suelos (Ilustración 7).

Ilustración 6 Dureza de la roca frente a la navaja y el martillo geológico. Fuente: Adaptado de US. Bureau of Reclamation (1990), en "Engineering Geology Field Manual".

| Grado | Descripción | Identificación de campo | Valor aproximado de la resistencia a compresión simple MPa |
|---|---|---|---|
| R1 | Roca muy débil | Deleznable bajo fuertes golpes con la parte puntiaguda del martillo geológico, puede desconcharse con una navaja | 1.0 – 5.0 |
| R2 | Roca débil | Puede desconcharse con dificultad con una navaja; pueden hacerse marcas poco profundas golpeando fuertemente la roca con la punta del martillo. | 5.0 – 25 |
| R3 | Roca media | No se pude rayar o desconchar con una navaja; las muestras se pueden romper con un golpe firme con el martillo. | 25 – 50 |
| R4 | Roca dura | Se necesita más de un golpe con el martillo geológico para romper la muestra. | 50 – 100 |
| R5 | Roca muy dura | Se necesitan muchos golpes con el martillo geológico para romper la muestra. | 100 – 250 |
| R6 | Roca extremadamente dura | Solo se pueden romper esquirlas de la muestra con el matillo geológico. | > 250 |

Ilustración 7 Resistencia del suelo a partir de índices de campo (ISRM). Fuente: Modificado de British Standard Institution (1999).

| Clase | Descripción | Identificación de campo | ≈ Resistencia a la compresión (MPa) | Esquema |
|---|---|---|---|---|
| S1 | Suelo muy blando (a). | El puño penetra fácilmente varios centímetros. | < 0,0025 |  |
| S2 | Suelo blando (b). | El dedo penetra fácilmente varios centímetros. | 0,0025 – 0,05 | |
| S3 | Suelo firme (c). | Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo. | 0,05 – 0,10 | |
| S4 | Suelo rígido (d). | Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo. | 0,10 – 0,25 | |
| S5 | Suelo muy rígido (e). | Con cierta presión puede marcarse con la uña. | 0,25 – 0,50 | |
| S6 | Suelo duro (f). | Se marca con dificultad al presionar con la uña. | > 0,50 | |

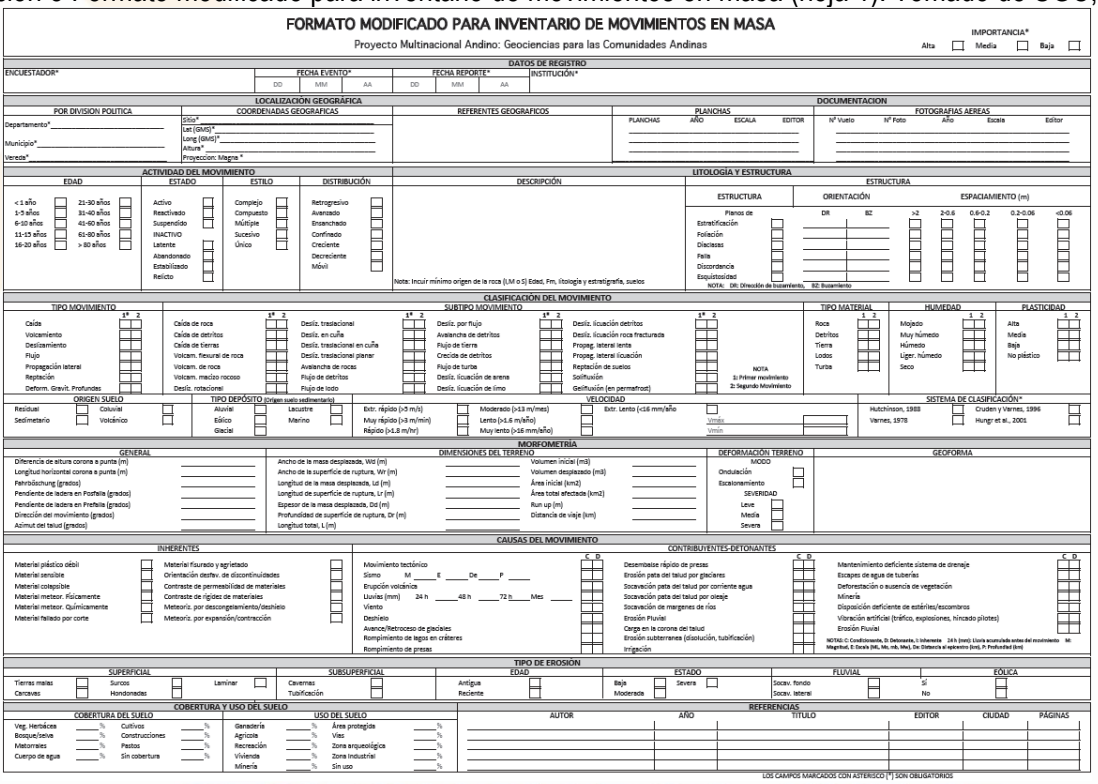


Para la determinación del color de suelos y roca se emplea una tabla Munsell digital (pdf).

También se identifican, georreferencian y describen puntos de interés hidrogeológico, como manantiales, pozos y aljibes, en la zona de influencia de los corredores viales.

Para el levantamiento de los procesos morfodinámicos identificados en el terreno, se emplean los formatos recomendados en los anexos de la Guía Metodológica para AVR de movimientos en masa (SGC, 2017), los cuales se presentan en la Ilustración 8 e Ilustración 9.

Ilustración 8 Formato modificado para inventario de movimientos en masa (hoja 1). Tomado de SGC, 2017.



FORMATO MODIFICADO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas

IMPORTANCIA* Alta Media Baja

DATOS DE REGISTRO

ENCUESTADOR* | FECHA EVENTO* (DD MM AA) | FECHA REPORTE* (DD MM AA) | INSTITUCIÓN*

LOCALIZACION GEOGRAFICA

POR DIVISION POLITICA: Departamento* / Municipio* / Vereda*

COORDENADAS GEOGRAFICAS: Sitio* / Lat (GMS)* / Long (GMS)* / Altura* / Proyeccion: Magna *

REFERENTES GEOGRAFICOS

PLANCHAS: PLANCHAS | AÑO | ESCALA | EDITOR

DOCUMENTACION: FOTOGRAFIAS AEREAS — Nº Vuelo | Nº Foto | Año | Escala | Editor

ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO

EDAD: < 1 año; 1-5 años; 6-10 años; 11-15 años; 16-20 años; 21-30 años; 31-40 años; 41-60 años; 61-90 años; > 80 años

ESTADO: Activo; Reactivado; Suspendido; INACTIVO; Latente; Abandonado; Estabilizado; Relicto

ESTILO: Complejo; Compuesto; Multiple; Sucesivo; Único

DISTRIBUCIÓN: Retrogresivo; Avanzado; Ensanchado; Confinado; Creciente; Decreciente; Móvil

DESCRIPCIÓN

Nota: Incuir mínimo origen de la roca (LM o S) Edad, Fm, litología y estratigrafía, suelos

LITOLOGÍA Y ESTRUCTURA

ESTRUCTURA: Planos de Estratificación; Foliación; Diaclasas; Falla; Discordancia; Esquistosidad

ORIENTACIÓN: DR; BZ

ESPACIAMIENTO (m): >2; 2-0.6; 0.6-0.2; 0.2-0.06; <0.06

NOTA: DR: Dirección de buzamiento, BZ: Buzamiento

CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO

TIPO MOVIMIENTO (1º 2): Caída; Volcamiento; Deslizamiento; Flujo; Propagación lateral; Reptación; Deform. Gravit. Profundas

SUBTIPO MOVIMIENTO (1º 2): Caída de roca; Caída de detritos; Caída de tierras; Volcam. flexural de roca; Volcam. de rocas; Volcam. macizo rocoso; Desliz. rotacional; Desliz. traslacional; Desliz. en cuña; Desliz. traslacional en cuña; Desliz. traslacional planar; Avalancha de rocas; Flujo de detritos; Flujo de lodo; Desliz. por flujo; Avalancha de detritos; Flujo de tierra; Crecida de detritos; Flujo de turba; Desliz. licuación de arena; Desliz. licuación de limo; Desliz. licuación detritos; Desliz. licuación roca fracturada; Propag. lateral lenta; Propag. lateral licuación; Reptación de suelos; Solifluxión; Gelifluxión (en permafrost)

NOTA 1: Primer movimiento 2: Segundo Movimiento

TIPO MATERIAL (1 2): Roca; Detritos; Tierra; Lodos; Turba

HUMEDAD (1 2): Mojado; Muy húmedo; Húmedo; Líger. húmedo; Seco

PLASTICIDAD (1 2): Alta; Media; Baja; No plástico

ORIGEN SUELO: Residual; Sedimentario; Coluvial; Volcánico

TIPO DEPÓSITO (Origen suelo sedimentario): Aluvial; Eólico; Glacial; Lacustre; Marino

VELOCIDAD: Extr. rápido (>5 m/s); Muy rápido (>3 m/min); Rápido (>1.8 m/hr); Moderado (>13 m/mes); Lento (>1.6 m/año); Muy lento (>16 mm/año); Extr. Lento (<16 mm/año); Vmáx; Vmín

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN*: Hutchinson, 1988; Varnes, 1978; Cruden y Varnes, 1996; Hungr et al., 2001

MORFOMETRÍA

GENERAL: Diferencia de altura corona a punta (m); Longitud horizontal corona a punta (m); Fahrböschung (grados); Pendiente de ladera en Posfalla (grados); Pendiente de ladera en Prefalla (grados); Dirección del movimiento (grados); Azimut del talud (grados)

DIMENSIONES DEL TERRENO: Ancho de la masa desplazada, Wd (m); Ancho de la superficie de ruptura, Wr (m); Longitud de la masa desplazada, Ld (m); Longitud de superficie de ruptura, Lr (m); Espesor de la masa desplazada, Dd (m); Profundidad de superficie de ruptura, Dr (m); Longitud total, L (m); Volumen inicial (m3); Volumen desplazado (m3); Área inicial (km2); Área total afectada (km2); Run up (m); Distancia de viaje (km)

DEFORMACIÓN TERRENO: MODO: Ondulación; Escalonamiento; SEVERIDAD: Leve; Media; Severa

GEOFORMA

CAUSAS DEL MOVIMIENTO

INHERENTES: Material plástico débil; Material sensible; Material colapsible; Material meteor. Físicamente; Material meteor. Químicamente; Material fallado por corte; Material fisurado y agrietado; Orientación desfav. de discontinuidades; Contraste de permeabilidad de materiales; Contraste de rigideces de materiales; Meteoriz. por descongelamiento/deshielo; Meteoriz. por expansión/contracción

CONTRIBUYENTES-DETONANTES (C D): Movimiento tectónico; Sismo M ___ fi ___ De ___ P ___; Erupción volcánica; Lluvias (mm) 24 h ___ 48 h ___ 72 h ___ Mes ___; Viento; Deshielo; Avance/Retroceso de glaciales; Rompimiento de lagos en cráteres; Rompimiento de presas; Desembalse rápido de presas; Erosión pata del talud por glaciares; Socavación pata del talud por corriente agua; Socavación pata del talud por oleaje; Socavación de margenes de ríos; Erosión Pluvial; Carga en la corona del talud; Erosión subterranea (disolución, tubificación); Irrigación; Mantenimiento deficiente sistema de dreraje; Escapes de agua de tuberías; Deforestación o ausencia de vegetación; Minería; Disposición deficiente de estériles/escombros; Vibración artificial (tráfico, explosiones, hincado pilotes); Erosión Fluvial

NOTAS: C: Condicionante, D: Detonante, I: Inherente 24 h (mm): Lluvia acumulada antes del movimiento M: Magnitud, E: Escala (ML, Ms, mb, Mw), Dc: Distancia al epicentro (km), P: Profundidad (km)

TIPO DE EROSION

SUPERFICIAL: Tierras malas; Carcavas; Surcos; Hondonadas; Laminar

SUBSUPERFICIAL: Cavernas; Tubificación

EDAD: Antigua; Reciente

ESTADO: Baja; Moderada; Severa

FLUVIAL: Socav. fondo; Socav. lateral

EÓLICA: Sí; No

COBERTURA Y USO DEL SUELO

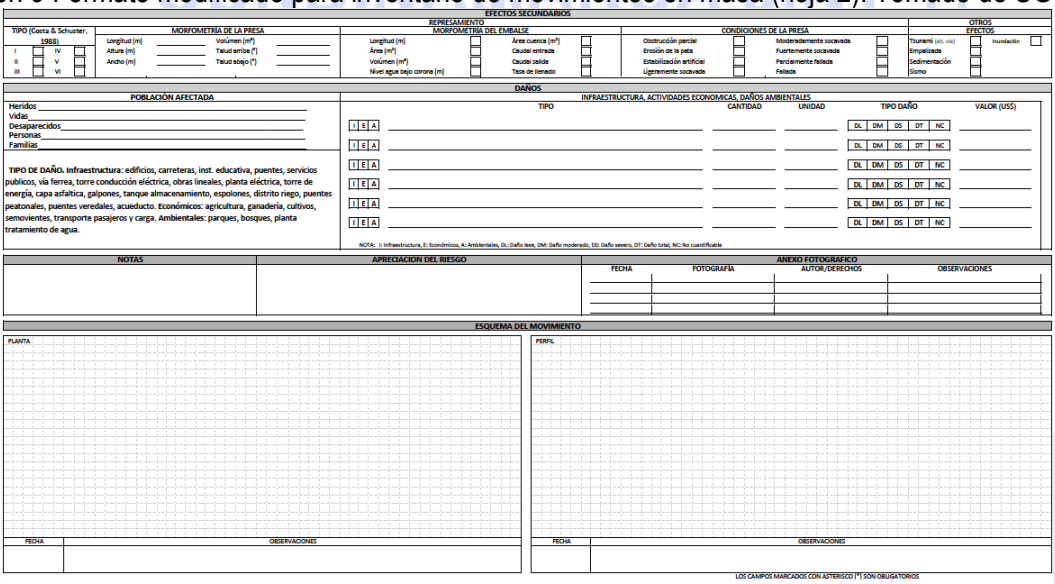
COBERTURA DEL SUELO: Veg. Herbácea ___ %; Bosque/selva ___ %; Matorrales ___ %; Cuerpo de agua ___ %; Cultivos ___ %; Construcciones ___ %; Pastos ___ %; Sin cobertura ___ %

USO DEL SUELO: Ganadería ___ %; Agrícola ___ %; Recreación ___ %; Vivienda ___ %; Minería ___ %; Área protegida ___ %; Vías ___ %; Zona arqueológica ___ %; Zona industrial ___ %; Sin uso ___ %

REFERENCIAS: AUTOR | AÑO | TITULO | EDITOR | CIUDAD | PAGINAS

LOS CAMPOS MARCADOS CON ASTERISCO (*) SON OBLIGATORIOS

Ilustración 9 Formato modificado para inventario de movimientos en masa (hoja 2). Tomado de SGC, 2017.



EFECTOS SECUNDARIOS

REPRESAMIENTO — TIPO (Costa & Schuster, 1988): I, II, III, IV, V, VI

MORFOMETRÍA DE LA PRESA: Longitud (m); Altura (m); Ancho (m); Volúmen (m³); Talud arriba (°); Talud abajo (°)

MORFOMETRÍA DEL EMBALSE: Longitud (m); Área (m²); Volúmen (m³); Nivel agua bajo corona (m); Área cuenca (m²); Caudal entrada; Caudal salida; Tasa de llenado

CONDICIONES DE LA PRESA: Obstrucción parcial; Erosión de la pata; Estabilización artificial; Ligeramente socavada; Moderadamente socavada; Fuertemente socavada; Parcialmente fallada; Fallada

OTROS EFECTOS: Tsunami (alt. ola); Inundación; Empalizada; Sedimentación; Sismo

DAÑOS

POBLACIÓN AFECTADA: Heridos; Vidas; Desaparecidos; Personas; Familias

TIPO DE DAÑO. Infraestructura: edificios, carreteras, inst. educativa, puentes, servicios publicos, vía ferrea, torre conducción eléctrica, obras lineales, planta eléctrica, torre de energía, capa asfaltica, galpones, tanque almacenamiento, espolones, distrito riego, puentes peatonales, puentes veredales, acueducto. Económicos: agricultura, ganadería, cultivos, semovientes, transporte pasajeros y carga. Ambientales: parques, bosques, planta tratamiento de agua.

INFRAESTRUCTURA, ACTIVIDADES ECONOMICAS, DAÑOS AMBIENTALES: TIPO | CANTIDAD | UNIDAD | TIPO DAÑO (DL DM DS DT NC) | VALOR (US$); (I E A)

NOTA: I: Infraestructura, E: Económicos, A: Ambientales, DL: Daño leve, DM: Daño moderado, DS: Daño severo, DT: Daño total, NC: No cuantificable

NOTAS | APRECIACION DEL RIESGO

ANEXO FOTOGRAFICO: FECHA | FOTOGRAFÍA | AUTOR/DERECHOS | OBSERVACIONES

ESQUEMA DEL MOVIMIENTO

PLANTA — FECHA | OBSERVACIONES

PERFIL — FECHA | OBSERVACIONES

LOS CAMPOS MARCADOS CON ASTERISCO (*) SON OBLIGATORIOS

Los procesos morfodinámicos reconocidos en campo son cartografiados en los mapas de Elementos Geomorfológicos, así como los rasgos y procesos identificados en el análisis de imágenes.

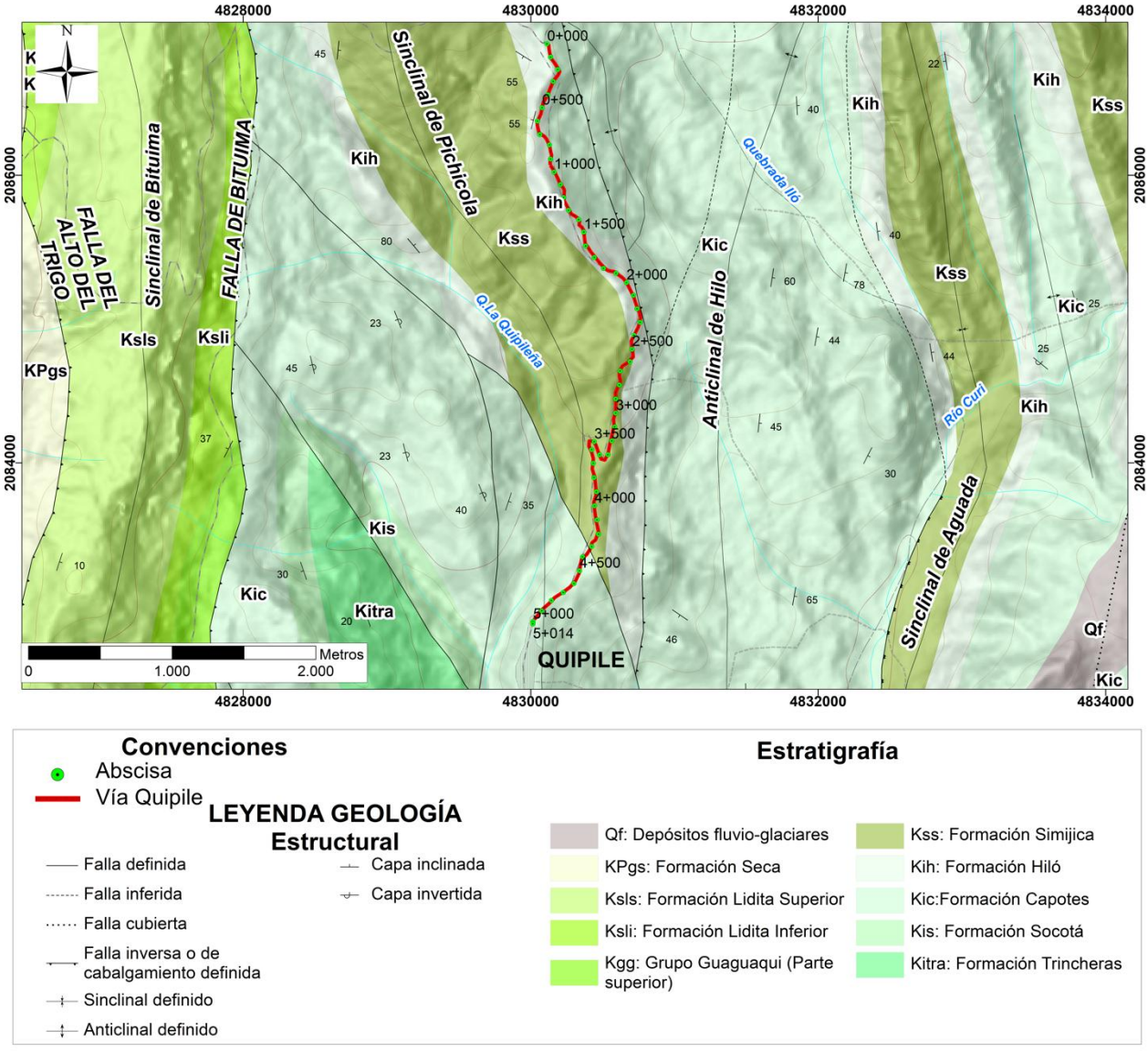
# 5 MARCO REGIONAL

A partir del análisis de la información existente para el área de estudio, fundamentalmente la cartografía geológica y geomorfológica publicada por el SGC, se presenta la caracterización regional del corredor vial, incluidas en la plancha 227 – La Mesa.

## 5.1 GEOLOGÍA REGIONAL

La vía se desarrolla entre ejes de estructuras anticlinales y sinclinales contiguas, separadas por el trazo de una falla de cabalgamiento, con vergencia al occidente (Ilustración 10). El tren estructural dominante es sur-norte, con algunos trazos de falla y flexiones de pliegues en dirección noroeste.

Ilustración 10 Geología regional tramo Quipile – Tabacal




Fuente: Elaboración propia sobre sector del mapa geológico de la plancha 227-La Mesa (INGEOMINAS, 1999)

### 5.1.1 ESTRATIGRAFÍA

La secuencia de sedimentitas que conforma la vertiente sobre la que se desarrolla la vía, conformada predominantemente por lutitas, se sitúan en la contrapendiente estructural del flanco occidental de un anticlinal, con un trazo de falla de cabalgamiento sur-norte hacia la parte media-alta de la ladera inferior. La cartografía de la plancha 227 señala la banca entre las Formaciones: Capotes (Kic), Hiló (Kih) y Simimjaca (Kss), en orden estratigráfico de más antigua a más reciente. La Fm. Hiló se describe como secuencias de limolitas silíceas y lodolitas calcáreas, a veces silíceas, con estratificación delgada a media, laminación plano paralelo y esporadicas capas de micrita. Infrayacíendola tanto estratigráficamente como en la vertiente, se presenta la Fm. Capotes, constituida por lodolitas calcáreas y arcillolitas negras con algunos niveles de concreciones; estratigráficamente por encima de Hiló, y hacia la parte alta, al occidente de la banca, se aprecia la Fm. Simijaca, la cual es descrita como series de arcillolitas y limolitas negras a gris oscuro, con esporádicas intercalaciones de arenita de cuarzo de grano fino.

De acuerdo con la sucesión litológica descrita, la Fm. Capotes genera formas bajas, asociadas con rocas blandas, la Fm. Hiló contrasta por sus relieves fuertes, asociados con rocas más duras, mientras la Fm. Simijaca se caracteriza por relieves suaves, correspondiente con el predominio de rocas blandas.

### 5.1.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La vía desde Tabacal hasta Quipile se ubica sobre un lomo con control estructural, elongado de sur a norte, según el tren estructural regional en la zona, entre ramales de falla de la Falla Bituima, cuyo trazo principal se ubica 3 km al occidente de la vía. Esta falla es inversa, con vergencia al occidente, conformando bloques fallados entre la secuencia cretácea del Grupo Villeta, al oriente del trazo de esta falla.

Entre los trazos de fallas satélite de la Falla Bituima, se intercalan plegamientos, como el sinclinal de Pichicola, al occidente de la vía, y el anticlinal de Hiló, al oriente, interrumpidos en la prolongación de sus ejes estructurales por trazos de falla.

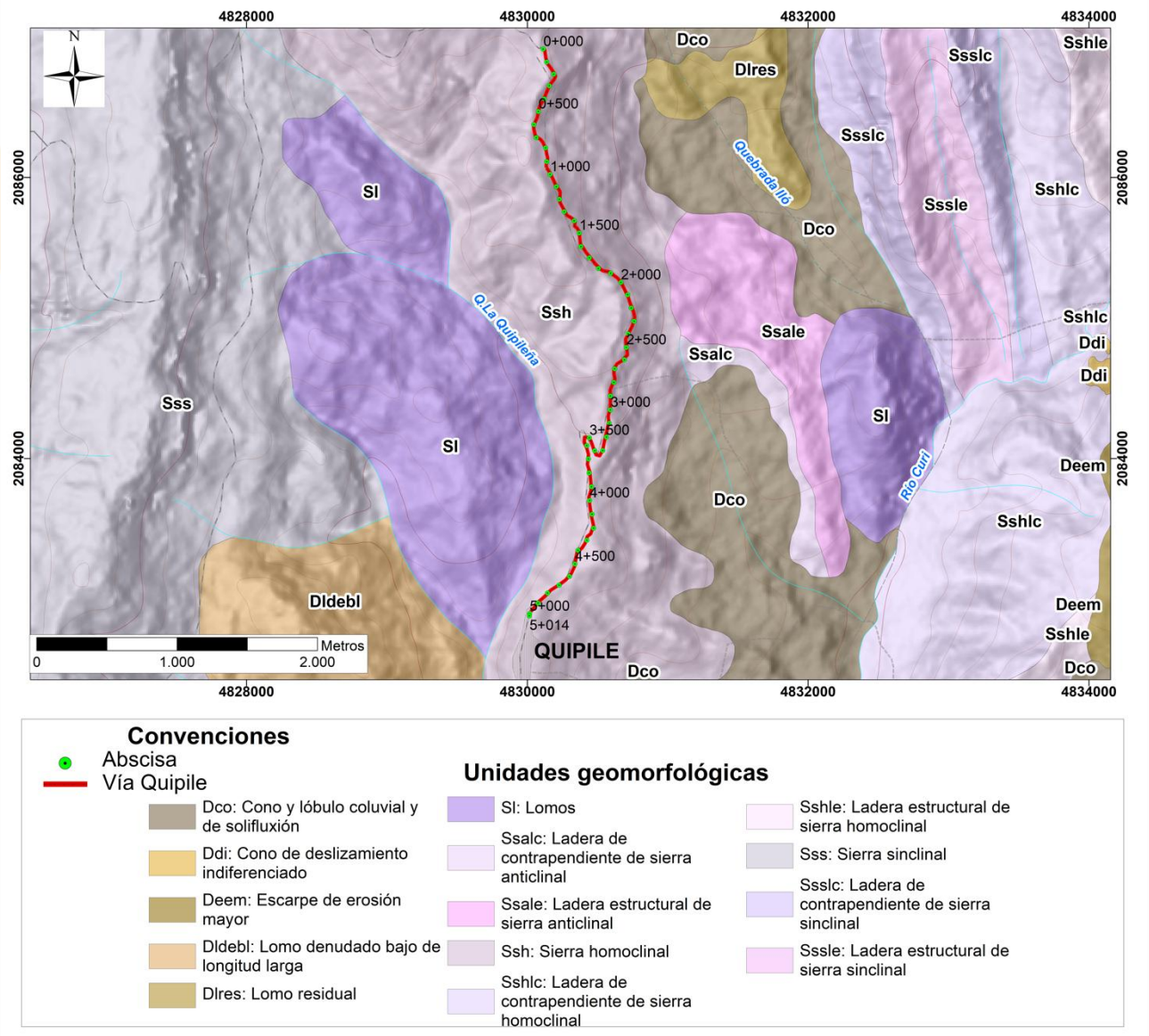
La Caracterización de fallas activas Colombia (INGEOMINAS, 2001), clasifica la Falla de Bituima (norte y sur), como potencialmente activa, de acuerdo con rasgos geomorfológicos evaluados para la clasificación, como silletas de falla, trincheras y contraescarpes, si bien la calidad de los datos se cataloga como deficiente. En su caracterización de actividad neotectónica se le asigna tasa de actividad baja: 0,01-0,1 mm/año, magnitud probable: 6,2 e intervalo de recurrencia de entre 2.000 a 30.000 años.

## 5.2 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

La condición estructural dominante en la vertiente sobre la que se desarrolla el corredor vial, se refleja en la cartografía regional de la plancha 227-La Mesa (SGC-UPTC, 2018), como se aprecia en la Ilustración 11. De acuerdo con este mapa, la totalidad de la vertiente sobre la que se desarrolla la vía, corresponde con la unidad morfogenética de sierra homoclinal (Ssh), descrita como: "*Prominencias topográficas ligeramente simétricas, elongadas y de morfología montañosa y de cimas agudas. Está definida por una secuencia de estratos o capas apilados e inclinados en una misma dirección, con laderas de longitud larga a extremadamente larga con valores que superan los 2.300 m aproximadamente, con pendientes muy abruptas a escarpadas con rangos que oscilan*

*entre los 16° y 40°. Se presentan procesos erosivos en alto grado, lo que contribuye al desarrollo de procesos de inestabilidad. Desarrollada sobre rocas de las formaciones cretácicas:* Capotes (Kic), Hiló (Kih), Simijaca (Kss)*, Conejo (Kscn), Grupo Guadalupe, Formación Arenisca Dura (Ksgd), formación Plaeners (Ksgpl), Labor y Tierna (Ksglt), y Seca (KPgs). Se ubican de manera dispersa sobre los municipios de* Quipile*, Bituima, Tabio, Chía, la Mesa".*

Ilustración 11 Geomorfología regional tramo Quipile – Tabacal



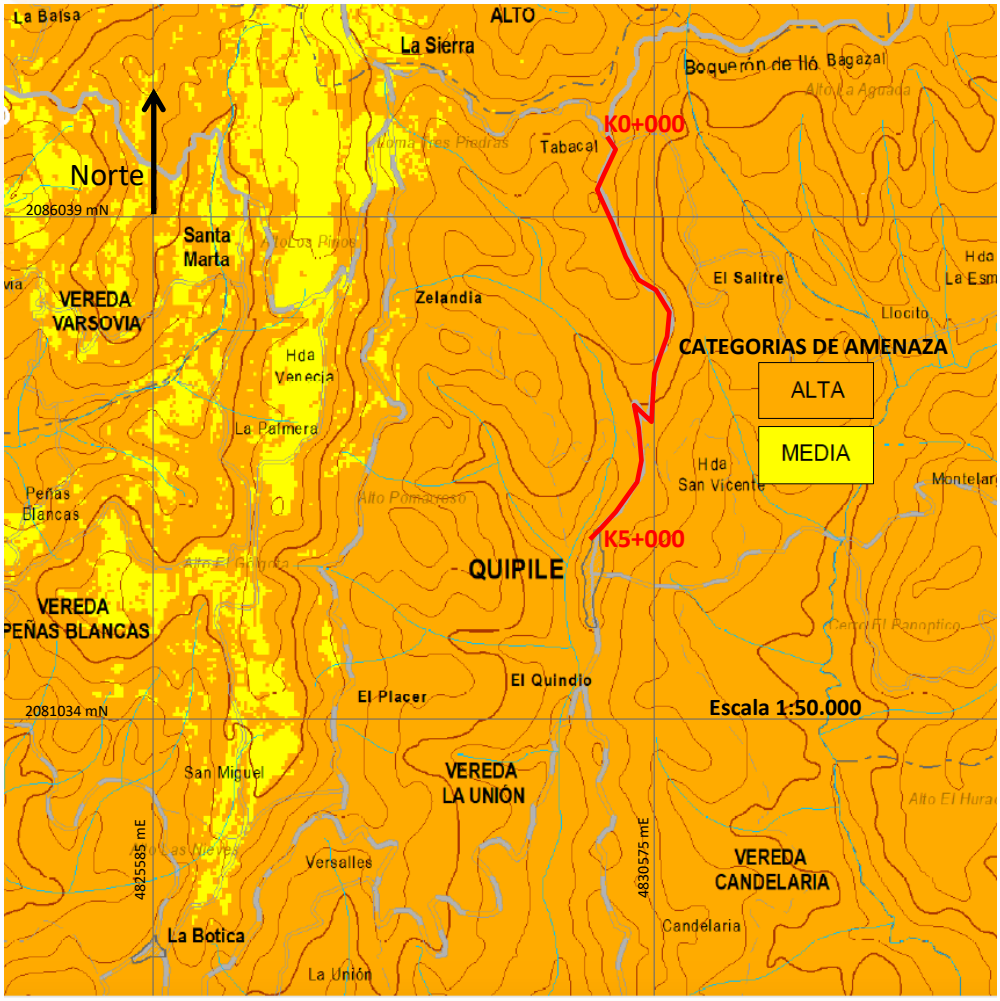

Fuente: Elaboración propia sobre sector del mapa geomorfológico de la plancha 227-La Mesa (SGC-UPTC, 2018)

## 5.3 AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

El mapa de amenaza por procesos de remoción en masa de la plancha 227-Bogotá noroeste (Ilustración 12), del SGC, cataloga la amenaza en el corredor vial, así como sobre una amplia zona de la cordillera Oriental en este sector, como alta. El inventario de eventos de procesos de remoción en masa en el catálogo del SIMMA, concentra eventos de tipo deslizamiento en la zona próxima al casco urbano de Quipile (Ilustración 13), toda

vez que estos reportes son de tipo estadístico, fundamentalmente reconocidos por su afectación a pobladores, más no a la infraestructura, a no ser que la importancia, por ejemplo de vías, sea alta.

Ilustración 12 Zonificación de amenaza por movimientos en masa (en línea roja la vía Tabacal-Quipile)




Fuente: Elaboración propia sobre sector del mapa de amenaza por remoción en masa de la plancha 227-Bogotá noroeste (SGC-IDEAM, 2016)

A continuación se presenta la descripción de estas categorías de amenaza, extractada del plano de amenaza de la plancha 227.

- **AMENAZA ALTA:**

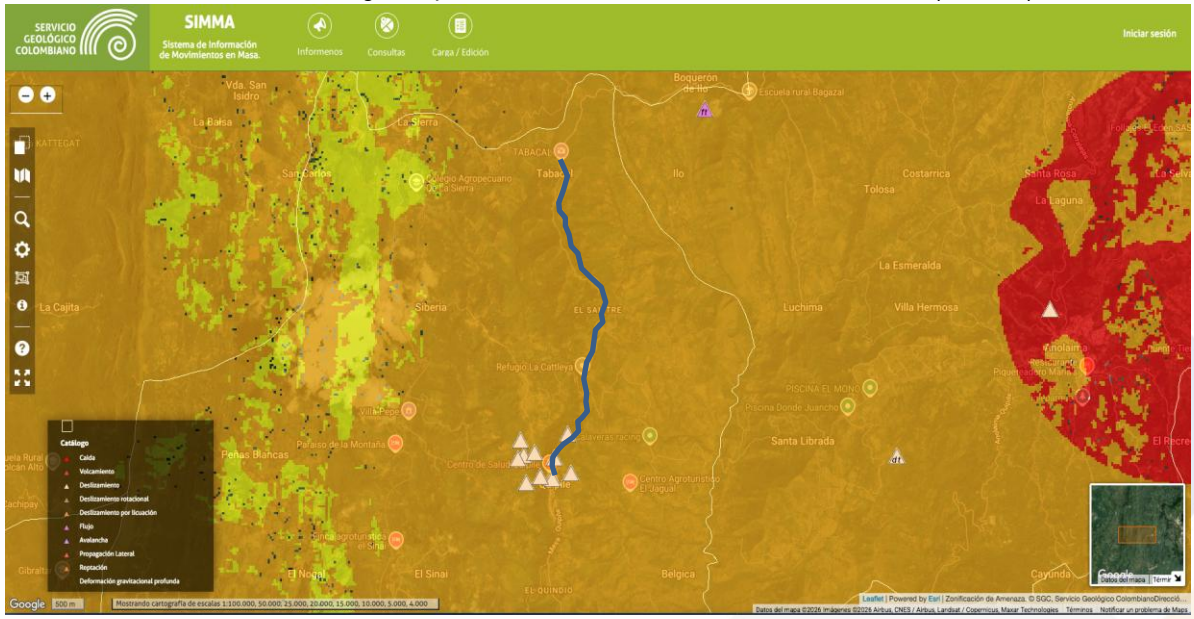
*"En estas áreas se presentan morfologías, alomadas, montañosas, con predominio de laderas con pendientes que están entre 19° - 40° pero pueden superar más de 55° en algunos sectores, compuestas por rocas sedimentarias, principalmente limolitas, arcillolitas, liditas y areniscas, que pueden presentar altos grados de fracturamiento y meteoriz ación por la acción de fallas regionales, disminuyendo su resistencia, también se encuentran depósitos no consolidados de coluvión y fluvioglaciares altamente susceptibles a desarrollar procesos erosivos y reactivaciones de movimientos en masa. A estas condiciones se suman valores de precipitación máxima diaria de 150 mm y precipitación media anual que puede alcanz ar los 2000 mm/año, mientras que el detonante sismo, presenta altos valores de aceleración máxima horiz ontal a nivel de roca entre 200 - 300 cm/s². Dadas estas características geoambientales bajo la fuerte influencia de la lluvia y la sismicidad, las áreas clasificadas con esta categoría de amenaza tienen altas posibilidades de que se desarrollen*

*movimientos en masa de tipo desliz amientos traslacionales, flujos y en sectores puntuales procesos tipo caída, que eventualmente pueden afectar vías interveredales e intermunicipales, así como centros poblados e incluso a algunas cabeceras municipales. En esta categoría de amenaza se identificaron 41 registros de movimientos en masa tipo catálogo sin clasificación definida, los cuales se localiz an principalmente en los municipios de Anolaima, Bituima,* ***Quipile****, Vianí, Chaguaní, Facatativá, La Mesa y San Francisco, los cuales en muchos casos afectan vías intermunicipales e incluso zonas habitadas del área rural. En las áreas mencionadas se recomienda intensificar las medidas de prevención en cuanto al uso adecuado del suelo, preservación de la cobertura vegetal y manejo responsable de sistemas de drenaje. También se recomienda establecer buenas prácticas de uso y manejo del suelo, además de generar políticas ambientales y de reordenamiento territorial orientadas a restablecer el equilibrio de las z onas inestables, especialmente en aquellas zonas en donde han desaparecido las coberturas."*

- **AMENAZA MEDIA:**

*"Las áreas en esta zona de amenaza se caracterizan por laderas con pendientes entre 11° - 19° pudiendo alcanzar en algunos casos los 40°, compuestas por depósitos de terrazas aluviales, así como rocas sedimentarias como areniscas, liditas y limolitas de diferentes formaciones Cretácicas, que conforman macizos rocosos relativamente fracturados, debido a la acción de algunas fallas y pliegues tanto regionales como locales, dando lugar a geoformas del ambiente fluvial y estructural, con coberturas de pastos limpios, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales y en algunos casos bosque denso alto y herbaz al denso de tierra firme. El detonante climático se caraceriza por precipitaciones medias anuales entre los 500 mm/año hasta 2000 mm/año y valores de lluvia máxima diaria que predomina entre 50 mm - 100 mm. El detonante sismo por su parte, se caracteriza por valores de aceleración máxima horizontal a nivel de roca que van desde 100 cm/s² hasta 200 cm/s². Dadas algunas características intrínsecas del terreno sumado a la eventual acción de los detonantes en estas áreas, no se descarta la posibilidad de que se desarrollen movimientos en masa, principalmente de tipo deslizamientos y flujos, con algunas z onas con posibilidad de reptación, por lo cual, se recomienda establecer buenas prácticas de uso y manejo del suelo, además de generar políticas ambientales y de reordenamiento territorial orientadas a restablecer el equilibrio de las zonas inestables. En esta categoría de amenaz a, se identificaron 3 registros de movimientos en masa tipo catálogo sin clasificación definida, los cuales se localiz an en los municipios de El Colegio y Tenjo."*

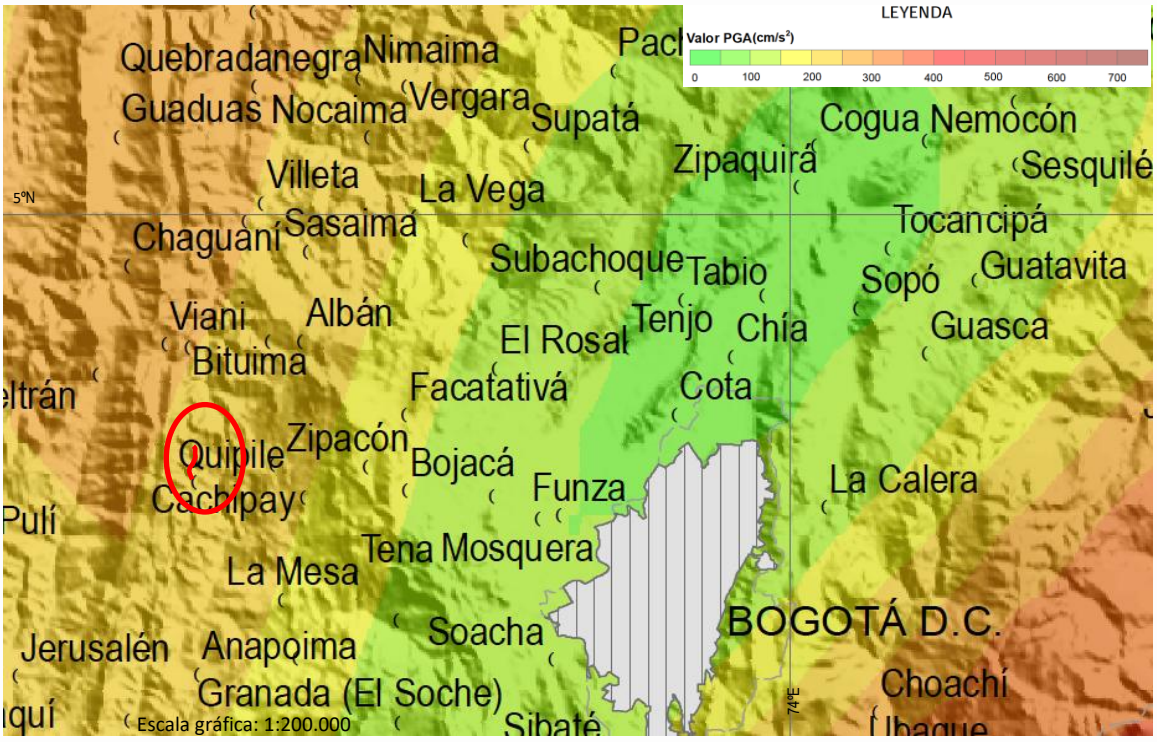
Ilustración 13 Catálogo de procesos de remoción en masa en el área (SIMMA)



## 5.4 AMENAZA SÍSMICA

El mapa de amenaza sísmica de Colombia (INGEOMINAS-UNC, 2010), señala los valores de PGA en la zona en el rango de 200-250 cm/s$^2$ (Ilustración 14). "*El mapa de amenaza sísmica representa un modelo probabilístico para el movimiento del terreno que podría esperarse por la ocurrencia de sismos en Colombia. El movimiento del terreno se calcula en términos de aceleración horizontal máxima en roca (PGA), y se estima para probabilidades del 2%, 10% o 50% de ser sobrepasado en un tiempo de 50 años, tiempo estimado de vida útil de una construcción corriente. Estas probabilidades se asocian con la frecuencia de ocurrencia (o periodo de retorno) de los sismos potencialmente destructores: de ocurrencia excepcional (periodo de retorno de 2475 años), frecuentes (periodo de retorno de 475 años) o muy frecuentes (periodo deretorno de 75 años)*". El mapa de amenaza presentado corresponde al perido de ocurrencia de sismos frecuentes: 475 años.

Ilustración 14 Mapa nacional de amenaza sísmica de Colombia (INGEOMINAS-UNC, 2010), señalando en rojo la vía Quipile - Tabacal



## 5.5 HIDROGEOLOGÍA CONCEPTUAL

Un modelo hidrogeológico conceptual se elabora a partir de las características fisiográficas, geológicas y climáticas de la región. En el mapa de unidades hidrogeológicas de la plancha 5-09, que hace parte del Atlas de aguas subterráneas de Colombia (INGEOMINAS, 2000), se señala el corredor vial de estudio (Ilustración 15), sobre acuíferos con muy baja productividad, correspondientes al basamento rocoso cretáceo (en color beige), que en la zona está constituido por la Formaciones Hiló, Simijaca y Capotes. Su capacidad para almacenar agua esta dada básicamente por el fracturamiento del macizo rocoso.

En el área de estudio no se distinguen manifestaciones que indiquen potencial hidrogeológico relevante. La diferenciación de unidades hidrogeológicas puede establecerse a partir de la permeabilidad relativa que las unidades litoestratigráficas diferenciadas ofrecen, según su comportamiento hidrogeológico.

- Acuífero: Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y permite que circule a través de ella con facilidad. Las arenas y gravas son materiales que conforman acuíferos, así como rocas compactas como los granitos, con fracturación alta.

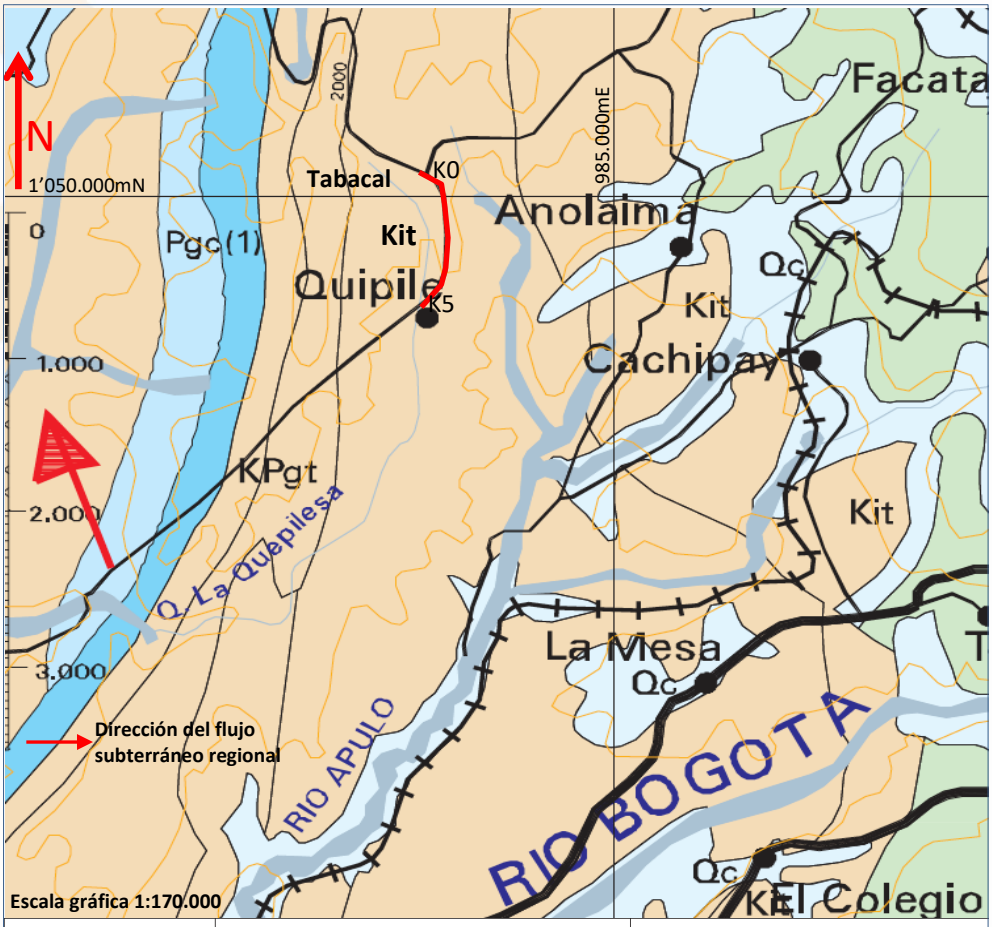
- Acuicludo: Unidad que puede contener agua en cantidad apreciable, aunque no permite que el agua circule a través de ésta. Los limos y arcillas son ejemplos de unidades acuicludas; 1m3 de arcilla contiene más agua que el mismo volumen de arenas, aunque está atrapada, por lo que no podrá salir por gravedad ni circular en el subsuelo ni en condiciones naturales ni hacia pozos que este bombeando.

- Acuitardo: Capa o estrato confinante que retarda pero no impide completamente el flujo de agua hacia o desde un acuífero vecino; un acuitardo no entrega rápidamente agua a los pozos o manantiales pero puede servir como unidad de almacenamiento del agua subterránea. Las arenas arcillosas, areniscas, rocas compactas con alteración o fractura ción moderada, son ejemplos de acuitardos.

- Acuífugo: Unidad que no contiene agua ya que no permite que circule a través de ella, como los macizos rocosos cristalinos sanos: granito, neises y esquistos inalterados y no fracturados.

Si bien el mapa de unidades hidrogeológicas de la Ilustración 15 considera todas las unidades diferenciadas como acuíferos, a partir de la permeabilidad relativa que las unidades litoestratigráficas diferenciadas ofrecen, estas se clasifican, según su comportamiento hidrogeológico, como acuitardos, lo cual quiere decir, que tienen capacidad para retener agua, aunque ofrecen dificultad para su movilización y liberación.

Ilustración 15 Detalle del mapa de unidades hidrogeológicas en el área de estudio (en rojo el eje vial)




| SISTEMA ACUÍFERO | CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUÍFEROS | UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS |
|---|---|---|
| **C. SEDIMENTOS Y ROCAS CON LIMITADOS RECURSOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS** | | |
| Acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio menor de 0.05 l/s/m | Complejo de rocas sedimentarias poco consolidadas a muy consolidadas de origen continental y marino, que en ocasiones almacenan aguas que requieren tratamiento para su uso | Ngc: Fms.Usme,Regaderada, Caja y San Fernando<br>Pgc:(2) Fms. Fusa,Bogotá,Barzalosa y Santa Teresa<br>Pgc: Fms.Concentración y Socha<br>KPgt: Fms.Guaduas y Seca<br>Ksm: Fms.Córdoba y Grupo Olini<br>Klt: Grupo Guaguaqui y Formaciones Limolitas de Pacho Simijaca,Chipaque,Simti,Une y Fómeque<br>Klm: Fms.La Palma,Trincheras,Capotes,Utica,Cumbre, Lutitas de Macanal y Paja |
| **A. SEDIMENTOS CON FLUJO ESENCIALMENTE INTERGRANULAR** | | |
| Acuíferos de muy alta productividad, capacidad específica promedio mayor de 5.0 l/s/m | Sistemas acuíferos continuos de extensión regional, conformada por rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente fluvial. Acuíferos de tipo confinados, con agua recomendable para cualquier uso | Pgc:(1) Fm.Hoyón |
| Acuíferos de alta productividad, capacidad específica entre 2.0 y 5.0 l/s/m | Sistemas acuíferos continuos de extensión regional, depositados en ambiente cuasi fluvial, conformados por sedimentos y rocas terciarias poco consolidados que desarrollan acuíferos de tipo libre a semiconfinados, almacenando aguas recomendables para cualquier uso | NgQp:(1) Fm.Abanico de Ibagué<br>Ngc:(1) Fm.Tilatá |
| Acuíferos de mediana productividad, capacidad específica entre 1.0 y 2.0 l/s/m | Sistemas acuíferos continuos de extensión regional, conformados por rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente fluvial. Acuíferos generalmente confinados con agua recondable para cualquier uso | Qc:(1) Depósito de terraza del Borde Llanero<br>NgQp:(2) Fm.Mesa<br>Ngc:(2) Grupo Honda<br>Pgc:(3) Fm.San Juan de Rioseco<br>Pgc:(4) Fm. Gualanday |
| Acuíferos de baja productividad, capacidad específica entre 0.05 y 1.0 l/s/m | Sistemas acuíferos discontinuos de extensión local, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente coluvial y fluvial que desarrollan acuíferos libres y localmmente confinados y por rocas terciarias de ambiente volcánico y fluvial con acuíferos de tipo. confinados. Almacenan agua recomendable para cualquier uso | Qc:(3) Cono aluvial de Lérida y del Sistema volcánico<br>Qc:(4) Depósito coluvial de la Cordillera Oriental<br>Qal:(1) Depósito aluvial de la Cordillera Central<br>Qal:(2) Depósito aluvial y terrazas del Río Magdalena<br>Qal:(3) Depósito aluvial de la Cordillera Oriental<br>Qal:(4) Depósito aluvial de los Valles de Ubaté y Chiquinquirá<br>Qal:(5) Depósito aluvial del Borde Llanero<br>Qtz:(1) Fm.Sabana<br>Qtz:(3) Depósitos piroclásticos de la Cordillera Central<br>NgQp:(4) Depósitos Indiferenciados del Borde Llanero<br>Ngc:(3) Fm.Picacho<br>Ngc:(4) Fm.La Corneta<br>Pgc:(2) Fm.Cacho<br>Pgt:(1) Fm.Diablo |

Fuente: Elaboración propia sobre mapa de unidades hidrogeológicas de la plancha 5-09 (INGEOMINAS, 2000)

# 6 RECONOCIMIENTO DE CAMPO

El recorrido de campo se adelantó desde Tabacal hacia Quipile, ubicando estaciones en los sitios en que se identifican afloramientos y/o en lugares en que se aprecia afectación de la banca y sus taludes. Se diferencian estaciones de tipos litológico-estructural y morfodinámico, describiendo las características pertinentes a cada una de estos: roca y suelos (pefil de meteorización) y rasgos estructurales y, los procesos morfodinámicos y el relieve característico, respectivamente.

El corredor vial se ubica hacia un lomo con control estructural, transitando entre sus vertientes, con sección en media ladera, con el talud interno -de corte- inicialmente al costado derecho, aproximadamente hasta el K3+300, donde la vía pasa de la vertiente oriental a la occidental del lomo. La sección de la vertiente tiene pendiente entre abrupta y muy abrupta (ver Ilustración 16), elongadas y con cimas angostas (Ilustración 17).

Ilustración 16 Rangos de pendientes, SGC, 2016

| INCLINACIÓN (°) | PROCESOS CARACTERÍSTICOS Y CONDICIONES DEL TERRENO |
|---|---|
| 0-2 | **Plano a casi plano.** No hay denudación apreciable. |
| 2-4 | **Suavemente inclinado.** Movimientos en masa de baja velocidad y procesos erosivos de diferentes tipos, especialmente bajo condiciones periglaciares (solifluxión) y fluviales (erosión laminar y en surcos). Susceptible a desarrollar procesos erosivos. |
| 4-8 | **Inclinado.** Condiciones similares a las anteriores. Alta susceptibilidad a desarrollar procesos erosivos. |
| 8-16 | **Moderadamente abrupto.** Movimientos en masa de todos los tipos, especialmente solifluxión periglaciar, reptación y ocasionalmente deslizamientos, también erosión de tipo laminar y en surcos. Susceptible a erosión y deslizamientos. |
| 16-35 | **Abrupto.** Procesos denudacionales intensos de diferentes tipos (erosión bajo cubierta forestal, reptación, deslizamientos). Alta propensión al desarrollo de procesos erosivos. |
| 35-55 | **Muy abrupto.** Afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, depósitos granulares caóticos de poco espesor. |
| > 55 | **Extremadamente abrupto.** Afloramientos rocosos. Procesos denudacionales muy fuertes, especialmente "denudación de escarpe"; susceptible a rodamiento de rocas. |

Fuente: tomado de van Zuidam (1986).

Fuente: Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000 (SGC, 2016)

Ilustración 17 Panorámica de la vertiente desde el K0 en Tabacal; vista hacia Quipile (Az 185)



- **Estación 1 (N2086877 - E4830131): K0+050 (desde la intersección Tabacal)**

**Estación morfodinámica:**

Se aprecia afectación del borde externo de la banca, por erosión concentrada hacia el extremo Tabacal de muro en gavión revestido (Ilustración 18). En el talud interno se observan lutitas gris parduzco (10YR 4/1), muy meterorizadas, intercaladas con limolitas grises (Ilustración 19). La litología expuesta se correlaciona con la Fm. Capotes (Kic), la cual constituye la parte media a baja de la ladera en el tramo inicial, entre el K0 al K2.

Ilustración 18 Vistas del proceso de erosión concentrada en borde externo de la banca




Ilustración 19 Aspecto del talud de corte en K0+100. El Gavión en la parte alta está en el talud exterior de la vía a La Sierra



Desde La Virgen que esta en una saliente de la vía, aproximadamente en K0+070, se aprecia la alta susceptibilidad de la vertiente exterior, alargada y con pendiente abrupta a muy abrupta (Ilustración 20). Se observan bordes erosivos en el talud externo de la banca, con los árboles más altos inclinados, indicativo de reptación.

Ilustración 20 Panorámica de la vertiente, vista hacia Quipile (Az 190)



- **Estación 2 (N2086701 - E4830198): K0+230 (desde la intersección Tabacal)**

**Estación litológica y estructural:**

En el talud interno de la vía, en curva hacia el talud exterior, se miden datos estructurales en secuencia de capas de caliza de color gris (N 4/0), con niveles de lutitas (Ilustración 21). La sucesión liltológica aflorante se correlaciona con la Fm. Hilo (Kih), la cual domina la parte alta de la ladera entre el K0 y el K4+400, aproximadamente. El buzamiento es desfavorable (hacia la cara libre del talud), con dos familias de diaclasas, cuyo entramado favorece la caida de bloques y detritos (Ilustración 22).

Ilustración 21 Detalle en afloramiento rocoso en K0+230 talud interior



Ilustración 22 Panorámica del talud rocoso en K0+230




En la Tabla 1, se relacionan las mediciones adelantadas en los planos de discontinuidad sobre el basamento rocoso, así como los parámetros de estos planos:

Tabla 1 Caracterización de los planos de discontinuidad en K0+230

| DISCONTINUIDAD | DB | PARÁMETROS |
|---|---|---|
| Estratificación | 84/58º, 86/58º | Desfavorable.<br>Separación 1 cm (lutitas), a 40 cm en calizas |
| Diaclasa 1 | 174/72º, 168/73º, 171/72º, 170/70º, 172/69º | Diagonal.<br>Separación: 40 cm-1 m<br>Persistencia 2-3 m<br>Superficie: Lisa a suav. Ondulada<br>Abierta por desconfinamiento |
| Diaclasa 2 | 270/59º, 274/69º, 267/74º | Favorable<br>Separación: 10-40 cm<br>Persistencia: ≦1 m<br>Lisa a suavemente ondulada<br>Abierta por desconfinamiento |

En el K0+350, se observa la banca sin capa asfáltica, entre el talud interno, con pendiente abrupta (Ilustración 23), y un muro en gavión en el talud exterior. Se aprecia un flujo de bloques y detritos puntual (Ilustración 24), como un proceso con alta potencialidad a presentarse sobre una amplia franja del talud, conforme la disposición de la ladera y de los planos de discontinuidad observados 120 m atrás, desde donde se incrementa la altura de la vertiente respecto de la cota de la banca.

Ilustración 23 Panorámica de la banca de la vía, en K0+350; vista hacia Quipile (Az 195)



Ilustración 24 Detalle del talud interno en K0+350



Las condiciones de la vertiente se mantienen, hasta el final del tramo inicial de rehabilitación (Ilustración 25), y la mayor parte del tramo central en mejoramiento (Ilustración 26), con pendiente abrupta a muy abrupta, con laderas largas de perfil recto, con algunos escalonamientos, especialmente en la ladera superior. Estas condiciones determinan alta susceptibilidad de la vertiente, si bien la alta cobertura vegetal de las laderas, en este sector, no permite apreciar procesos erosivos ni de remoción en masa.

Ilustración 25 Panorámica desde el K 0+950, final del tramo de mejoramiento; vista hacia Tabacal (Az 345)

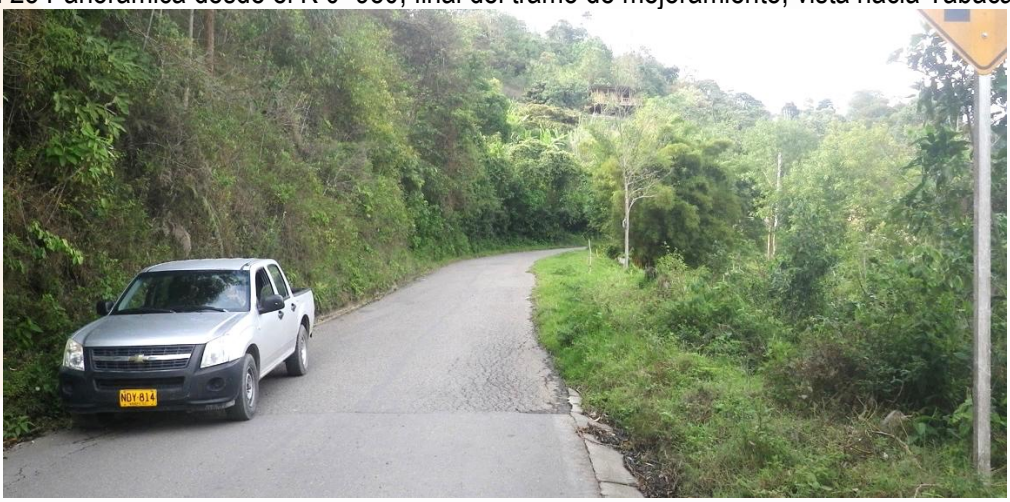


Ilustración 26 Panorámica de la vertiente en el inicio del tramo central de rehabilitación; vista hacia Quipile (Az 130)



- **Estación 3 (N2085646 – E4830346): K1+500 (desde la intersección Tabacal)**

**Estación morfodinámica:**

Inicio de zona coluvial extensa, muy antigua, con alta saturación, que descarga agua sobre la banca (Ilustración 27), la cual fluye sobre la banca, descolando en el borde externo de la banca en las zonas de flujos en K1+600 (Ilustración 28)y K1+780, los cuales se describen en la estación 4.

Ilustración 27 Vista desde el K1+550 -aproximadamente- hacia Tabacal (Az 355)




Ilustración 28 Vista hacia Quipile (Az 180), del extremo norte del sector coluvial. Al fondo, la corona del flujo del K1+600, afectando la banca externa.




- **Estación 4 (N2085544 – E4830380): K1+600 (desde la intersección Tabacal)**

**Estación morfodinámica:**

Fallo del borde externo de la banca, afectando casi todo el carril de ascenso, correspondiente a un flujo concentrado que afecta el talud exterior, posiblemente como evolución de procesos de erosión concentrada que se remontan por la ladera, detonados por la descarga de aguas en la vertiente, por obras de arte obstruidas, descoles poco controlados o, descarga de aguas de bombeo desde la banca (Ilustración 29).

Ilustración 29 Fallo del borde externo de la banca en K1+600; vista hacia Quipile (Az 170)



Esta zona se extiende por lo menos 200 m hacia Quipile, con otro flujo afectando el borde externo de la banca (Ilustración 30). En el talud interior, adelante del flujo del K1+800, se perciben huellas de procesos de remoción en masa sub-recientes, como una superficie cóncava y huellas de franjas erosivas, incluso algo de depósito coluvial en el sector inferior del talud de corte (Ilustración 31), remanente del proceso de remoción en masa que lo genero, interpretado como un deslizamiento planar, sobre una superficie estructural desfavorable (buzamiento de estratificación o diaclasa).

Ilustración 30 Fallo del borde externo de la banca en K1+800; vista hacia Quipile (Az 150)



Ilustración 31 Talud erosivo 10 m adelante del K1+800, como superficie de deslizamiento; vista hacia Quipile (Az 150)




- **Estación 5 (N2085152 - E4830731): K2+120 (desde la intersección Tabacal)**

**Estación geológico-estructural y morfodinámica:**

En el inicio del tramo final de mantenimiento se observa afectación del borde externo de la banca, como una cárcava en la ladera inferior. En el talud interior aflora la roca, en corte subvertical, de cerca de 5 m de altura (Ilustración 32). La secuencia litológica aflorante corresponde a capas de caliza y limolita, con niveles de lutita intercalados, con moderada a ligera meteorización (III-II, ISRM), con coloraciones gris (N5/0) para las calizas, gris claro (7.5Y 8/2) para las limolitas, gris oscuro para las lutitas (N3/0), y pátinas blancas (N 10/0) en superficies de clivaje. La secuencia litológica expuesta se correlaciona con la Fm Hiló (Kih).

Ilustración 32 Panorámica de la estación 5; vista hacia Quipile (Az 160)



Se miden algunos datos estructurales en el talud (Tabla 2), por dificultad en el acceso.

Tabla 2 Caracterización de los planos de discontinuidad en K2+120

| DISCONTINUIDAD | DB | PARÁMETROS |
|---|---|---|
| Estratificación | 276/35º | Diagonal a favorable.<br>Separación 1 cm (lutitas), 10 a 20 cm en calizas y limolitas |
| Diaclasa 1 | 80/66º, 77/70º, 78/67º | Desfavorable.<br>Separación: 20 -40 cm<br>Persistencia >2 m<br>Superficie: Suavemente Ondulada<br>Abierta por desconfinamiento |
| Diaclasa 2 | 165/58º, 164/61º, 161/59º | Diagonal<br>Separación: 1 m<br>Persistencia: 1 – 2 m<br>Lisa a suavemente ondulada<br>Abierta por desconfinamiento |

Se aprecia caida de detritos y algunos bloques, por interacción de los planos de discontinuidad del macizo rocoso.

La cárcava tiene cerca de 2 m de ancho en su corona (Ilustración 33), entendiéndose sobre el talud exterior (Ilustración 34). Se aprecian antecedentes de inestablidad en este costado de la banca, como lo atestigua la recuperación de la superficie asfáltica en cemento.

Ilustración 33 Acercamiento a la corona de cárcava en K2+120



Ilustración 34 Vista de la cárcava del K2+120, desde su corona en la banca de la vía




- **Estación 6 (N2085080 – E4830745): K2+180-K2+240 (desde la intersección Tabacal)**

**Estación geológico-estructural y morfodinámica:**

Tramo de la vía con sección transversal con pendiente abrupta; en el talud interior aflora secuencia litológica de lodolitas calcáreas, intercaladas con limolitas silíceas (correlacionadas con Fm. Hiló). La disposición estructural es similar a la de la estación anterior, con buzamiento hacia el interior del talud, una diaclasa desfavorable (hacia la cara del talud), y otra diagonal. Aún cuando el acceso es más dificil que en la estación anterior, se logran medir los siguientes planos de discontinuidad:

- DB: 277/36º
- Diaclasa: 88/60º (desfavorable)
- Diaclasa: 351/80º (diagonal)

Se observan en la base del talud de corte depósitos de flujos de suelo y detritos (Qfs-d en Ilustración 35), con algunos bloques. Hacia el borde externo de la banca, se aprecia huella de corona de falla del talud exterior (línea negra en ilustración 35).

Ilustración 35 Panorámica del sector K2+190-K2+220; vista hacia Quipile (Az 170)




A lo largo del talud exterior, costado izquierdo de la banca en el sentido de avance del abscisado (hacia Quipile), se aprecia un muro antiguo, curvo y aparentemente sano. Se observan medias lunas en la banca en la zona del muro, que indicarían inestabilidad del talud exterior, aunque como se mencionó el muro se aprecia estable. La banca en este tramo se observa bastante deteriorada, con rellenos improvisados entre las coronas y el muro (Ilustración 36, Ilustración 37).

Ilustración 36 Vista hacia el extremo Tabacal del muro (Az 350), en K2+150

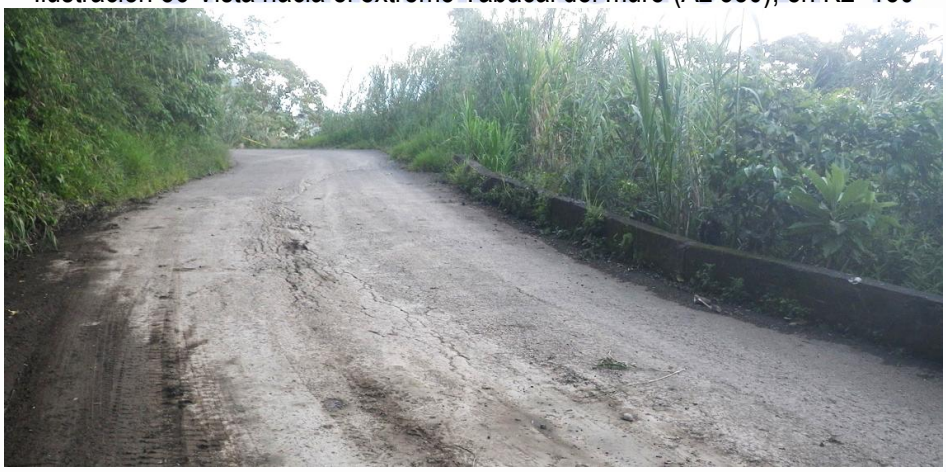


Ilustración 37 Vista hacia el extremo Quipile del muro (Az 160), en K2+240



En el extremo Quipile se observa una vía de acceso a predio, que impone talud casi vertical, al exterior de la calzada (Ilustración 38). La banca en la parte por fuera del muro se aprecia mucho menos afectada, aunque se aprecian grietas por desconfinamiento, en una parte donde el talud de corte entre el exterior de la banca Tabacal-Quipile y el de la vía de acceso disminuye, entre 2 y 3 m.

Ilustración 38 Vista desde el K2+240 hacia Tabacal (Az 340)




- **Estación 7 (N2084635 – E4830621): K2+700-K2+720 (desde la intersección Tabacal)**

**Estación morfodinámica:**

Sector de la vía con evidencias de procesos de erosión concentrada en el talud exterior, afectando el borde de la banca, con algo de desprendimiento de material en el talud interior. La vía en este tramo presenta una curva pronunciada hacia el talud interior, que puede indicar un antiguo proceso de remoción en masa (a revisar con la fotointerpretación).

En la Ilustración 39 se aprecia la corona de flujos concentrados, que marcan una corona de falla en la banca exterior; la fuerte cobertura vegetal impide apreciar la condición del terreno, aunque se observa la vegetación

inclinada a lo largo de la pendiente. En la Ilustración 40 se observa una zona de flujo lento en el talud interior (tipo reptación pero concentrado por una franja enfrente del flujo del talud exterior), evidenciado por la inclinación de la vegetación.

Ilustración 39 Corona de flujo concentrado en la banca externa de la vía en K2+700, vista hacia Quipile (Az 185)

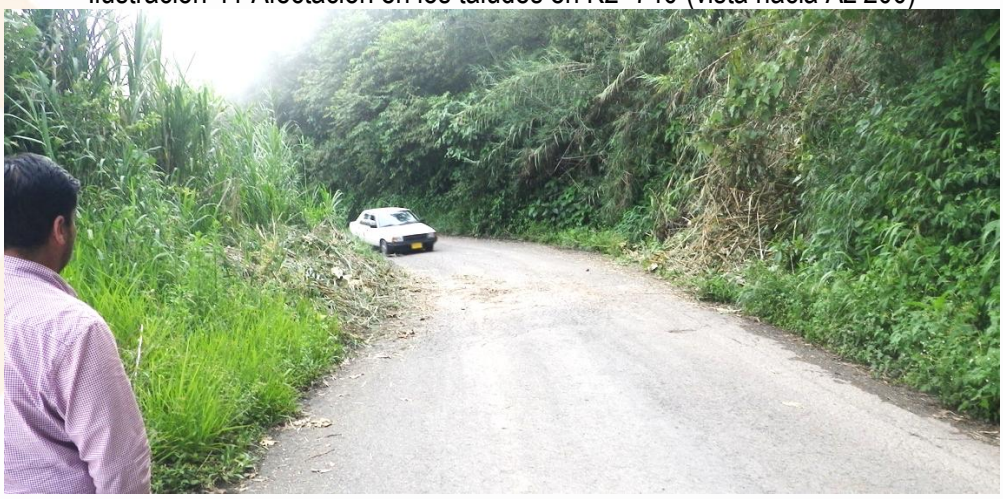


Ilustración 40 Zona de flujo lento en el talud interior, frente a la zona de fallo del talud exterior en K2+700 (hacia Az 210)




40 m adelante se aprecia caída de suelo y vegetación desde el talud interior (Ilustración 41), interpretado como flujo lento en la ladera, con pendiente muy fuerte, aunque con alta cobertura vegetal, que impide determinar los materiales que la conforman. Coincidente con la zona de flujo se aprecia en frente, coronas de falla en el rasante, que se interpetan como un proceso de remoción en masa tipo flujo concentrado, aunque la fuerte cobertura vegetal impide precisar la afectación en la vertiente.

Ilustración 41 Afectación en los taludes en K2+740 (vista hacia Az 200)



- **Estación 8 (N2084410 – E4830599): K2+930 (desde la intersección Tabacal)**

**Estación geológico-estructural y morfodinámica:**

Escalonamientos en la banca, hacia el talud exterior, sin que se aprecie en proceso de remoción en masa definido en la ladera (Ilustración 42). El desplazamiento o escalonamiento en la banca se aprecia longitudinalmente, con caída hacia Quipile (Ilustración 43).

Ilustración 42 Panorámica de la corona de falla que afecta la banca en K2+930. Se señalan los vectores del desplazamiento indicados por el escalonamiento de la banca (vista hacia Az 110)

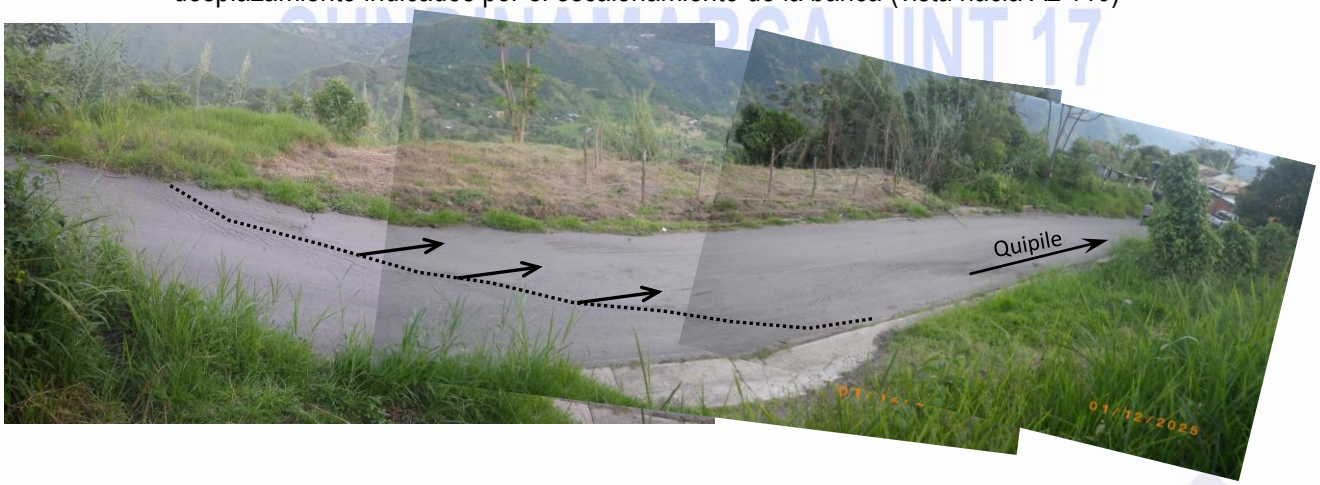
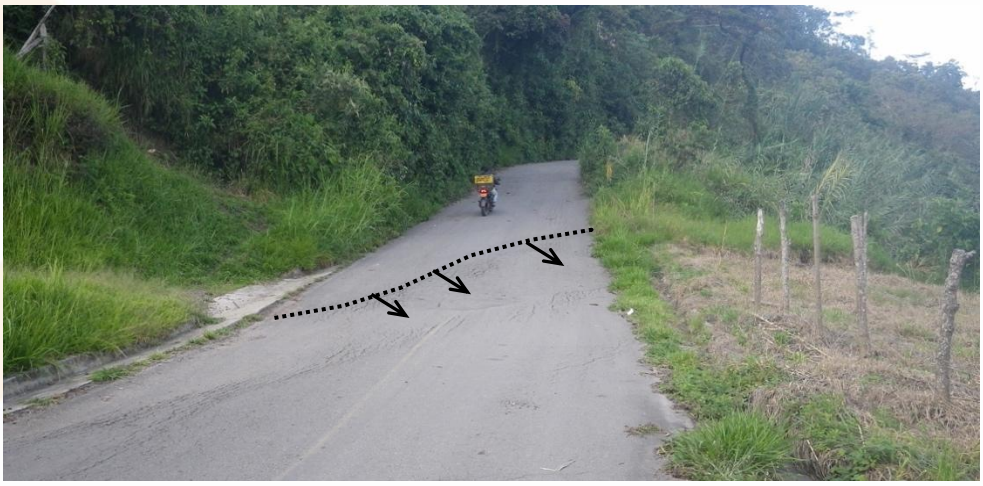
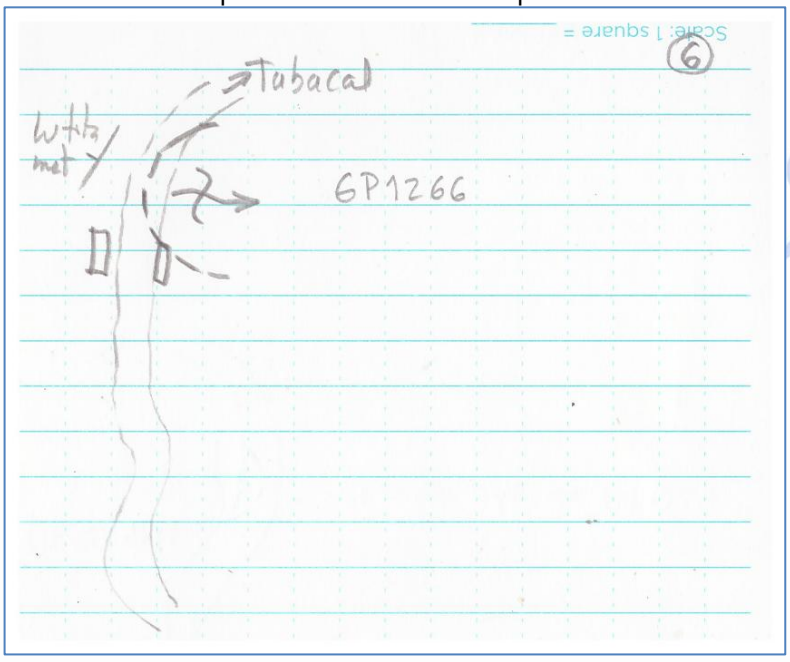


Ilustración 43 Vista del escalonamiento de la banca, hacia Tabacal (Az 360)



En el talud interior afloran lutitas meteorizadas, correlacionables con la Fm. Simijaca (Kss), con buzamiento moderado a suave hacia el talud interior (favorable); con DB aproximado: 290/20º. En la Ilustración 44 se esquematiza la condición de este sitio inestable:

Ilustración 44 Esquema de la condición en planta del del K2+930




Cerca de 400 m adelante (hacia Quipile), aproximadamante K3+370 (2084024 N – 4830519 E), en el inicio de la curva fuerte (regresiva) a la derecha, que marca el cruce del lomo que sigue la vía, se observan grietas en la banca, interpretadas como producto del desconfinamiento del talud exterior, por la excavación realizada para la construcción de la vivienda que se observa al fondo de la Ilustración 45.

Ilustración 45 Grietas en la banca por desconfinamiento del talud exterior, en K3+370; vista hacia Tabacal (Az 025)



Luego de la curva regresiva del K3+360 la vía cambia de vertiente, aunque inicialmente se sigue con el talud interno-de corte- al costado derecho, en el sentido de avance del abscisado, rodeando el lomo que sigue la vía. En la Ilustración 46 (tomada desde K3+460, aproximadamente – 2084104 N – 4830464 E), puede apreciarse la condición de la ladera en el primer tramo recto después de la curva, suavizándose tanto la pendiente como la altura del talud interior. En primer plano se aprecian grietas de la banca hacia el talud exterior, mientras al fondo, en el inicio de la curva a la izquierda con la que termina este tramo recto (K3+560 en la curva, aproximadamente), se aprecia saturación por humedad en la rasante (Ilustración 47 e Ilustración 48).

Ilustración 46 Panorámica de la vía desde el K3+460, vista hacia Quipile (Az 360)



Ilustración 47 Acercamiento a la zona de humedad en la banca, se observa saturación y pérdida de la capa de rodadura y la base (Az 360).

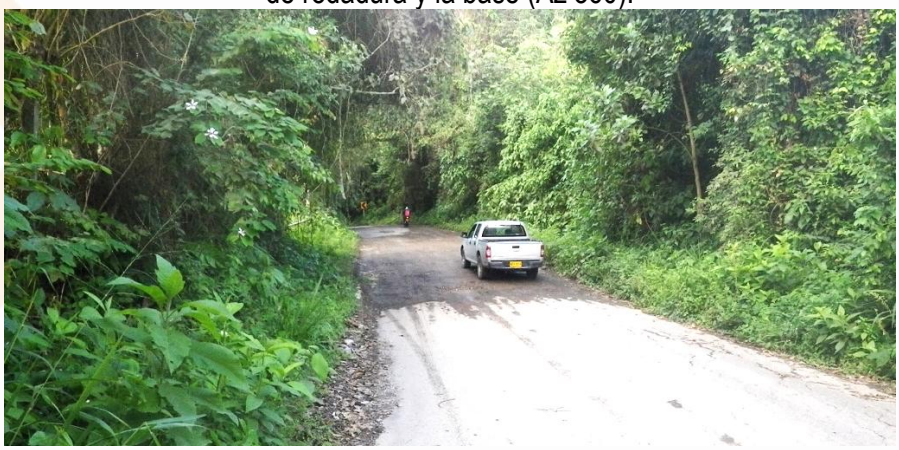
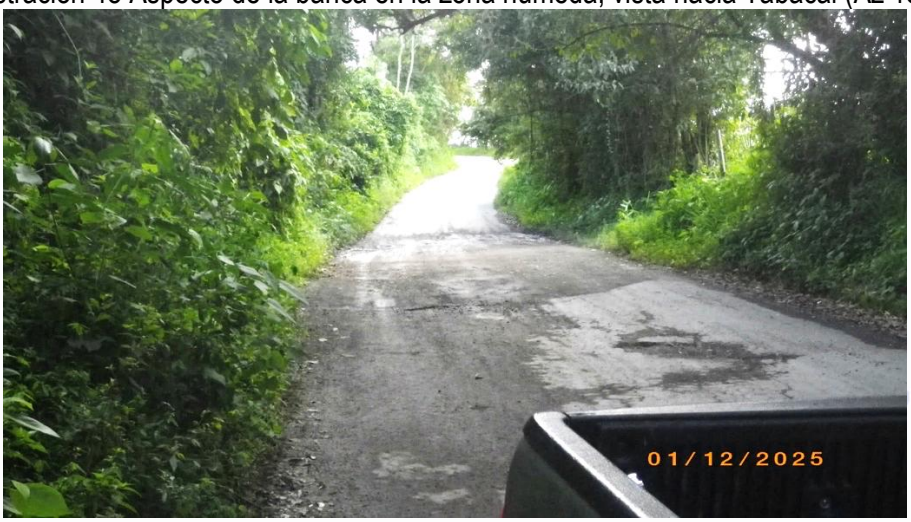


Ilustración 48 Aspecto de la banca en la zona humeda, vista hacia Tabacal (Az 185)



Luego de la curva a la izquierda del K3+560 (regresiva), la sección de la vía cambia, pasando el talud interior a la izquierda, ya en el transito sobre el flanco occidental del lomo, el cual tiene una sección con pendiente menor que la del flanco oriental (Ilustración 49). Se observan grietas en la banca en K3+700 N2084001 – E4830440), que de acuerdo con lo que se alcanza a apreciar en la ladera externa de la banca, están asociados con procesos de reptación generalizada, en terrenos que, por su menor pendiente, se potrerizan (Ilustración 50 e Ilustración 51).

Ilustración 49 Panorámica de la vía en K3+700, vista hacia Tabacal (Az 005)



Ilustración 50 Panorámica de la vía en K3+700, vista hacia Quipile (Az 190)



Ilustración 51 Aspecto de la banca y el talud exterior en K3+700, vista hacia Quipile (Az 200)



Aproximadamente en K3+900 el lomo baja su altura, iniciando la vía el transito sobre una silleta o collado, en la cual el corredor vial discurre sobre un lomo amplio, con eventuales cortes bajos (Ilustración 52). Como es generalizado en este sector montañoso que suaviza la pendiente, luego del cambio de vertiente desde el K3+370. Se aprecian grietas de tracción en la calzada, asociadas con reptación en los potreros aledaños en el talud exterior de la vía.

Ilustración 52 Panorámica del corredor vial desde el K3+920, vista hacia Quipile (Az 200)



100 m adelante la vía transita sobre el lomo en silleta (zona de cambio de vertiente), con pendiente muy abrupta al costado izquierdo, en la que se observan terracetas asociadas al pastoreo de ganado; las grietas en la banca hacia este costado, evidencian la reptación del terreno (Ilustración 53).

Ilustración 53 Condición de la vía desde el K4, aproximadamente, vista hacia Quipile (Az 190)



Desde K4+100 la vía se desarrolla sobre el lomo asociado a la silleta, en zona de cambio de vertiente (Ilustración 54).

Ilustración 54 Panorámica del corredor vial desde el K4+100; vista hacia Quipile (Az 180)



A partir del K4+450 se intercalan zonas de corte -predominantemente al costado izquierdo- correspondientes a cerros salientes del lomo sobre el que se desarrolla la vía, hasta Quipile. La baja altura de los cortes -menor de 3 m- y una pendiente no tan alta, minimiza la incidencia de procesos de remoción en masa en este talud. Si se aprecia alta potencialidad a la generación de fallas de borde externo de la banca, propiciados por flujos de suelo en el talud exterior, sobre los flancos del lomo.

Al final del corredor vial, aproximadamente en K4+800 (N2083047 – E4830019), 100 m antes de terminar el segundo tramo de mejoramiento, se aprecia deterioro de la rodadura, asociado con alta humedad, en el inicio del casco urbano de Quipile. La afectación en la estructura del pavimento parece ser superficial, asociada a flujo de agua sobre la banca, que se percola en las capas inferiores de la estructura del pavimento, por las aguas de bombeo de la banca sobre la calzada (Ilustración 55), que se concentran hacia este costado. A la potencialidad de inestabilidad en este sitio, se suma la reptación que se aprecia en el talud exterior al costado izquierdo de la banca (en el sentido de avance del abscisado). El tramo afectado se encuentra luego de muro de contención, al fondo-derecha en Ilustración 55.

Ilustración 55 Aspecto del corredor vial desde el K4+800, vista hacia Tabacal (Az 030).

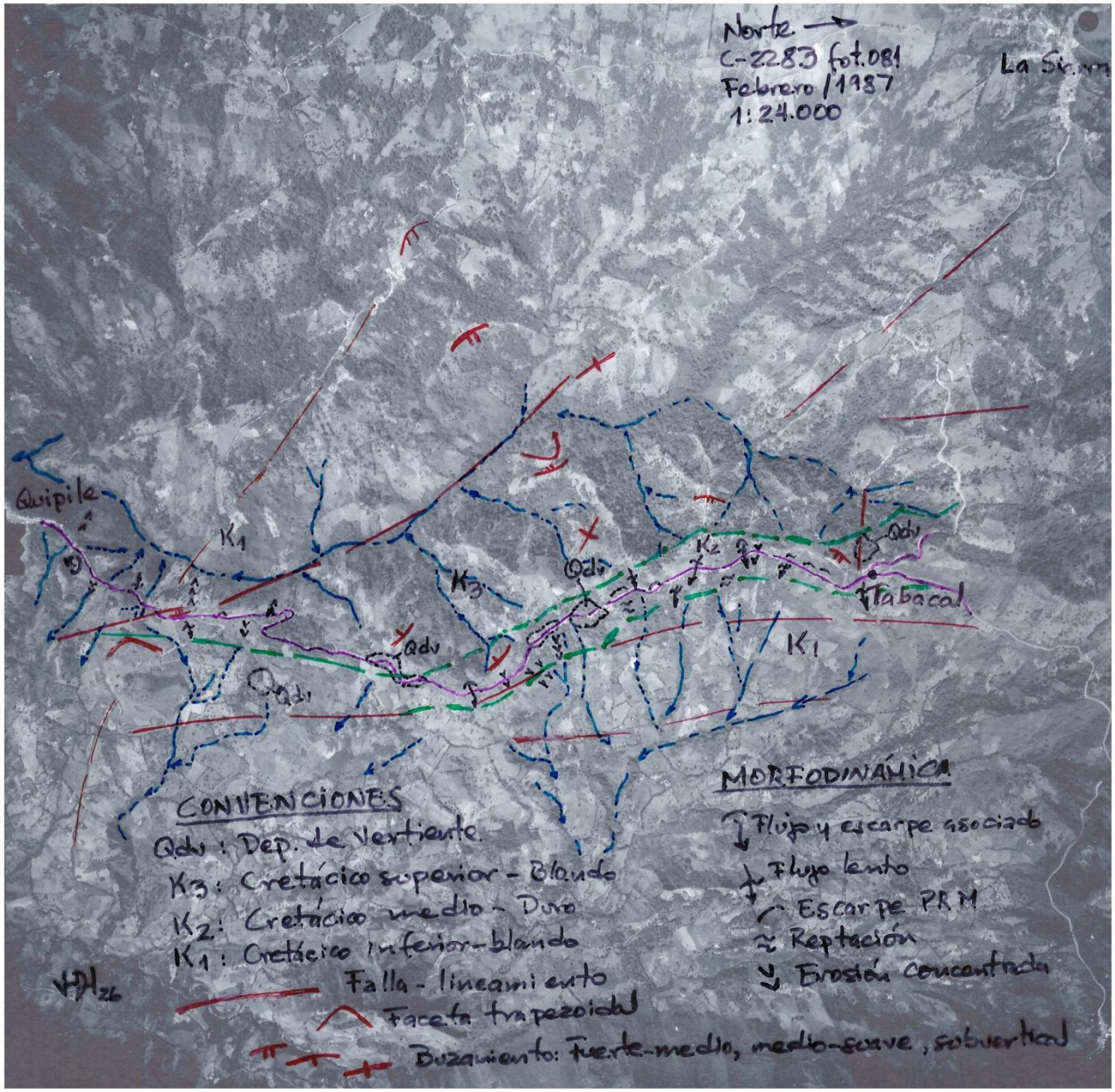


# 7 FOTOINTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE IMÁGENES

## 7.1 FOTOINTERPRETACIÓN

Sobre las fotografías aéreas 080 a 082 del vuelo C-2283 del IGAC, se adelantó la fotointerpretación, identificando contrastes del relieve asociados con las unidades litológicas que conforman las vertientes en el corredor de estudio, rasgos estructurales, depósitos cuaternarios, y la morfodinámica que las afecta. En la Ilustración 56 se presenta la fotointerpretación adelantada.

Ilustración 56 Fotointerpretación Quipile - Tabacal



Se aprecia la vía ubicada sobre un lomo estructural divisorio de aguas, orientado de sur a norte. Los contrastes de relieve, marcados entre unidades duras y blandas del Cretáceo, definen el tránsito de la vía inicialmente a media ladera, en la parte alta de la vertiente oriental, sobre la unidad cretácea dura (K2), correlacionada con la Fm. Hiló. En este tramo inicial del corredor vial (hasta K2+900, algo más de la mitad del tramo vial en estudio), se concentra la mayor afectación por procesos de remoción en masa, principalmente flujos y erosión concentrada, distinguiéndose varios depósitos de vertiente (Qdv), colgados en la vertiente, la mayoría sobre el corredor vial.

En la segunda mitad del corredor vial, donde la vía cruza el lomo divisorio, aproximadamente en K3+350, pasando a desarrollarse entre el lomo y la vertiente occidental, hasta Quipile, en el extremo sur, la vía se desarrolla predominantemente sobre el lomo, con cortes bajos, alternando entre derecha e izquierda. Los procesos morfodinámicos, de menor intensidad que en la mitad oriental, afectan especialmente el talud exterior.

La disposición estructural varía entre desfavorable y favorable, correspondiente con el tren estructural paralelo a diagonal a la dirección principal de la vía, con cambio de buzamiento en el transito entre el flanco oriental del sinclinal, cuyo eje se sitúa al occidente de la vía, el transito entre las vertientes.

El patrón de drenaje es subparalelo, con las corrientes principales corriendo en sentido oblicuo a las secundarias, estas últimas sobre las vertientes del lomo estructural sobre el que se desarrolla la vía, mientras las principales siguen el tren estructural.

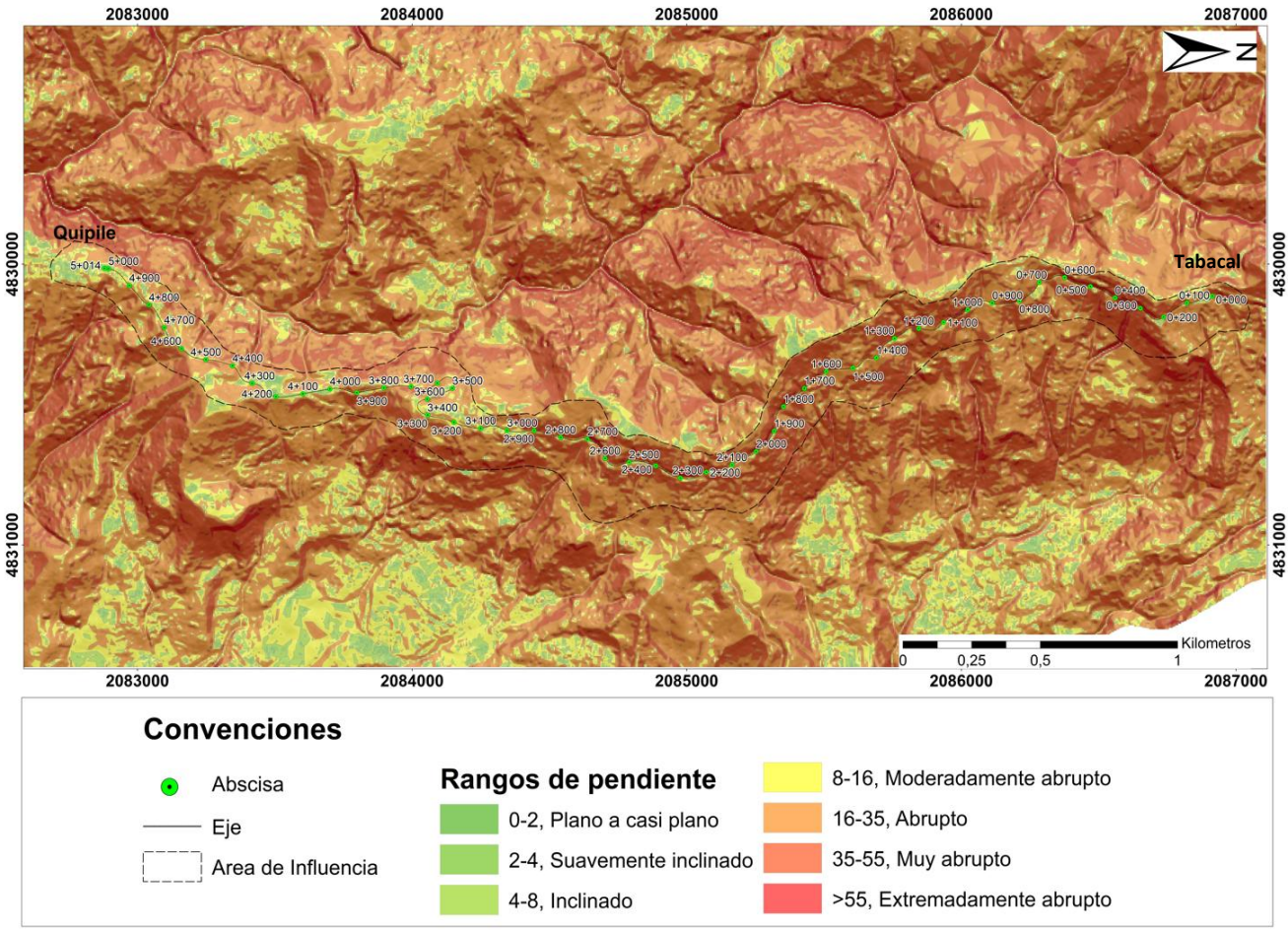
## 7.2 MAPA DE PENDIENTES

A continuación, se detalla la metodología e insumos técnicos utilizados para la generación de los modelos de sombras y de pendientes, para el corredor vial de Quipilé. El objetivo central de estos modelos es la delimitación e identificación de las unidades geomorfológicas locales, y contrastes del relieve que permitan la diferenciación de depósitos cuaternarios: de vertiente y fluviales, permitiendo el análisis más preciso en los corredores geotécnicos definidos.

Para asegurar la coherencia del análisis espacial se estableció trabajar con modelos de elevaciones (DEM), de resolución espacial de 5 x 5 metros. Según la disponibilidad de la información primaria, se emplearon dos metodologías para la obtención de estos modelos.

Para la generación de los modelos de sombras y de pendientes del corredor vial Tabacal-Quipile, se contó con modelos de elevación (DEM) de 5m x 5m de resolución espacial, los cuales fueron descargados de la plataforma de datos abiertos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y posteriormente, recortados al área de interés. En la Ilustración 57 puede apreciarse el mapa de pendientes elaborado para el corredor vial.

Ilustración 57 Mapa de pendientes del corredor vial Tabacal - Quipile



El análisis de la distribución de pendientes, dentro del entorno de las geoformas que rigen el relieve en la que se desarrolla el corredor vial, permite, junto con actividades previas, como el reconocimiento de campo y la fotointerpretación, definir el corredor geotécnico, como la franja de la vertiente en la que se aprecian las variaciones de geoformas, litológicas, estructurales y morfodinámicas, que llegan y/o pueden llegar a influenciar en la estabilidad del corredor vial Tabacal – Quipile. Se determina así, definir el corredor geotécnico entre el lomo divisorio y la parte inferior de las vertientes, hasta donde se detectan, tanto por las geoformas desarrolladas como por los rasgos morfodinámicos reconocidos, la franja que llega y puede llegar a influenciar en la estabilidad del corredor vial.

De manera general, se aprecia el lomo sobre el que se desarrolla la vía, como un homoclinal asimétrico, donde la vertiente oriental, sobre la que se desarrolla la vía en la primera mitad, tiene mayor pendiente, reflejando su condición de contrapendiente estructural. A partir del K2+900 el lomo se amplia y disminuye su altura, por lo que la carretera continúa su recorrido hacia Quipile, al sur, sobre este.

Ya dentro del corredor geotécnico, el mismo análisis de la distribución de pendientes, bajo la óptica del reconocimiento de campo y la interpretación de fotografías aéreas y de las imágenes satelitales de Google Earth, permite diferenciar dos sectores en el corredor vial dentro de los que se aprecian tramos con características particulares. A continuación se describen tanto los sectores como los tramos diferenciados en cada uno de estos:

### 7.2.1 SECTOR K0 – K2+900

En los primeros 2+900 km, la vía se desarrolla en media ladera con pendiente dominante en el rango de abrupta a muy abrupta, esta última concentrada hacia las franjas de los taludes de corte y vaguadas; en forma localizada se alcanza el rango de extremadamente abrupta (>55º). Se intercalan escalonamientos, con pendiente moderadamente abrupta a suavemente inclinada (2 a 16º), algunos de estos asociados con explanaciones, especialmente a la altura de la banca de la vía.

- **Tramo K0 – K0+700**

Tramo inicial de la vía con la longitud de la pendiente más corta, con relación al primer sector, asociada a un nivel blando en la secuencia litológica expuesta, con predominio de lutitas. En este tramo son más frecuentes los escalonamientos, especialmente hacia el lomo divisorio, aunque también en la banca y la vertiente, estos últimos por intervención antrópica, en viviendas y predios.

- **Tramo K0+700 – K2+900**

La vertiente se extiende en longitud, por encima de la banca de la vía, respondiendo a niveles más duros -con limolitas y calizas en la secuencia rocosa aflorante-. El lomo sigue siendo muy angosto, con una vía de acceso a predios que se desarrolla muy cerca de este, entre el lomo y muy cerca de sus flancos.

### 7.2.2 SECTOR K2+900 – K5+014

En el segundo sector diferenciado en el corredor vial y geotécnico, las laderas de la sierra estructural sobre las que se desarrolla la vía, disminuyen su altura, suavizándose también la pendiente de sus flancos, desarrolladas sobre unidad litológica mas blanda: la Formación Simijaca (Kss)

# 8 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL

## 8.1 GEOLOGÍA LOCAL

Las laderas sobre las que se desarrolla la vía están constituidas sobre rocas predominantemente blandas, como lo son las lutitas, con algunos niveles duros, correspondientes a capas de caliza y limolita. Inicialmente en el corredor se aprecian lutitas muy meteorizadas, de color gris parduzco, con niveles de limolitas grises, correspondientes al perfil de meteorización de la Fm. Capotes (Kic, ver Ilustración 19 Aspecto del talud de corte en K0+100. El Gavión en la parte alta está en el talud exterior de la vía a La Sierra). Rápidamente la sección en la vía pasa a la sucesión de capas de caliza, con niveles de lutita y limolita, de la Fm. Hiló (Kih), dominante en la sección de la banca entre K0+230 al K2+900, con meteorización moderada a fuerte, especialmente marcada en los niveles lutíticos (Ilustración 22). Los afloramientos en general son de rocas con moderada a alta meteorización, sin espesores importantes de suelo residual.

En la segunda mitad del corredor vial, entre el K2+500 y el K5+014, se intercalan las Formaciones Simijaca (K2+500 – K4+340), constituida predominantemente por lutitas meteorizadas, las cuales desarrollan relieve bajo, con cima redondeada, con escasa exposición en los taludes de la vía, lo que además favorece que la vía se ubique hacia el lomo.

Puntualmente se observan zonas de depósitos de vertiente (Qdv) o coluviales, acumulados en las laderas contiguas a la vía, por PRM antiguos. El más grande de estos se localiza entre K1+440 y K1+600, con altura entre cotas de casi 60 m (Ilustración 27). Composicionalmente los depósitos coluviales son marcadamente matriz-soportados (ver Ilustración 27 Vista desde el K1+550 -aproximadamente- hacia Tabacal (Az 355) e Ilustración 28), reflejando su roca fuente que es un macizo rocoso con predominio de rocas blandas meteorizadas, con predominio de lutitas en la secuencia aflorante. A continuación se relacionan los sectores de la vía cubiertos por coluviones:

- K0+700 – K0+730
- K1+100 – K1+130
- K1+440 – K1+600
- K1+700 – K1+800
- K2+550 – K2+600
- K2+620 – K2+700
- K3+150 – K3+200
- K3+220 – K3+300
- K4+670 – K4+710

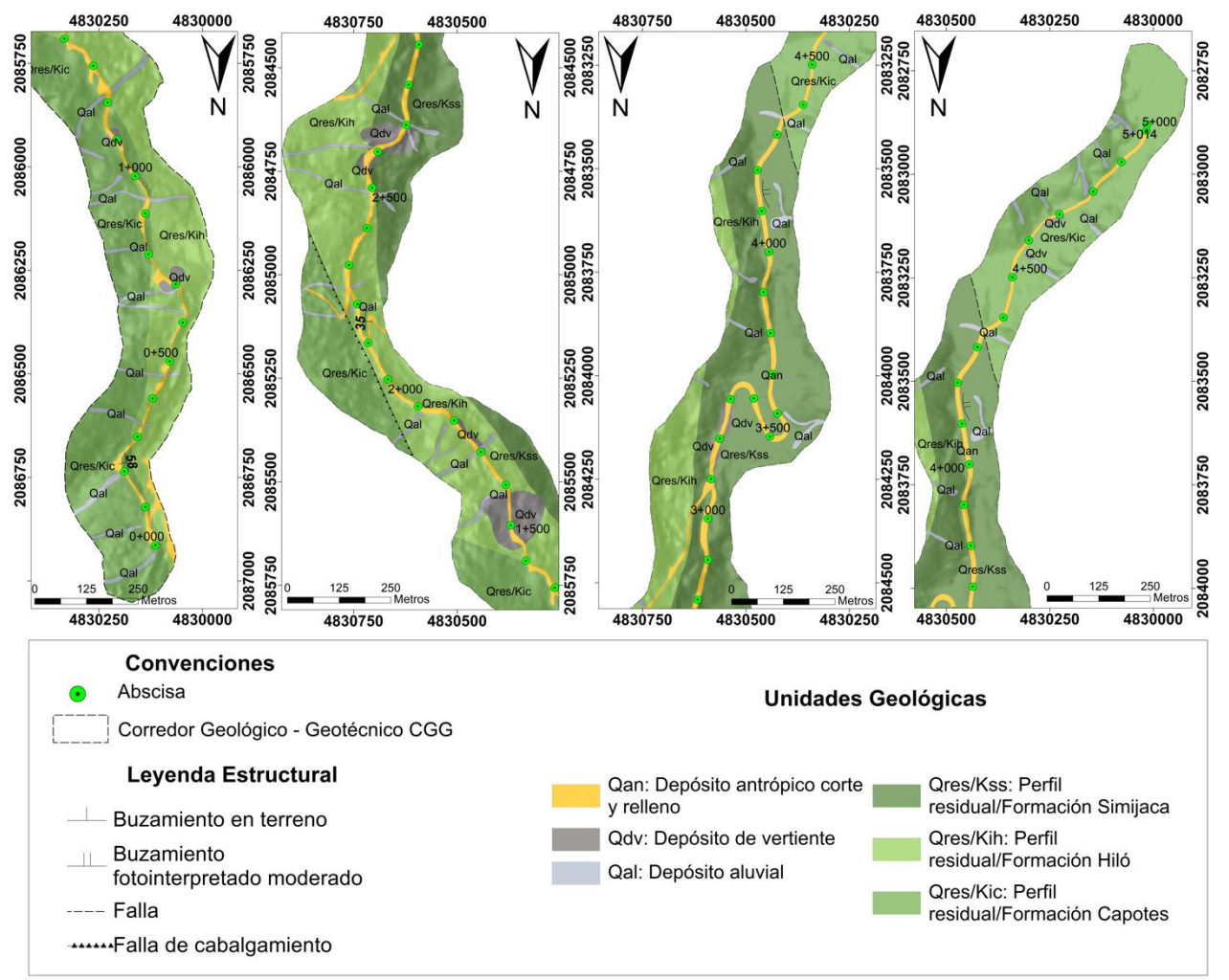
Finalmente se distinguen pequeñas franjas aluviales (Qal), correspondientes a arroyos, que la vía cruza en la zona de nacimiento en las vertientes, en su tránsito a las quebradas que discurren en el fondo de las laderas, de norte a sur, indicado control estructural.

Estructuralmente, la condición de la vía sobre un lomo con control estructural, determina que el tren estructural vaya parelelo a la vía, entre trazos de falla del Sistema de Falla Bituima, con uno de sus ramales acercándose a la vía entre K2 y K2+200, marcando el contacto entre la Fm. Hiló (Kih) y la Fm Capotes (Kic), en la parte inferior/exterior de la ladera. Em K4+340 otro trazo de falla cruza la vía, marcando en contacto entre la Fm.

Simijaca y la Fm. Capotes. La zona con mayor incidencia estructural en la vía, definida por la mayor altura de los taludes de corte, se da entre el K0 y el K2+900, con dominio de buzamiento desfavorable (al oriente), en los primeros dos kilómetros, mientras que en el último kilómetro se hace favorable (al occidente).

En la Ilustración 58 se presenta la cartografía geológica del corredor geotécnico.

Ilustración 58 Geología del corredor geotécnico




Se presenta a continuación la descripción de las unidades geológicas diferenciadas:

- **Formación Capotes (Kic)**

Constituye la base de la secuencia cretácea aflorante en el corredor vial. Los mejores afloramientos de esta unidad se aprecian en el inicio del corredor, entre el K0 y el K0+300, en que se aprecian lutitas meteorizadas con niveles de limolitas (ver Ilustración 19 Aspecto del talud de corte en K0+100. El Gavión en la parte alta está en el talud exterior de la vía a La Sierra) en talud de corte de menos de 4 m. En otros sectores en que aflora esta unidad de aprecia cubierta por la vegetación de la ladera (K0+800 – K1+200), y en el final del corredor vial, en zona de cortes bajos (K4+340-K5+014).

Los sondeos exploratorios adelantados en sectores que evidencian inestabilidad de la banca, entre el K4+560 y el K4+800, indican espesores de saprolito (IC), de 3 m, roca altamente meteorizada (transición saprolito roca -IIA-Deere y Patton), de más de 5 m, y roca moderadamente meteorizada (IIB-Deere y Patton), de por lo menos 3 m, infrayaciendo horizonte de 5 m de IIA (sondeo 2 – K4+800). En anexos se presentan los perfiles en sitios inestables y de interés geotécnico.

- **Formación Hiló (Kih)**

Esta unidad de roca es en la que se observan los mejores afloramientos, por su condición de unidad más dura, por lo que constituye la zona con la mayor altura de taludes de corte, entre K0+K0+800 y K1+200-K2+500. Se aprecian de esta unidad, lutitas negras, con niveles de limolitas y caliza, con alta a moderada meteorización (IIA-IIB de Deere y Patton, roca alta a moderadamente meteorizada). Ver Ilustración 21 Detalle en afloramiento rocoso en K0+230 talud interior, Ilustración 22 Panorámica del talud rocoso en K0+230 e Ilustración 32 Panorámica de la estación 5; vista hacia Quipile (Az 160).

En los registros de los sondeos realizados en la Fm. Hiló (K2+130, K2+490), el perfil de meteorización tiene 3 m de saprolito (IC), entre 2-3 m de horizonte de roca altamente meteorizada (IIA), infrayacidos por roca moderadamente meteorizada (IIB-Deere y Patton), entre 4 y 5 m.

- **Formación Simijaca (Kss)**

Corresponde al techo de la secuencia cretácea aflorante en el corredor vial. La descripción regional la menciona como sucesión de lodolitas y limolitas gris oscuras, con intercalaciones de arenitas de cuarzo, en parte arcillosas. Los afloramientos de esta unidad son muy escasos en el corredor vial, en parte por fuerte cobertura vegetal, y por su ubicación hacia el lomo estructural en que se ubica la vía adelante del K2+500, desde donde domina esta unidad, hasta el K4+340. En un pequeño talud de corte del carreteable que se desprende de la vía a Quipile, por el costado derecho en K2+970, se aprecian lutitas meteorizadas.

El perfil de meteorización de esta unidad, con base en los sondeos realizados en K2+770, K3+110 y K3+850, muestran horizonte de saprolito (IC), de entre 3 y 4 m, infrayacido por transición saprolito roca (IIA-Deere y Patton), de entre 2 y 4 m, mientras el horizonte de roca parcialmente meteorizada (IIB), tiene por lo menos 2 m.

## 8.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

Es claro el dominio de geoformas de origen estructural en las vertientes sobre las que se desarrolla la vía. La carretera se ubica hacia la cima de un lomo divisorio de aguas, definido como unidad de origen denudacional (Dlr), si bien tiene un antecedente estructural, pues toda el área se desarrolla entre pliegues estructurales contiguos, marcada por el tren estructural regional: sur-norte. Los primeros 2 km se desarrollan sobre ladera de sierra estructural denudada (Slsed), con pendiente muy fuerte a abrupta, con estratos buzando desfavorablemente. A partir del km 1+900 la disposición estructural pasa hacia el talud interior, definiendo la unidad de contrapendiente de sierra denudada (Scpsd). Hasta el km 2+900 la mayor altura y pendiente muy fuerte a abrupta se mantiene, así como la mayor afectación por procesos morfodinámicos, desarrolladas sobre la unidad litológica más dura (Kih-Fm. Hiló).

Adelante del km 2+900 la altura y pendiente de la ladera disminuyen, desarrolladas sobre la Fm Simijaca (Kss), unidad litológica blanda, con desarrollo de relieve más suave. Luego del cambio de vertiente, entre los km 3+600 y 3+700, donde la vía atraviesa el lomo divisorio angosto (Dlra), la vía comienza a desarrollarse sobre

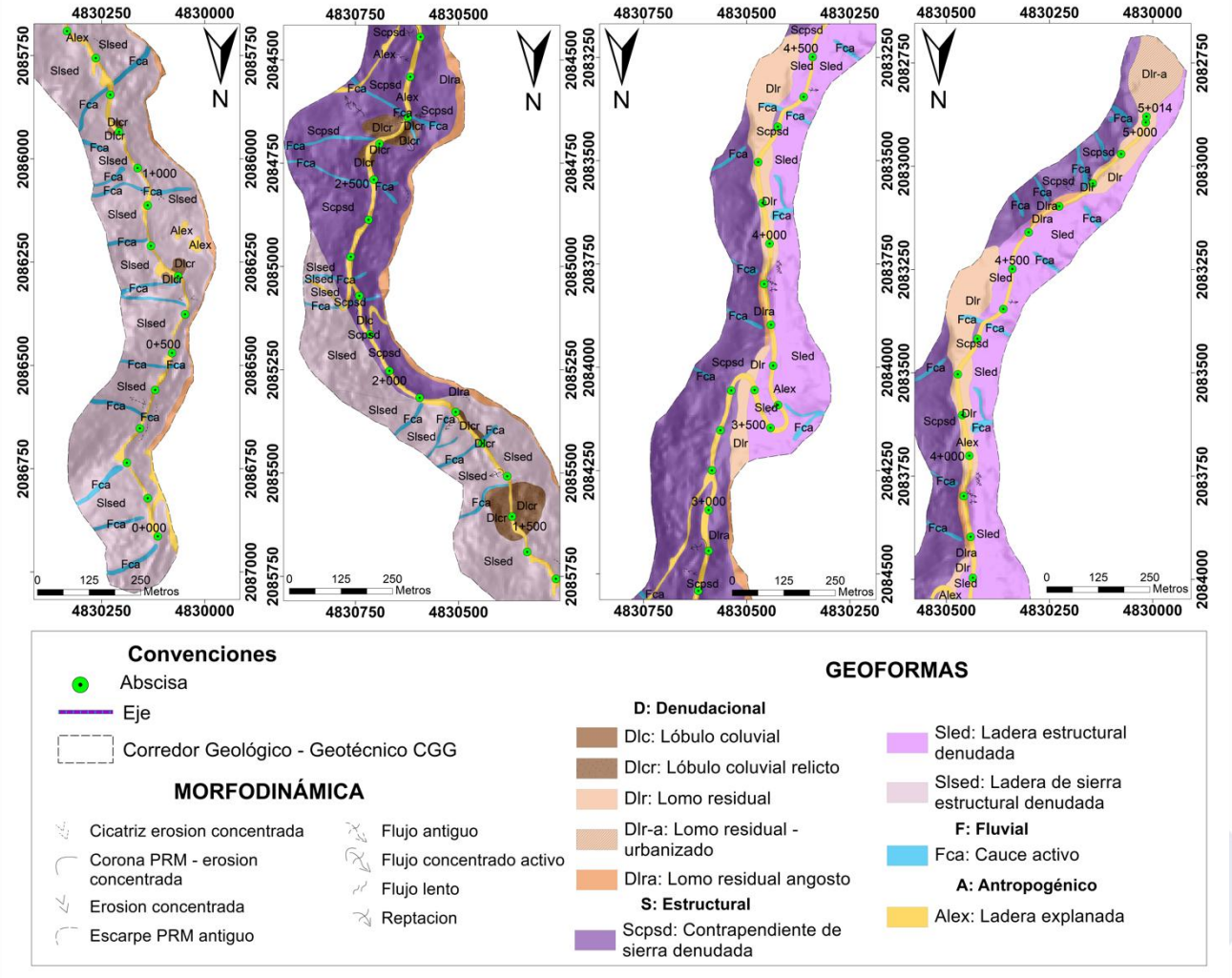
laderas estructurales denudadas (Sled), transitando entre la vertiente occidental y el lomo divisorio, con mucha menor afectación por procesos de remoción en masa.

Se diferencian, en forma localizada, lóbulos coluviales relictos (Dlcr), correspondientes con deslizamientos antiguos extensos, como los del K1+440 al K1+600 y el del K2+600 – K2+700, detectado en la fotointerpretación.

Finalmente se reconocen, con la fotointerpretación y el análisis de imágenes, geoformas de origen fluvial, correspondientes a los estrechos cauces de arroyos o pequeñas quebradas (Fca-cauce activo), que labran sus vaguadas en la vertiente. También se difererencia, como elemento del relieve de origen antrópico, el banqueo realizado para la vía, así como pequeñas construcciones aledañas. Conformadas tanto en corte como relleno.

Se describen a continuación los elementos geomorfológicos diferenciados en la cartografía del corredor geotécnico (Ilustración 59), dentro del cual se circunscribe el corredor vial, agrupados según su origen morfogenético, como geoformas de origen estructural (S), denudativo (D) fluvial (F) y antrópico (A).

Ilustración 59 Geomorfología del corredor geotécnico



### 8.2.1 ORIGEN ESTRUCTURAL (S)

- **Ladera de sierra estructural denudada (Slsed)**

Elemento de relieve que domina en el tramo inicial de la vertiente sobre la que se ubica la vía, como geoforma estructural, es decir que la disposición del buzamiento de los planos de estratificación es desfavorable, en la dirección de la cara libre del talud (al este), dominante en los 1,9 km inciales del corredor vial, aunque se continúa en la ladera exterior-inferior a la vía, hasta el K2+200. La pendiente va de muy fuerte a abrupta, con alta incidencia de procesos de remoción en masa, tanto activos como antiguos. El mayor depósito de vertiente del corredor se ubica sobre esta unidad (K1+440-K1+600).

- **Contrapendiente de sierra denudada (Scpsd)**

Elemento que domina la vertiente sobre la que se desarrolla la vía a partir del K1+900, con dirección al sur hacia Quipile, definida por la disposición favorable (hacia el interior de la ladera), de los planos de estratificación. Coincide en este tramo los afloramientos de unidades más blandas, por lo que la altura de la ladera disminuye, así como la pendiente, suavizándose el perfil del lomo que constituye la cima de la sierra. Domina la sección de la vertiente entre K2+200 y el K3+600, pasando a la vertiente oriental de la vía adelante del K3+600, cuando la vía comienza su desarrollo sobre el lomo, hasta Quipile (K5+014).

- **Ladera estructural denudada (Sled)**

Se diferencia este elemento adelante del K3+700 en la vertiente occidental del lomo que marca el desarrollo de la vía al sur del K3+650. Lo define la disposición estructural desfavorable, es decir dirección de buzamiento de los planos estratigráficos al oeste, aunque a diferencia de la sierra estructural de los primeros dos kilómetros, la pendiente de ladera disminuye a rangos entre abrupto y moderadamente abrupto, merced a una litología más blanda, con buzamiento más suave.

### 8.2.2 ORIGEN DENUDACIONAL (D)

- **Lomo residual (Dlr, Dlra)**

Se diferencia el elemento del lomo de la divisorio en la cima de la sierra. La pendiente de ladera disminuye, al rango de moderadamente abrupto a inclinado. El lomo es angosto en la parte inicial del corredor, hasta el K3+500, asociado a la zona en que las vertientes tienen mayor pendiente; al sur el lomo se amplia, correspondiéndose con menor pendiente de las vertientes, especialmente la occidental. Al extremo sur del corredor, el lomo se amplia por la intervención antrópica, que se diferencia como lomo residual urbanizado (Dlr-a).

- **Lóbulo coluvial relicto (Dlcr)**

Elementos localizados sobre las vertientes, correspondientes a depósitos coluviales antiguos, detectados por sus geoformas típicas, con contornos convexos que suavizan la pendiente. Algunos de estos pueden tener gran

extensión, como el del K1+440 – K1+600, reactivado parcialmente en su base, por las aguas de escorrentía que lo saturan, seguramente con influencia antrópica, de viviendas ubicadas en su parte alta (ver Ilustración 27 Vista desde el K1+550 -aproximadamente- hacia Tabacal (Az 355) e Ilustración 28).

### 8.2.3 ORIGEN FLUVIAL (F)

- **Cauce activo (Fca)**

Se diferencian como elementos de origen fluvial, las vaguadas de arroyos y pequeñas quebradas que atraviesan la vía, en forma casi perpendicular, sobre las vertientes, conformando patrón de drenaje sub-paralelo, con cursos de muy alta pendiente.

### 8.2.4 ORIGEN ANTROPOGÉNICO (A)

- **Ladera explanada (Alex)**

Se diferencia como geoforma asociada a este tipo de proceso morfogenético, la explanación desarrollada para la vía (Alex), tanto con cortes en la ladera como rellenos hacia el borde externo, así como en pequeñas explanaciones para la construcción de viviendas.

## 8.3 MORFODINÁMICA

La mayor afectación por morfodinámica en el corredor vial y geotécnico se da en el tramo del K0 al K2+900, en la zona de mayores pendientes y mayor altura de la ladera, además en su mayoría con buzamiento desfavorable, sobre pendientes estructurales. Los procesos de remoción en masa (PRM), con mayor incidencia son flujos concentrados sobre el talud exterior, evidenciados por coronas o escarpes erosivos que afectan el borde externo, y en ocasiones buena parte de la banca. También se observan procesos de erosión concentrada, como cárcavas en el talud exterior, en su mayoría coincidentes con puntos de descarga de aguas del bombeo de la banca.

En el talud interior se aprecian flujos de suelos y detritos, eventualmente con caída de bloques, como el del K0+600, en un talud en roca meteorizada con demasiada altura (>6m).

Tanto en campo como en la fotointerpretación se aprecian depósitos coluviales extensos, el más grande de estos entre el K1+440 y K1+600, cuya masa evidencia desplazamiento sobre la banca, en un terreno con alta saturación de agua (Ilustración 27).

Entre el K2+600-K2+700 se observa otro coluvión relicto de gran tamaño, afectado en sus flancos, tanto en la parte alta como en su base, y en el flanco derecho (hacia Supatá), asociado con un arroyo que lo limita. La disposición estructural de la ladera cambia a favorable adelante del K2+700, aunque la incidencia de flujos sigue siendo importante, casi hasta el K3, donde la altura y pendiente de la ladera disminuyen, ante el cambio a litología más blanda.

Entre el K3 y el K5 (Quipile), la condición de la vía hacia el lomo, que en este tramo se amplia, por su constitución sobre litologías más blandas (Kss-Fm Simijaca), la morfodinámica muestra menor intensidad, con flujos, erosión

concentrada (cárcavas) y reptación, asociadas con descole de obras de arte y de bombeo de la banca, así como actividades antrópicas como el pastoreo (en el caso de la reptación), favorecida por la menor pendiente de la ladera.

Los procesos morfodinámicos se han cartografiado en el plano geomorfológico (ver Ilustración 59).

# 9 GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA

Se presenta en este capítulo el análisis de las características geológicas y geomorfológicas del corredor vial, incluido dentro del corredor geotécnico, el cual se ha establecido como la franja de la vertiente en la cual se ubica la vía, en la que, los materiales, geoformas y procesos morfodinámicos que la caracterizan, llegan o pueden llegar a afectar la vía.

## 9.1 CORREDOR GEOTÉCNICO

La definición de Corredor Geotécnico se ha establecido entre el parte-aguas de la vertiente, al occidente de la vía, que como un lomo de amplitud variable, según la litología, dura o blanda que lo conforme, divide las cuencas del río Curí, por el oriente, con sus afluentes sobre la vertiente, las quebradas Guadalupe, Carbonera, El Totumo y La Laja, de norte a sur (cartografía 1:10.000 IGAC), y la quebrada Quipileña por el occidente, con sus afluentes Tabacal y Lengua Fría. Las dos corrientes colectoras, fluyen de norte a sur. La franja definida se extiende sobre las vertientes, hasta donde se percibe, tanto en el terreno como en la fotointerpretación y el mapa de pendientes, que llega o puede llegar la afectación que la morfodinámica provoque en el corredor vial.

## 9.2 ZONAS DE COMPORTAMIENTO HOMOGÉNEO

La sectorización por comportamiento geotécnico homogéneo en el corredor vial, extendida al corredor geotécnico, esta asociada con la distribución de zonas de pendientes, elementos geomorfológicos y de las unidades litoestratigráficas que conforman las vertientes en las que se desarrolla la vía. Se describen a continuación las condiciones definidas en las zonas de comportamiento homogéneo diferenciadas:

### 9.2.1 K0 – K2+900

Zona inicial al extremo norte del corredor vial, partiendo de Tabacal, que ocupa un poco más de la mitad de la longitud de la vía. En esta zona se aprecia el mayor grado de afectación morfodinámica en la vertiente, especialmente del talud exterior, por procesos de remoción en masa tipo flujo concentrado y de erosión concentrada, que afectan el borde externo de la banca. En forma localizada se observan flujos de detritos y suelo, con potencial desprendimiento de bloques, en el talud interior, en zonas anteriormente afectadas por estos procesos, o PRM de mayor magnitud, como deslizamientos.

- **Geología y geomorfología**

Desarrollada sobre secuencias de lutitas, con bancos importantes de limolitas y calizas, en las Formaciones Hiló (Kih) y Capotes (Kic), y en los 400 m finales la Fm. Simijaca. El relieve es el más prominente en la vertiente: la pendiente está en el rango de abrupta a muy abrupta (mayor de 16º, casi 29%), con laderas largas, rectas a

cóncavas, desarrolladas en su mayor parte sobre la unidad litológica más dura (Kih), aunque con importantes niveles de lutita. El buzamiento en la mayor parte del tramo es hacia el oriente (hasta el K1+900), en el sentido de la pendiente, que determinan como elemento geomorfológico dominante el de ladera de sierra estructural denudada (Slsed), cambiando, adelante del K1+900 a contrapendiente de sierra denudada (Scpsd), por el cambio de buzamiento al occidente (hacie el interior del talud).

Se diferencian lóbulos coluviales relictos (Dlcr), cubriendo puntualmente la vertiente, asociados con depósitos de vertiente (Qdv) de diversa magnitud; el más grande de estos se ubica entre el K1+440 al K1+600, con longitud de 150 m, aproximadamente desde 100 m arriba de la vía y 50 m por debajo de la banca.

- **Morfodinámica**

Los depósitos coluviales en el corredor se concentran en esta zona, con dimensiones importantes entre el K1+440-K1+600 y K2+600-K2+700, acumulados en la vertiente por PRM muy antiguos o relictos, como lo indica la cicatrización de los escarpes de deslizamiento, cubriendo especialmente la ladera interior, si bien los de mayor dimensión se extienden sobre la vertiente exterior a la banca vial. Sobre estas masas coluviales se observa afectación, principalmente por flujos que movilizan localmente el antiguo depósito de vertiente, afectando el talud de la vía. La condición de suavizamiento de la pendiente, define mayor concentración de agua, que, por el carácter acuitardo de sus materiales, favorece el desconfinamiento y removilización de los materiales (ver Ilustración 27 Vista desde el K1+550 -aproximadamente- hacia Tabacal (Az 355) e Ilustración 28).

La mayor incidencia de PRM activos es de flujos concentrados, varios de estos antiguos y que muestran reactivación, seguidos por flujo lento, reptación y erosión concentrada. Son varios los puntos en que el borde externo de la banca y el talud interior se observa afectado por coronas de flujos y erosión concentrada, como en:

- K0+050 – K0+100: erosión concentrada y borde erosivo (ver Ilustración 18 Vistas del proceso de erosión concentrada en borde externo de la banca e Ilustración 20 Panorámica de la vertiente, vista hacia Quipile (Az 190))
- K0+350: talud interior (ver Ilustración 23 Panorámica de la banca de la vía, en K0+350; vista hacia Quipile (Az 195) e Ilustración 24 Detalle del talud interno en K0+350)
- K1+600 – K1+800: talud exterior (ver Ilustración 29 Fallo del borde externo de la banca en K1+600; vista hacia Quipile (Az 170) e Ilustración 30 Fallo del borde externo de la banca en K1+800; vista hacia Quipile (Az 150))
- K2+120: cárcava talud exterior, potencial caída de detritos y bloques talud interior (ver Ilustración 32 Panorámica de la estación 5; vista hacia Quipile (Az 160) a Ilustración 34 Vista de la cárcava del K2+120, desde su corona en la banca de la vía)
- K2+180 – K2+240: Zona con afectación especialmente en talud exterior, por flujos antiguos, reactivados (ver Ilustración 35 Panorámica del sector K2+190-K2+220; vista hacia Quipile (Az 170) a Ilustración 38 Vista desde el K2+240 hacia Tabacal (Az 340))
- K2+700-K2+740: Corona de flujo en talud exterior y flujo lento en talud interior (ver Ilustración 39 Corona de flujo concentrado en la banca externa de la vía en K2+700, vista hacia Quipile (Az 185) a Ilustración 41 Afectación en los taludes en K2+740 (vista hacia Az 200))
- K2+930: Talud exterior (ver Ilustración 42 Panorámica de la corona de falla que afecta la banca en K2+930. Se señalan los vectores del desplazamiento indicados por el escalonamiento de la banca (vista hacia Az 110) e Ilustración 43 Vista del escalonamiento de la banca, hacia Tabacal (Az 360))

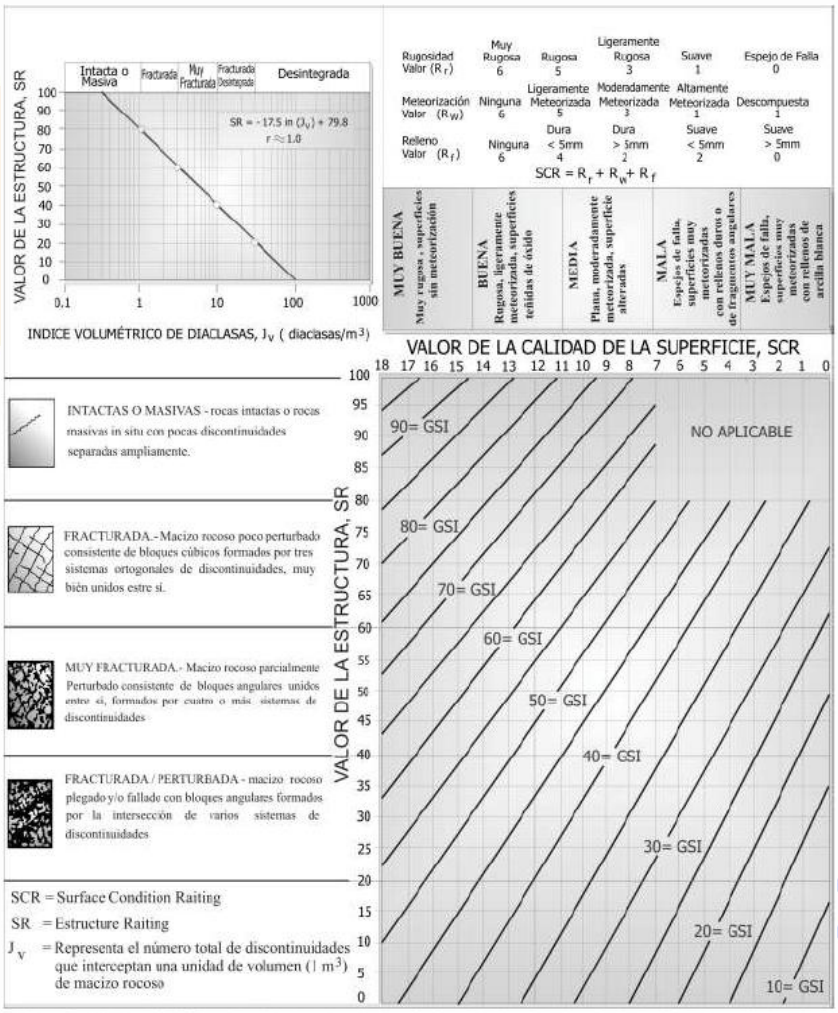
- **Geotecnia**

Como aproximación a los análisis de geotecnia, se describen las condiciones apreciadas en esta zona. La incidencia de PRM de tipo flujo concentrado y de erosión concentrada es alta, siendo además la zona con mayores afectaciones por morfodinámica en el corredor. Estos se explica por la alta susceptibilidad de la vertiente, asociada con la mayor pendiente y longitud de ladera, sobre materiales friables, como los perfiles residuales expuestos, con predominio de lutitas, dispuestas además desfavorablemente (buzamiento de la estratificación hacia la cara libre del talud -al oriente-), con procesos antiguos que se reactivan parcialmente. Desde el punto de vista antrópico, los vertimientos de agua, especialmente del bombeo de la banca, inciden claramente al detonar flujos y erosión concentrada.

## PARÁMETROS GEOMECÁNICOS

Con base en dos estaciones estructurales realizadas en este sector, se adelanto la cualificación geomecánica de los afloramientos rocosos identificados en los taludes de corte expuestos. Se utiliza el índice geológico de resistencia (GSI), de Hoek y Brown (1995), con el cual se evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y características de la fracturación, la estructura geológica, el tamaño de los bloques y la alteración de las discontinuidades (ver Ilustración 60).

Ilustración 60 Gráfica para el cálculo del GSI




ESTIMACIÓN DEL GSI SEGÚN SÖNMEZ Y ULUSAY (2002), PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN FUNCIÓN DEL GRADO Y LAS CARACTERÍSTICAS DE FRACTURACIÓN, ESTRUCTURA GEOLÓGICA, TAMAÑO DE LOS BLOQUES Y ALTERACIÓN DE LAS DISCONTINIDADES

- **K0+230**

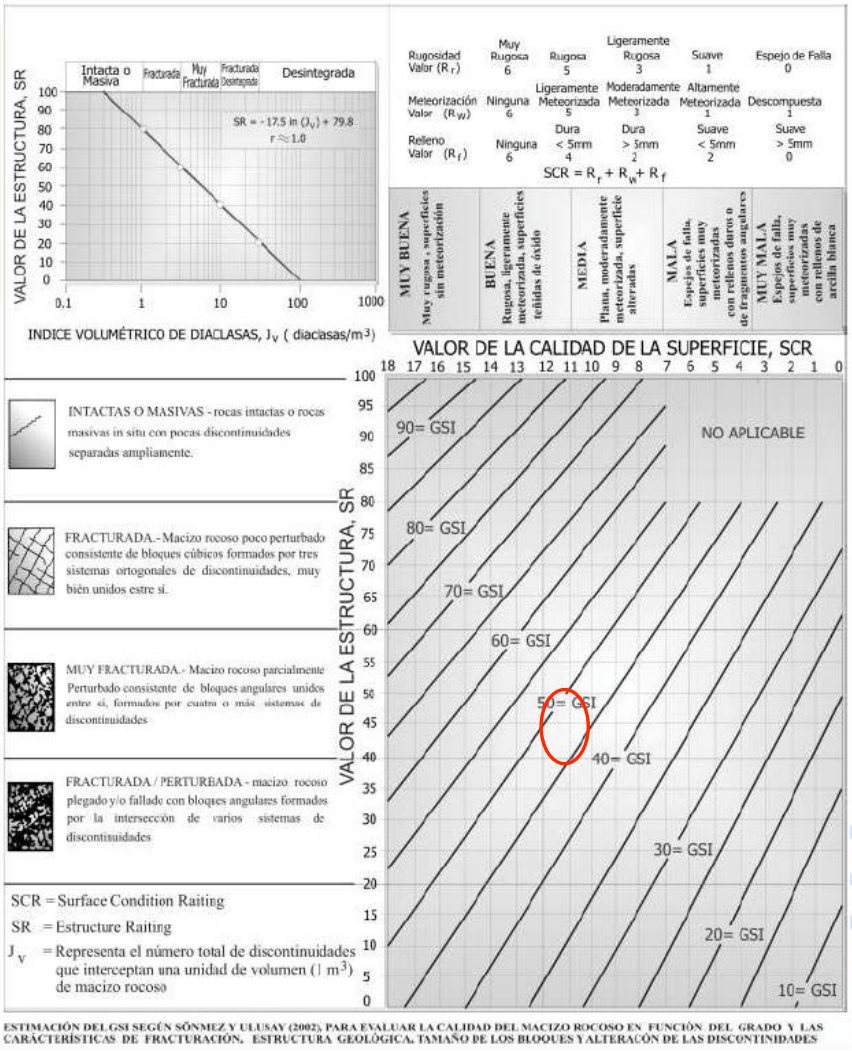
El macizo rocoso, constituido por una sucesión de capas de caliza con intercalaciones de lutita (ver Ilustración 22 Panorámica del talud rocoso en K0+230), corresponden a rocas con meteorización media, catalogadas con dureza de campo (ver Ilustración 6 Dureza de la roca frente a la navaja y el martillo geológico. Fuente: Adaptado de US. Bureau of Reclamation (1990), en "Engineering Geology Field Manual".), de roca media para las capas de caliza y roca débil para las lutitas. De acuerdo con el levantamiento de discontinuidades realizado (ver Tabla 1 Caracterización de los planos de discontinuidad en K0+230), se establecen los siguientes parámetros, para catalogar el macizo rocoso con el GSI:

Rr: 2; Rw: 3; Rf: 6; SCR -> Rr+Rw+Rf = 2+3+6 = 11

SR: 40-50 (densidad de las discontinuidades)

El GSI estimado, según los valores establecidos para los parámetros de SCR y SR en el sector del K0+230 está entre 45 y 50 GSI (ver Ilustración 61).

Ilustración 61 GSI estimado en el K0+230




ESTIMACIÓN DEL GSI SEGÚN SÖNMEZ Y ULUSAY (2002), PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN FUNCIÓN DEL GRADO Y LAS CARACTERÍSTICAS DE FRACTURACIÓN, ESTRUCTURA GEOLÓGICA, TAMAÑO DE LOS BLOQUES Y ALTERACIÓN DE LAS DISCONTINIDADES

- **K2+120**

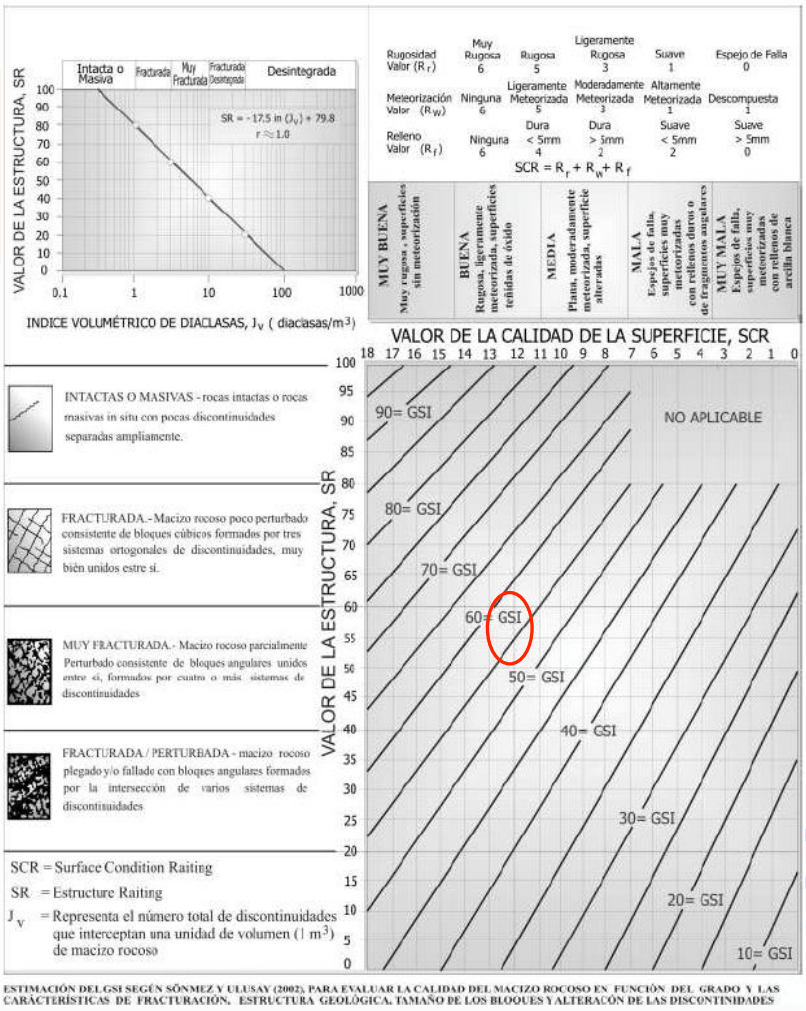
En este sector la secuencia rocosa aflorante son capas de caliza y limolita, con niveles de lutita intercalados, con meteorización moderada a ligera meteorización (clase III-II ISRM), catalogadas con dureza de campo (ver Ilustración 6 Dureza de la roca frente a la navaja y el martillo geológico. Fuente: Adaptado de US. Bureau of Reclamation (1990), en "Engineering Geology Field Manual".), de roca media a débil. Según el levantamiento de discontinuidades realizado (ver Tabla 2 Caracterización de los planos de discontinuidad en K2+120), se establecen los siguientes parámetros, para catalogar el macizo rocoso con el GSI:

Rr: 3; Rw: 3; Rf: 6; SCR -> Rr+Rw+Rf = 2+3+6 = 12

SR: 50-60 (densidad de las discontinuidades)

El GSI estimado, según los valores establecidos para los parámetros de SCR y SR en el sector del K0+230 está entre 55 y 60 GSI (Ilustración 62).

Ilustración 62 GSI estimado en el K2+120




ESTIMACIÓN DEL GSI SEGÚN SÖNMEZ Y ULUSAY (2002), PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN FUNCIÓN DEL GRADO Y LAS CARACTERÍSTICAS DE FRACTURACIÓN, ESTRUCTURA GEOLÓGICA, TAMAÑO DE LOS BLOQUES Y ALTERACIÓN DE LAS DISCONTINIDADES

### 9.2.2 K2+900 – K3+700

- **Geología y geomorfología**

Sector de transito entre la vertiente oriental, el lomo divisorio -sobre el que se ubica el centro poblado de Quipile- y la vertiente occidental. Litológicamente afloran, entre el K2+900 y el K4+300 la Fm. Simijaca (Kss), y en el tramo final la Fm. Capotes (Kic). La disposición estructural en la vertiente oriental es favorable -hacia el talud interior- pasando a desfavorable a partir del K3+400, donde comienza el descenso desde el lomo sobre la vertiente occidental. Tanto la pendiente, con dominio del rango de abrupto a suavemente inclinado (en forma localizada muy abrupta), como la altura de la ladera disminuyen, disminuyendo consecuentemente la altura de los taludes de corte.

- **Morfodinámica**

Se detectan flujos concentrados y erosión concentrada, que afectan la ladera exterior de la vía. El PRM de mayor afectación a la vía se localiza en K2+930 (ver Ilustración 42 Panorámica de la corona de falla que afecta la banca en K2+930. Se señalan los vectores del desplazamiento indicados por el escalonamiento de la banca (vista hacia Az 110) e Ilustración 43 Vista del escalonamiento de la banca, hacia Tabacal (Az 360)).

- **Geotecnia**

La susceptibilidad en este sector disminuye, básicamente por la menor pendiente y altura de los cortes, minimizándose la incidencia de procesos de remoción en masa. Sin embargo, se observan varios escarpes de PRM que afectan el borde externo de la banca, como asentamientos por flujo lento en la ladera exterior,

### 9.2.3 K3+700 – K5+014

- **Geología y geomorfología**

En el sector final diferenciado de la vía discurre entre el lomo y las vertientes que lo flanquean, especialmente la occidental, al costado derecho, según el avance del abscisado. Litológicamente la ladera está constituida sobre suelos residuales sobre rocas blandas, con dominio de lutitas, de las Formaciones Simijaca y Capotes. Los eventuales cortes son bajos, menores a 3 m, con baja incidencia de PRM y erosivos.

- **Morfodinámica**

Los PRM se ubican en la ladera exterior, tanto en la vertiente occidental como oriental del lomo, como flujos y erosión concentrada que afectan el borde externo de la banca, en la mayoría de los casos en el descole de obras de arte y salidas de agua del bombeo de la banca.

- **Geotecnia**

La susceptibilidad en este sector disminuye, básicamente por la menor pendiente y altura de los cortes, minimizándose la incidencia de procesos de remoción en masa, aunque también esta menor pendiente incentiva más construcciones y potrerización del terreno, para pastoreo de ganado, lo cual incrementa la susceptibilidad del terreno, con generación de terracetas, que eventualmente provocan reptación y flujo en zonas de concentración de aguas de escorrentía.

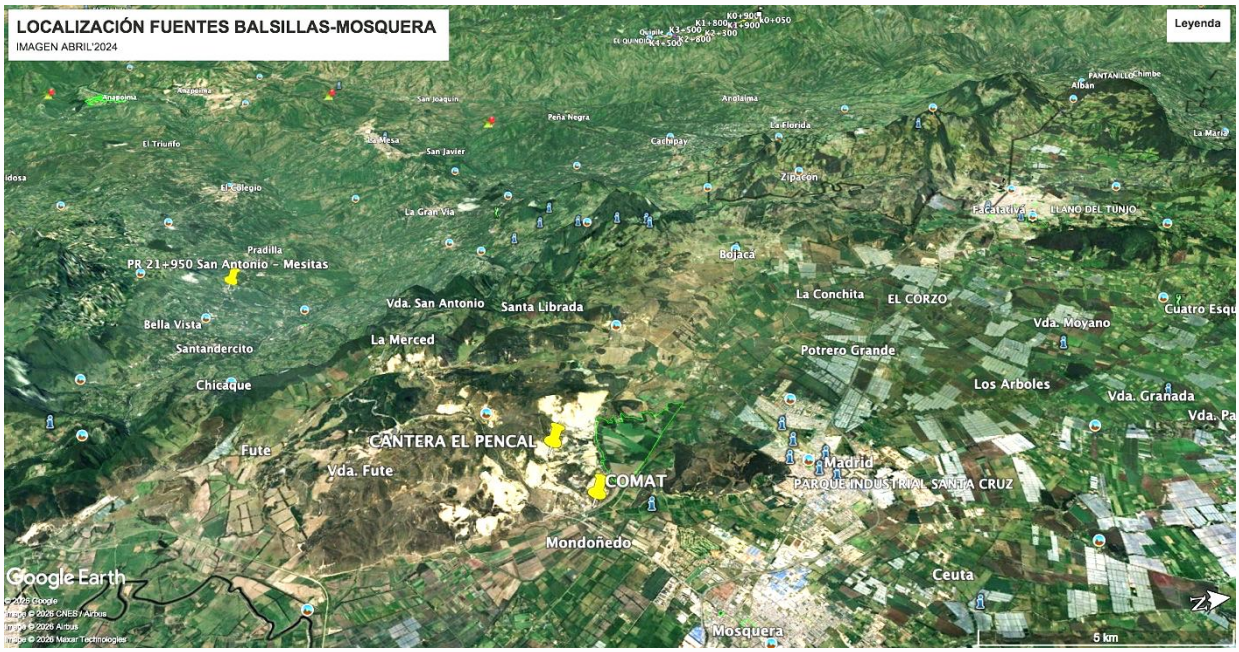
# 10 FUENTES DE MATERIALES Y ZODMES

Se presentan en este capítulo las fuentes de material acogidas para el proyecto, y la localización y caracterización de lugares para la disposición adecuada de los estériles que puedan resultar de las obras de mejoramiento y rehabilitación planteadas.

## 10.1 FUENTES DE MATERIAL

Para el suministro de los materiales que puedan requerir las obras planteadas por los diseños planteados, las fuentes con las características adecuadas, que cuentan además con los títulos mineros y licencia ambiental, son las que se ubican en el sector de Mondoñedo, sobre la vía que de Mosquera conduce a La Mesa (Ilustración 63). Se presentan aquí las dos fuentes de material recomendadas.

Ilustración 63 Localización de las fuentes de material en el sector de Balsillas, con la vía Quipile-Tabacal al occidente




Fuente: Elaboración propia sobre vista inclinada imagen Google Earth

El acarreo es de 63 km, por la vía Balsillas – Mosquera – Facatativá – Quipile.

### 10.1.1 COMAT (Construcciones y Materiales). CANTERA CERRO GRANDE

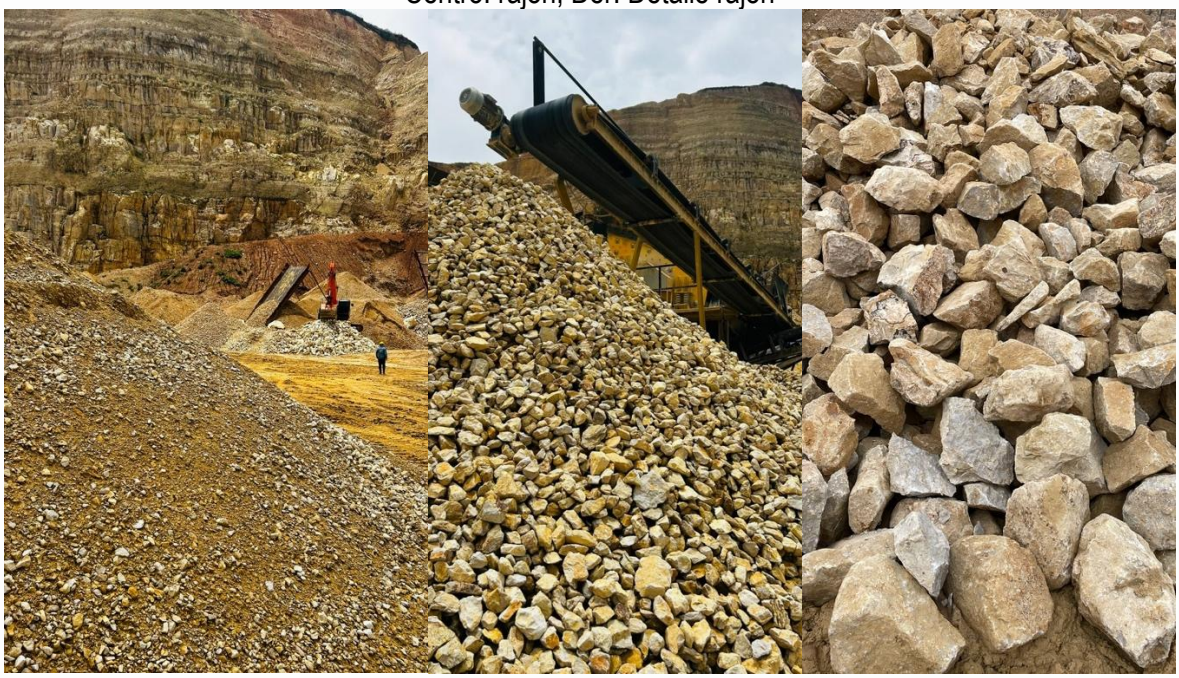
**Geología**

En el sector de Balsillas se benefician material de la Formación Labor y Tierna, constituida por areniscas cuarzosas, de grano fino a medio, algo friables, con intercalaciones de lodolitas, a veces silíceas, y limolitas de cuarzo, también aflora en la zona la Formación Arenisca Dura (ambas del Grupo Guadalupe), de edad cretáceo superior), constituida por cuarzoareniscas de grano fino, duras, intercaladas con limolitas silíceas. Por su dureza son empleadas como agregados, luego de trituración y selección, para concretos y asfaltos. Aflora también Es una roca más blanda que la Arenisca Dura, tomando su nombre porque su uso inicial fue como roca ornamental, para enchapes y lápidas. Por lo general es usada como arena.

**Caracterización**

En la fuente COMAT-cantera Cerro Grande, se benefician los materiales del frente rocoso occidental, beneficiando desde roca rajón hasta triturado y arena. Se ofrece sub-base, base, recebo seleccionado (B200), arena de trituración y triturado (Ilustración 64).

Ilustración 64 Aspectos el material en el patio de la cantera Cerro Grande: Izq: Frente rocos y triturado, Centro: rajón; Der: Detalle rajón



### 10.1.2 CANTERA EL PENCAL

Fuente con características geológicas similares a la cantera COMAT, localizadas cerca, sobre el mismo frente rocoso (ver Ilustración 63), ofreciendo materiales similares: sub-base, base, triturado ½", ¾", 1", pedraplén 6", piedra rajón de máximo 50 y 30 cm, entre otros materiales (Ilustración 65).

Ilustración 65 Materiales ofrecidos por la cantera El Pencal




### 10.2 ZODME

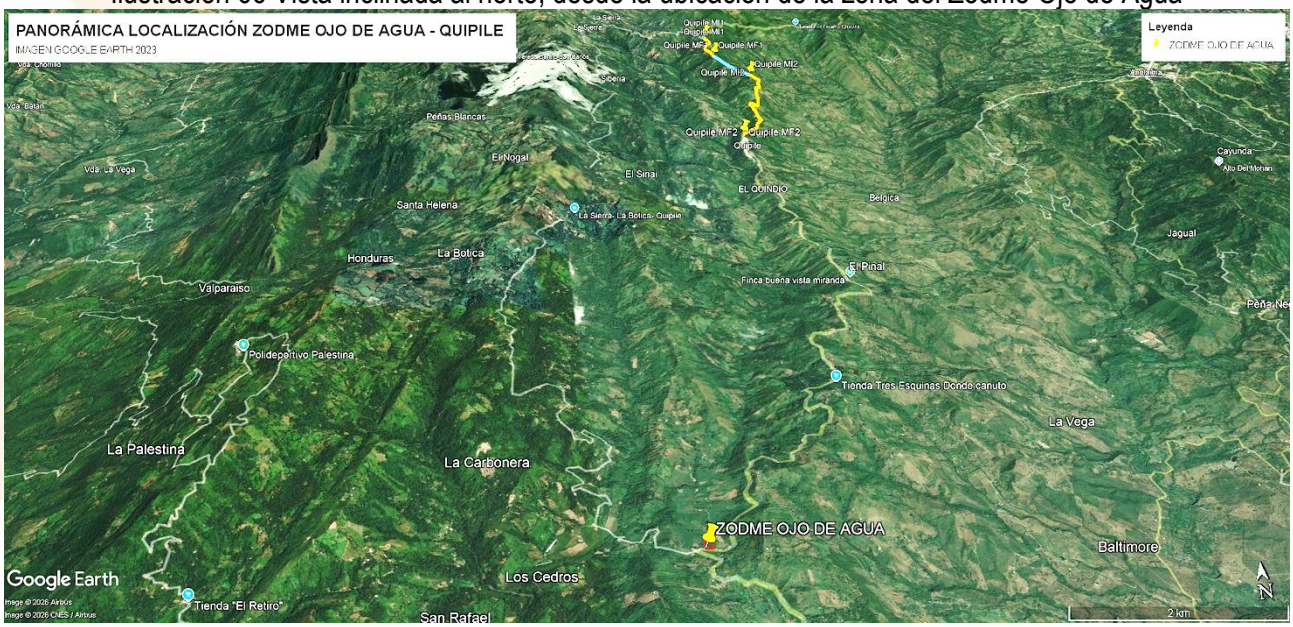
La condición de lomo estrecho sobre el que se desarrolla la vía, dificulta dentro del corredor vial la ubicación de sitios para la disposición de materiales sobrantes: estériles, escombros. Se aprecia una zona cerca de 12 km al sur de Quipile, aledaña a la vía que de Quipile conduce a San Joaquín (Ilustración 66), en el sector conocido como Ojo de Agua, en un sector con relieve bajo, conformado sobre arcillolitas laminadas gris oscuras a pardo rojizas, del Miembro Anapoima de la Formación Trincheras (INGEOMINAS, 1998).

El área prevista tiene área aproximada de 1 hectárea, sobre relieve colinado a montano bajo (ver Ilustración 67 e Ilustración 68), que manejando espesor promedio de 4 a 5 m de altura, permitiría acomodar entre 40.000 y 50.000 $m^3$. Se trata de un área con acceso, con carreteable por uno de sus costados (vía Quipile – San Joaquín), con terreno firme, sin evidencias de procesos de remoción en masa, escasa cobertura vegetal (pastos o cultivos rotativos, como caña), que podría manejarse con contenciones en la base de la ladera, y adecuado drenaje.

La localización del vértice suroccidental del polígono (sobre la vía, en el extremo hacia San Joaquín, es:

N 2073944
E 4827761

Ilustración 66 Vista inclinada al norte, desde la ubicación de la zona del Zodme Ojo de Agua



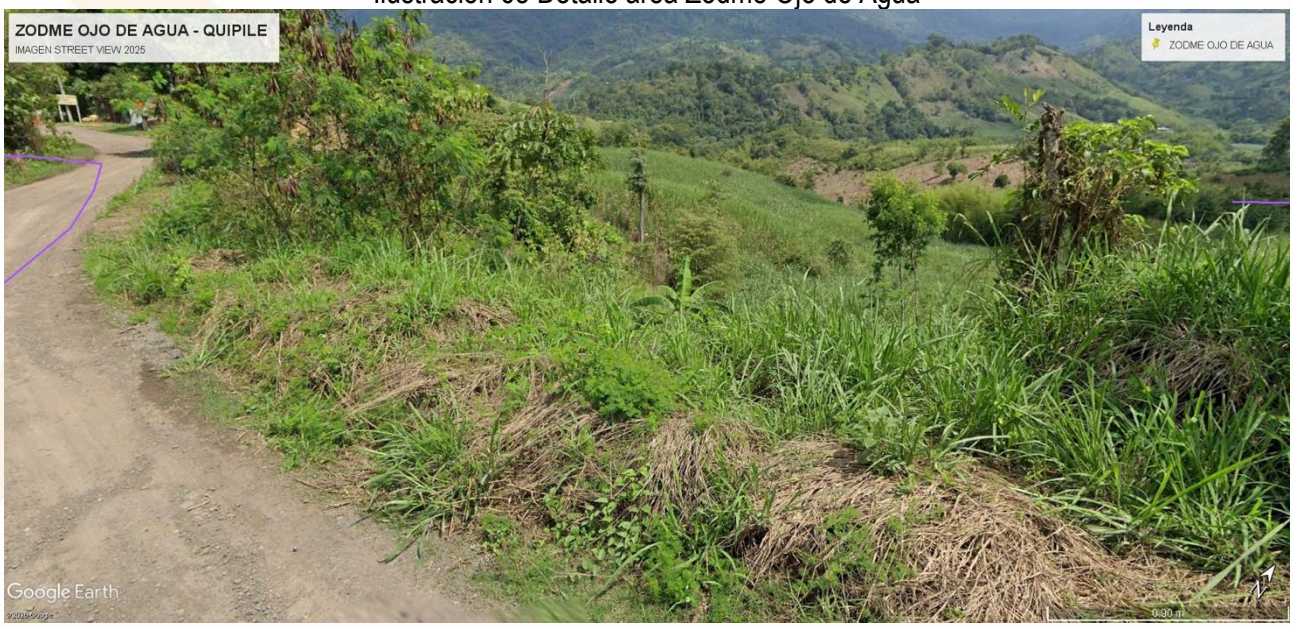

Fuente: Elaboración propia sobre vista inclinada imagen Google Earth

Ilustración 67 Panorámica polígono ZODME Ojo de Agua




Fuente: Elaboración propia sobre vista inclinada imagen Google Earth

Ilustración 68 Detalle área Zodme Ojo de Agua




Fuente: Street View de Google Earth

# 11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El corredor vial Tabacal – Quipile se desarrolla entre el lomo y los flancos de vertientes estructurales, desarrolladas sobre unidades litológicas cretáceas, Formaciones Capotes (Kic), Hiló (Kih), y Simijaca (Kss), con dominio de niveles de lutita, con intercalaciones de calizas y limolitas.

- La disposición estructural en los primeros 2,9 km es desfavorable (buzando en el sentido de la pendiente), con relieve abrupto y alargado, condiciones de alta susceptibilidad, que coinciden con la mayor afectación por morfodinámica, predominantemente flujos concentrados y erosión concentrada, que afectan especialmente el borde externo de la banca (costado izquierdo en el sentido de avance del abscisado), aunque también en el talud interior se observan flujos de suelo y detritos, con algo de caída de bloques, en taludes con demasiada altura, subverticales.

- Entre K1+440 al K1+600, se observa una gran masa coluvial antigua, que actualmente se mueve en su parte baja, lentamente sobre la banca, en una zona con alta saturación, favorecida por su geoforma baja dentro de la vertiente escarpada.

- Adelante del K2+900 los procesos morfodinámicos disminuyen su afectación de la vía, correspondiendo con un suavizamiento de la sección del relieve, con la vía discurriendo predominantemente sobre el lomo, con cortes mínimos, que en forma puntual alcanzan los 3 m. Se aprecian bordes erosivos en la banca, formados por flujos concentrados y reptación sobre la vertiente externa, que cambia de la izquierda a la derecha de la vía, aproximadamente en el K3+400, donde la vía cruza el lomo.

- Se recomienda terracear cortes superiores a 4 m, dejando una berma que permita el mantenimiento, retirando los materiales desprendidos desde el talud superior. Los cortes altos se encuentran en roca, por lo que la empredización no será exitosa. Deben evitarse árboles y arbustos cercanos al talud, pues constituyen un factor adicional de estabilidad.

- El manejo de aguas de descole de la vía es fundamental, por las condiciones de alta susceptibilidad expuestas. Importante el filtro en el borde interno, descoles de obras protegidos, y por lo menos un bordillo que evite la salida de aguas de bombeo de la banca.

- En el sector del K1+440-K1+600 debería adelantarse una fuerte campaña que drene la masa coluvial, con coronas captación de aguas y filtros en espina de pescado. El carácter de material fino que lo constituye (depósito coluvial matriz-soportado), hace que se comporte como un acuitardo, que por definición retiene agua, pero retarda su evacuación, por lo que no se le ve mucho éxito a la implementación de filtros sub-horizontales, los cuales normalmente se saturan con estos materiales.

- Se contemplan, como fuentes de material con características idóneas para los requerimientos constructivos para la rehabilitación y mantenimiento de la vía y licenciamiento minero y ambiental, los del sector de Balsillas, en el municipio de Mosquera. La distancia de acarreo es de 63 km, hasta Tabacal.

- Como ZODME se plantea un área a 12 km de Quipile, vía San Joaquín, con capacidad de entre 40.000 y 50.000 $m^3$.

## 12 BIBLIOGRAFÍA


- INGEOMINAS, 1998. Cartografía geológica de la plancha 227-La Mesa.
- INGEOMINAS, 2000. Atlas de aguas subterráneas de Colombia, mapa de unidades hidrogeológicas de la plancha 5-09.
- INGEOMINAS, 2012. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia.
- MONTES, N., SANDOVAL, A., 2001. Base de datos de Fallas activas de Colombia - Recopilación Bibliográfica. INGEOMINAS-Bogotá.
- SGC, 2016. Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.
- SGC-IDEAM, 2016. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de la plancha 227-La Mesa
- SGC-UPTC, 2018. Mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa de la plancha 227-La Mesa.
-