Consorcio
CUNDINAMARCA JINT 17

INFORME DE ESTUDIO TALUDES

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".

VÍA QUE CONECTA EL CRUCE CON EL CORREDOR BOGOTÁ – FONTIBÓN – FACATATIVÁ - LOS ALPES, SECTOR LA VIRGEN, HASTA LA VÍA FACATATIVÁ – EL ROSAL

VERSIÓN 02

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".	**INFORME DE ESTUDIO DE TALUDES VÍA QUE CONECTA EL CRUCE CON EL CORREDOR BOGOTÁ – FONTIBÓN - FACATATIVÁ - LOS ALPES, SECTOR LA VIRGEN, HASTA LA VÍA FACATATIVÁ - EL ROSAL**

CONTROL DE CAMBIOS

Rev.	Fecha	Descripción
1	04/Junio/2026	Entrega inicial para revisión de la interventoría mediante comunicado CCJINT17-0783-0733-26 del 04/Jun/2026
2	03/Ago/2026	Respuesta a comunicado T-003-2025-277-OFC, mediante comunicado CCJINT17-0783- 0988-26 del 03/Ago/2026
3		

REPRESENTANTES CONSULTORÍA – CONSORCIO CUNDINAMARCA JINT 17

REALIZÓ Esp. Geotecnia Consultoría	NOMBRE:	Ing. Diego A. Reyes V.
	FIRMA	
	MAT:	25202 - 75597 CND
REVISÓ y APROBÓ Director de Estudios y Diseños	NOMBRE:	Ing. César Augusto Palacios Wilches
	FIRMA	
	MAT:	25202-079229 CND

REPRESENTANTES INTERVENTORÍA – INGEOCIM S.A.S.

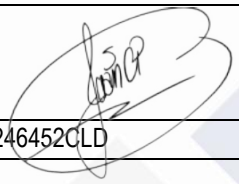
REVISIÓN Esp Geotecnia Interventoría	NOMBRE:	Ing. Gino Omar Villamizar Arévalo
	FIRMA	
	MAT:	54202-297489 NTS
VALIDACIÓN y APROBACIÓN Director Interventoría	NOMBRE:	Ing. Juan Carlos Pineda Suarez
	FIRMA	
	MAT:	1720246452CLD

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

1. INTRODUCCIÓN 7

2. OBJETIVOS 9
2.1 OBJETIVO GENERAL 9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 9

3. GENERALIDADES DEL CONTRATO 10
3.1 NÚMERO DEL CONTRATO: 10
3.2 OBJETO DEL CONTRATO: 10
3.3 CONTRATISTA 10
3.4 INTERVENTORÍA 10
3.5 ALCANCE DEL PROYECTO 11
3.6 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO: 11

4. GENERALIDADES 13
4.1 UBICACIÓN 13

5. DIAGNOSTICO PRELIMINAR 14
5.1 ANCHOS DE VÍA 14
5.2 OBRAS DE DRENAJE 16
5.3 OBRAS DE CONTENCIÓN 17
5.4 SITIOS CRÍTICOS 17
5.5 ESTADO DEL PAVIMENTO 17
5.6 CONCLUSIONES 19

6. GEOLOGÍA 20
6.1 GEOLOGÍA REGIONAL 20
6.1.1 ESTRATIGRAFÍA 21
6.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 23
6.3 GEOLOGÍA LOCAL 24
6.4 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL 25
6.5 AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA 26

7. TRABAJOS DE CAMPO 28
7.1 EXPLORACIÓN DIRECTA DEL SUBSUELO 28
7.2 EXPLORACIÓN INDIRECTA DEL SUBSUELO 30

8. DIAGNÓSTICO GEOTÉCNICO 36
8.1 CORREDOR GEOTÉCNICO 36
8.2 DIAGNÓSTICO DEL CORREDOR 36
8.3 ENSAYOS DE CAMPO 37
8.4 NIVEL FREÁTICO 38
8.5 PERFIL ESTRATIGRÁFICO 38
8.6 RESULTADOS DE LABORATORIO 40

8.7 PARÁMETROS DE RESISTENCIA 49
8.8 PARÁMETROS DE DEFORMACIÓN 49
8.9 SECTORIZACIÓN....53
8.10 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS 54

9. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD 56
9.1 SITIOS CRÍTICOS 56
9.2 ANÁLISIS DE CORTES 56
9.3 PERFIL DEL SUELO....60
9.4 AMENAZA SÍSMICA 62

10. POTENCIAL EXPANSIVO.... 67

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 69

12. LIMITACIONES.... 71

13. REFERENCIAS TÉCNICAS 72

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Localización de los tramos a ejecutar. 11
Ilustración 2. Tramo Cruce Corredor Bogotá – Fontibón a vía Facatativá – El Rosal 12
Ilustración 3. Tramo Cruce Corredor Bogotá – Fontibón a vía Facatativá – El Rosal 13
Ilustración 4. Fotografía en el K0+020 15
Ilustración 5. Fotografía en el K0+120 15
Ilustración 6. Box en el K2+650....16
Ilustración 7. Box en el k2+650 17
Ilustración 8 Fotografía en el K0+070 18
Ilustración 9 Fotografía en el K0+140 18
Ilustración 10 Fotografía en el K1+050 19
Ilustración 11 Geología regional corredor vial Facatativá-La Virgen – El Rosal....20
Ilustración 12 Principales rasgos estructurales de la plancha 227-La Mesa 23
Ilustración 13. Geología local Zipaquirá - El Rosal....24
Ilustración 14 Geomorfología regional corredor vial Facatativá-La Virgen – El Rosal....25
Ilustración 15 Zonificación de amenaza por movimientos en masa. Se señala en rojo el tramo vial en estudio 27
Ilustración 16 Localización de sondeos.....29
Ilustración 17 Ubicación líneas sísmicas.....31
Ilustración 18 Ubicación de TRS-01 32
Ilustración 19 Ubicación de TRS-02.....33
Ilustración 20 Resultados del procesamiento e interpretación de la línea MASW-01....34
Ilustración 21 Corredor Geotécnico para el tramo Facatativá – El Rosal, sector La Virgen 36
Ilustración 22 Perfiles de variación de la Resistencia en el ensayo de SPT 37
Ilustración 23 Resultados nivel freático 38
Ilustración 24 grafica resultados de clasificación del suelo. 44
Ilustración 25 Carta de plasticidad 45
Ilustración 26 grafica de consistencia del suelo 46
Ilustración 27 grafica de resultados de granulometría....47
Ilustración 28 grafica de resultados de compresión inconfinada 48
Ilustración 29 Perfil de resistencia puente S1. 51
Ilustración 30 Perfil de resistencia puente S2. 52
Ilustración 31 Perfiles estratigráficos encontrados en la exploración geotécnica directa 53
Ilustración 32 Sección analizada.....57
Ilustración 33 Análisis de estabilidad sin sismo – Estabilidad Global....58
Ilustración 34 Análisis de estabilidad con sismo – Estabilidad Global....59
Ilustración 35 Mapa valores PGA....62
Ilustración 36 Mapa valores Ss 62
Ilustración 37 Mapa valores S1 64

Índice de Tablas

Tabla 1 Anchos Promedio de Vía. 14
Tabla 2 Obras de Drenaje. 16
Tabla 3 Localización de sondeos 29
Tabla 4 Perfil estratigráfico de campo puente Sondeo S-1 38
Tabla 5 Perfil estratigráfico de campo puente Sondeo S-2 39
Tabla 6 Resumen resultados de laboratorio 41
Tabla 7 Sectores definidos según la estratigrafía 54
Tabla 8 Tipo de terreno según la morfología encontrada 54
Tabla 9 Sectorización definitiva del corredor vial 54
Tabla 10 Parámetros geotécnicos Sector 1 54
Tabla 11 Parámetros geotécnicos Puente S-1 55
Tabla 12 Parámetros geotécnicos Puente S-2 55
Tabla 13 Resumen de cortes proyectados. 56
Tabla 14 Perfil de Suelos Sondeo 1 60
Tabla 15 Perfil de Suelos Sondeo 2 61
Tabla 16 Resumen resultados de perfil de suelo obtenidos. 61
Tabla 17 factor de sitio segun Tabla 3.10.3.2-2 65
Tabla 18 factor Fa segun Tabla 3.10.3.2-3 65
Tabla 19 factor Fv segun Tabla 3.10.3.2-3 65
Tabla 20 Resumen factores obtenidos 65

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.

En el presente informe se tiene como finalidad realizar el análisis centrado en la estabilidad de los puntos críticos identificados en el corredor vial que desde la vía que conecta el cruce con el corredor Bogotá – Fontibón - Facatativá - los Alpes, sector la virgen, hasta la vía Facatativá - el Rosal, departamento de Cundinamarca.

El estudio aborda el análisis de estabilidad y la evaluación de condiciones de posible inestabilidad a lo largo del tramo, considerando factores geológicos, geotécnicos, geomorfológicos e hidrológicos que inciden en el comportamiento de los taludes y la estructura vial.

Asimismo, contempla la formulación de recomendaciones de estabilización y/o la implementación de obras complementarias, el diseño de estructuras de contención tipo suelo reforzado cuando sea requerido, y la definición de medidas de reforzamiento orientadas a garantizar la estabilidad y funcionalidad del corredor vial.

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.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el análisis de estabilidad de puntos críticos, para el mejoramiento para la vía, del polígono suministrado para la vía que conecta el cruce con el corredor Bogotá – Fontibón - Facatativá - los Alpes, sector la virgen, hasta la vía Facatativá - el Rosal, para el CONTRATO DE CONSULTORÍA ICCU-783-2025 **ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA CORREDORES VIALES EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA**

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos para la realización del estudio son:

- Revisión documental y técnica de los estudios previos o información de referencia existente para el corredor vial.
- Exploración geotécnica encaminada a la caracterización de los materiales encontrados.
- Revisión y determinación del perfil estratigráfico del terreno mediante sondeos directos.
- Caracterización geomecánica del terreno mediante pruebas de resistencia y deformación en campo y laboratorio.
- Determinación de los parámetros de resistencia y deformación de los suelos.
- Determinar la caracterización geológica regional y local asociada al corredor vial objeto de estudio.
- Determinarse las condiciones de taludes para los sitios que se requieran y los análisis de estabilidad.
- Plantear las recomendaciones constructivas pertinentes, esto de acuerdo con los resultados de los análisis de estabilidad.
- Establecer los sectores críticos del tramo y en caso de existir determinar la dinámica del movimiento, sus causas y las obras requeridas para su estabilización que permitan la operación vehicular de manera adecuada y segura.

3. GENERALIDADES DEL CONTRATO

3.1 NÚMERO DEL CONTRATO:

ICCU-783-2025

3.2 OBJETO DEL CONTRATO:

"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 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".

3.3 CONTRATISTA

El 06 de noviembre de 2025 suscribió el Acta de Inicio No. 01 del Contrato ICCU No. 783 de 2025 , dando inicio formal a la ejecución del proyecto a cargo del CONSORCIO CUNDINAMARCA JINT 17 por un valor total de $4.589.706.723,00. El objeto contractual consiste en REALIZAR LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LAS VÍAS: 1. DESDE EL CASCO URBANO DE LENGUAZAQUE AL CASCO URBANO DE VILLAPINZÓN; 2. DESDE EL CASCO URBANO DE JERUSALÉN AL CRUCE DE LA VÍA RUTA 45; 3. DESDE EL SECTOR TABACAL AL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE QUIPILE; 4. DESDE EL CASCO URBANO DE CHOCONTÁ AL CASCO URBANO DE CUCUNUBÁ; 5. CONEXIÓN DEL CRUCE CON EL CORREDOR BOGOTÁ-FONTIBÓN-FACATATIVÁ-LOS ALPES, SECTOR LA VIRGEN, HASTA LA VÍA FACATATIVÁ-EL ROSAL; Y 6. DESDE EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE SUPATÁ AL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE PACHO. Para el desarrollo de estas actividades, se estableció un plazo de ejecución de ocho (8) meses , fijando como fecha de terminación el 06 de julio de 2026.

3.4 INTERVENTORÍA

CONTRATO N° ICCU-CTO-881-2025.

INTERVENTORÍA A LA CONSULTORÍA PARA REALIZAR LOS 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 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.

3.5 ALCANCE DEL PROYECTO

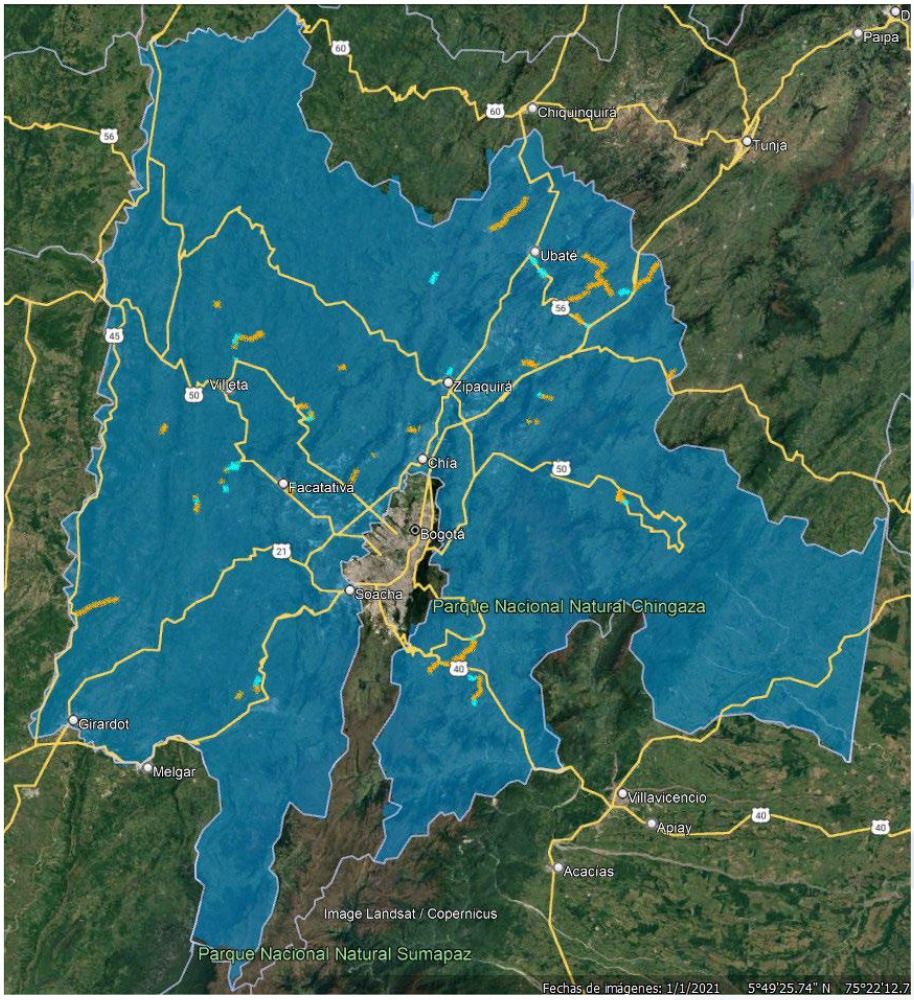
Realizar todos los estudios y diseños definitivos, Fase III, en las vías secundarias priorizadas existentes en el Departamento de Cundinamarca, utilizando metodologías y tecnologías de punta que le permitan al Departamento avanzar en el desarrollo de la infraestructura vial para la competitividad, en armonía con el Plan Nacional de Desarrollo y el Plan Departamental de Desarrollo.

Evaluar los costos precisos de la ejecución de las obras, teniendo en cuenta los costos de mitigación ambiental cuantificados de conformidad con la naturaleza de cada tramo vial.

3.6 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO:

Los estudios y diseños se realizarán en diferentes corredores viales del Departamento. Los cuales se muestran en las siguientes ilustraciones.

Ilustración 1. Localización de los tramos a ejecutar.



Fuente: Tomado del Anexo Técnico del proceso ICCU-CM-017-2025

Ilustración 2. Tramo Cruce Corredor Bogotá – Fontibón a vía Facatativá – El Rosal



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

4. GENERALIDADES

El objeto del Contrato es "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".

4.1 UBICACIÓN

El corredor vial objeto del presente estudio se localiza en la Sabana de Occidente del departamento de Cundinamarca. El tramo corresponde a la vía que conecta el cruce con el corredor Bogotá – Fontibón – Facatativá – Los Alpes, en el sector La Virgen, con la vía Facatativá – El Rosal, atravesando un territorio caracterizado por relieves suavemente ondulados y sectores de transición hacia zonas de ladera, propios de la dinámica geomorfológica de la Sabana de Bogotá.

El área de influencia del proyecto se encuentra en jurisdicción del municipio de Facatativá, uno de los principales centros urbanos y de desarrollo económico de la provincia de Sabana Occidente, ubicado al occidente de Bogotá D.C.

El corredor vial comprendido dentro del alcance del proyecto constituye un eje de conexión estratégica entre la red vial regional y los corredores que comunican los municipios de Facatativá y El Rosal, facilitando la movilidad de la población, el transporte de bienes y servicios, así como la integración de las actividades productivas, comerciales y agrícolas que se desarrollan en esta zona del departamento.

Ilustración 3. Tramo Cruce Corredor Bogotá – Fontibón a vía Facatativá – El Rosal



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

5. DIAGNOSTICO PRELIMINAR

Se realizaron recorridos de inspección a lo largo de la vía que conecta el cruce con el corredor Bogotá – Fontibón – Facatativá – Los Alpes, sector La Virgen, con la vía Facatativá – El Rosal, con el fin de recopilar información sobre el estado actual del corredor. Durante las visitas de campo se efectuó el inventario de las estructuras existentes, incluyendo alcantarillas, box culverts, pontones y demás obras de drenaje, así como la identificación de puntos críticos asociados a procesos de inestabilidad de taludes, fenómenos de erosión, afectaciones a la banca y deficiencias en el manejo de las aguas superficiales y subsuperficiales.

El abscisado presentado en este documento se encuentra referenciado a los elementos de control y amarre establecidos para el proyecto. Con base en la información recopilada durante los recorridos de campo, se identificaron las condiciones geotécnicas, hidráulicas y estructurales más relevantes del corredor, las cuales se describen a continuación.

5.1 ANCHOS DE VÍA

A lo largo del corredor se tomó los anchos de vía existentes y anchos entre cercas donde existente cada 250.00 m en promedio, de donde se construyó la siguiente tabla resumen:

Tabla 1 Anchos Promedio de Vía.

ABSC	ANCHO VÍA	CERCAS	TOTAL
K0+000	7.6	8.5	8.5
K0+250	6.3	9	9
K0+500	6.1	8.7	8.7
K0+750	6.3	8,4	8,4
K1+000	6,2	8.9	8.9
k1+250	6.3	8.5	8.5
k1+500	6.3	8,8	8,8
k1+750	6.3	8.9	8.9
k1+920	6.3	8.5	8.5
k1+930	7.5	9.1	9.1
k2+000	7.6	9	9
k2+250	7.5	9	9
k2+500	8	9.2	9.2
k2+750	7.3	8.8	8.8
k2+950	7.5	9	9

Fuente: DIAGNOSTICO PRELIMINAR DE LA VÍA QUE DESDE EL SECTOR TABACAL CONDUCE AL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE QUIPILE

El abscisado de la tabla anterior esta amarrada a los postes de kilometraje existentes en el corredor. Adicionalmente se presentan algunas fotografías representativas de las condiciones existentes en el ancho de vía.

Ilustración 4. Fotografía en el K0+020



Fuente: DIAGNOSTICO PRELIMINAR DE LA VÍA QUE DESDE EL SECTOR TABACAL CONDUCE AL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE QUIPILE

Ilustración 5. Fotografía en el K0+120



Fuente: DIAGNOSTICO PRELIMINAR DE LA VÍA QUE DESDE EL SECTOR TABACAL CONDUCE AL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE QUIPILE

5.2 OBRAS DE DRENAJE

A lo largo del corredor se inventarió las obras de drenaje existentes en el corredor, con la que se elaboró la siguiente tabla resumen:

Tabla 2 Obras de Drenaje.

ABSC	LONGITUD	CUERPOS	ALTURA	DESCOLE	ENCOLE
K2+650	3.5	2	3.5	SI	SI

Fuente: DIAGNOSTICO PRELIMINAR DE LA VÍA QUE DESDE EL SECTOR TABACAL CONDUCE AL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE QUIPILE

Las obras de drenaje corresponden a box culvert, en razón a la ausencia de superficie de rodadura en el pavimento no se cuenta con cunetas.
A continuación, se presenta fotografías de las obras más representativas en el corredor.

Ilustración 6. Box en el K2+650



Fuente: DIAGNOSTICO PRELIMINAR DE LA VÍA QUE DESDE EL SECTOR TABACAL CONDUCE AL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE QUIPILE

Ilustración 7. Box en el k2+650



Fuente: DIAGNOSTICO PRELIMINAR DE LA VÍA QUE DESDE EL SECTOR TABACAL CONDUCE AL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE QUIPILE

5.3 OBRAS DE CONTENCIÓN

A lo largo del corredor se realizó el inventario de los muros de contención existentes en el corredor, con la que se elaboró la siguiente tabla resumen:
No se encuentran muros de contención en el tramo.

5.4 SITIOS CRÍTICOS

A lo largo del corredor se realizó el inventario de los sitios críticos que se observaron en el corredor, los cuales están asociados a las áreas de geotecnia e hidráulica, con la que se elaboró la siguiente tabla resumen:
No se encuentran sitios críticos en el tramo

5.5 ESTADO DEL PAVIMENTO

En el tramo que está dispuesto para rehabilitación entre el K0+000 y K1+950 el estado del pavimento se encuentra en mal estado, se encuentra con piel de cocodrilo fisuras longitudinales y transversales
A continuación, se presentan fotografías del estado del pavimento con sus principales daños.

Ilustración 8 Fotografía en el K0+070



Fuente: DIAGNOSTICO PRELIMINAR DE LA VÍA QUE DESDE EL SECTOR TABACAL CONDUCE AL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE QUIPILE

Ilustración 9 Fotografía en el K0+140



Fuente: DIAGNOSTICO PRELIMINAR DE LA VÍA QUE DESDE EL SECTOR TABACAL CONDUCE AL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE QUIPILE

Ilustración 10 Fotografía en el K1+050



Fuente: DIAGNOSTICO PRELIMINAR DE LA VÍA QUE DESDE EL SECTOR TABACAL CONDUCE AL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE QUIPILE

5.6 CONCLUSIONES

- Como resultado del presente diagnóstico, podemos resumir de la siguiente forma:
- El ancho de la vía en promedio es de 6.30
- El ancho entre cercas es de 9.50
- Existen 1 box Culvert de 3.50 * 3.50
- Existen 22 pozos sellados

El estado del pavimento es regular

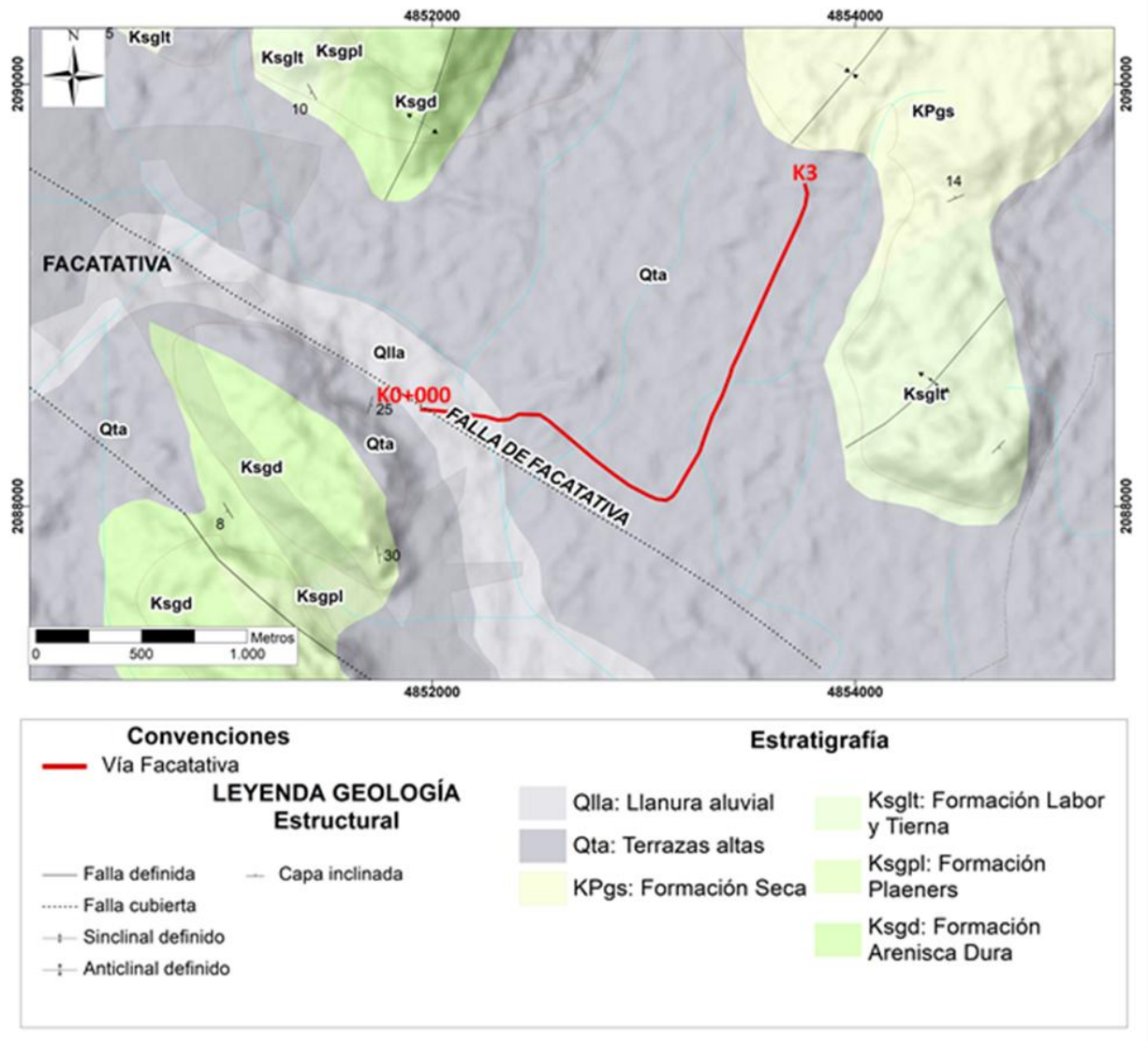
6. GEOLOGÍA

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 208 – Villeta.

6.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El corredor vial, con dirección general de occidente a nororiente, se ubica hacia el extremo noroccidental de la Sabana de Bogotá, que se estrecha entre las salientes montañosas conformadas por replegamientos de la secuencia del Cretáceo superior – Terciario, en los flancos de la cuenca del río Botello. En la Ilustración 11 se presenta la selección de la cartografía geológica del corredor vial, recortada de la plancha geológica 227-La Mesa (INGEOMINAS, 1998).

Ilustración 11 Geología regional corredor vial Facatativá-La Virgen – El Rosal



Fuente: Elaboración propia sobre sector del mapa geológico de la plancha 227-La Mesa (INGEOMINAS, 1998)

La vía se aprecia desarrollada totalmente sobre unidades cuaternarias, correspondientes a la Terraza Alta (Qta) y la Llanura Aluvial (Qlla), mientras en los flancos de la planicie afloran las Formaciones Guaduas (KPgg), y las Formaciones Labor y Tierna (Ksglt), Plaeners (Ksgpl) y Arenisca Dura (Ksgd), del Grupo Guadalupe. Como rasgos estructurales se observan ejes de anticlinales y sinclinales con rumbo nor-oriente, mientras la Falla Facatativá tiene rumbo nor-occidente.

6.1.1 ESTRATIGRAFÍA

Se presenta a continuación la descripción de las unidades estratigráficas cartografiadas, de acuerdo con la descripción presentada en la memoria de la plancha 227-La Mesa.

- **Llanura aluvial (Qlla)**

Corresponde a la franja de acumulación del río Botello y otros cauces en la zona. No es descrita ni en el plano ni en la memoria. En el mapa geológico para ingeniería, de la plancha 227-II-C (INGEOMINAS, 2002), describe la franja de acumulación fluvial de los cauces actuales de los ríos principales, como el río Botello (parte media y baja de la cuenca), conformados por limos y arcillas.

- **Terraza alta (Qta)**

Constituye la planicie ondulada sobre la que se desarrolla la mayor parte de la vía. El mapa geológico de la plancha 227-II-C diferencia esta zona como depósitos fluvio-lacustres: (bordes de laderas, parte media y alta de la cuenca): "*complejo de arenas, arenas arcillosas, gravas y gravillas, con intercalaciones de arcillas, arcillas arenosas, arcillas orgánicas y limos, ocasionalmente turbas y capas de piroclastos finos, en capas lenticulares; poco consolidadas.*"

- **Formación Guaduas (KPgg)**

La memoria de la plancha 227 la describe de la siguiente manera: "*El nombre de Guaduas se debe a Hettner, 1892 (en Hubach, 1957), para referirse a la unidad de lodolitas y arenitas, comprendidas entre el Grupo Guadalupe y la Formación Cacho; este mismo autor establece, además, la localidad tipo en Guatativa. En la Plancha 227, su base está marcada por la primera aparición (extensiva) de arcillolitas, sobre las arenitas del Grupo Guadalupe, mientras que su techo está representado por la primera aparición de arenitas subarcósicas a sublíticas (facies tipo Bogotá), pues arenitas con facies tipo Cacho (de cuarzo) no se observaron en el área de estudio.*"

"La unidad consta en general de arcillolitas laminadas a no laminadas, gris claro a abigarradas, con intercalaciones de cuarzoarenitas grises, de grano medio a fino y algunas capas de carbón. Restos de hojas son comunes a lo largo de la secuencia, mientras que foraminíferos sólo se han hallado en su base."
Bioestratigrafía: *"Van der Hammen (1957) le asigna edad Maastrichtiano - Paleoceno, con base en registro de palinología. En este estudio se halló Siphogenerinoides bramlettei y Psilatriletes guaduensis, Psilamonocolpites medius, todas especies típicas del Maastrichtiano."*

- **Formación Labor y Tierna (Ksglt)**

La memoria de la plancha 227 la describe de la siguiente manera: "*Los términos Labor y Tierna fueron utilizados por primera vez con sentido estratigráfico por Hubach (1931) para designar la parte arenosa superior del*

Guadalupe. Litológicamente se caracteriza por la ocurrencia de arenitas de cuarzo de grano fino a medio, en capas medias a gruesas y su geometría es lenticular. Intercalaciones de lodolitas y limolitas de cuarzo, a veces silíceas, ocurren esporádicamente. La bioturbación es un rasgo constante (Hernández, 1990)." Litológicamente se caracteriza por la ocurrencia de arenitas de cuarzo de grano fino a medio, en capas medias a gruesas y su geometría es lenticular. Intercalaciones de lodolitas y limolitas de cuarzo, a veces silíceas, ocurren esporádicamente. La bioturbación es un rasgo constante (Hernández, 1990)."

"Se agrupan aquí las formaciones Labor y Tierna siguiendo criterios cartográficos y se hace referencia al trabajo de Hernández (1990), quien calcula un espesor aproximado de 147 m para las dos unidades. Su base está marcada por la primera ocurrencia de arenitas sobre las liditas de la Formación Plaeners, mientras que su techo está dado por la primera ocurrencia de arcillolitas de la Formación Guaduas."

- **Formación Plaeners (Ksgpl)**

La memoria de la plancha 227 la describe de la siguiente manera: "*Hubach (1931) utiliza inicialmente el término Plaeners, bajo la denominación de nivel, horizonte y posteriormente en 1957, con la categoría de miembro, para referirse a la secuencia arcillosa-lidítica que se localiza en la parte media de la Formación Guadalupe Superior. Renzoni (1968) eleva el Miembro Plaeners a la categoría de Formación, y propone como secciones de referencia la cantera Bella Suiza, cerca de Usaquén en la ciudad de Bogotá y la carretera Bogotá - Choachí, en la bajada hacia las cabeceras de la quebrada Raizal, en las cuales la unidad litoestratigráfica se presenta completa."*

"En el área de la plancha 227 esta unidad se caracteriza por la presencia de liditas, con delgadas intercalaciones de lodolitas y arcillolitas laminadas, comúnmente silíceas. La estratificación es casi invariablemente paralela en capas muy delgadas a delgadas y rara vez medias. La roca fresca es gris, con abundantes foraminíferos del género Siphogenerinoides; la bioturbación es escasa a nula y la laminación paralela continua es un rasgo constante. El espesor total estimado en cortes geológicos es de 100 m."

Estratigráficamente se ubica suprayaciendo la Formación Arenisca Dura, e infrayace la Fm. Labor y Tierna.

- **Formación Arenisca Dura (Ksgd)**

La descripción en la memoria de la plancha 227 menciona: *"La Formación Arenisca Dura es la unidad litoestratigráfica inferior del Grupo Guadalupe y su nombre se debe a Hubach (1931), quien empleó el término como Miembro Arenisca Dura, estableciendo como localidad tipo la angostura del río San Francisco de Bogotá "arriba del puente de la carretera de circunvalación". Renzoni (1962) la eleva al rango de Formación Arenisca Dura y propone como sección de referencia la secuencia de areniscas cuarzosas, de grano fino, con niveles de liditas que aflora a lo largo de la carretera Choachí - Bogotá. Pérez & Salazar (1971) proponen como sección tipo la secuencia que aflora por el carreteable al cerro del Cable, al oriente de la ciudad de Bogotá."*

La columna levantada en la cartografía de la plancha 227-La Mesa, en la carretera Subachoque-Tabio, menciona que: "*Aflora aquí la Formación Arenisca Dura en su totalidad, con un espesor de 250 m. Su base está marcada por la primera aparición de potentes capas de cuarzoarenita, inmediatamente encima de las lodolitas y limolitas de cuarzo de la Formación Conejo, unidad infrayacente."*

"La unidad consiste de cuarzo-areniscas de grano fino, en capas que varían entre muy delgadas y muy gruesas, lenticulares a plano paralelas. Intercaladas ocurren limolitas de cuarzo, ligeramente silíceas, de estratificación

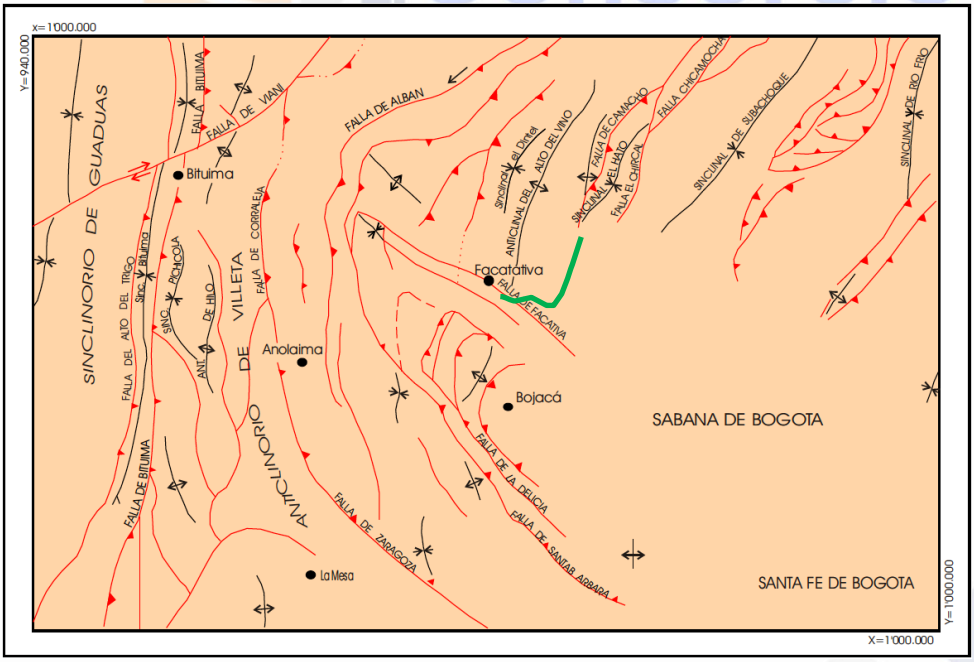
delgada a muy delgada. La laminación es fundamentalmente ondulosa no paralela a veces discontinua, afectada por bioturbación, rara vez cruzada. La redondez de los granos de cuarzo en las arenitas es buena, al igual que su selección textural y composicional."

6.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El principal rasgo téctonico en la zona es la Falla Facatativá, que tiene varios trazos paralelos cercanos, que con rumbo NW-SE, alinea el curso del río Botello y escamas del levantamiento de la secuencia cretácea del Grupo Guadalupe. A los trazos de esta falla se le señala vergencia al sudoeste, con componente de rumbo dextral (INGEOMINAS, 2001, memoria de la plancha geológica 227-La Mesa). El aparte estructural de la memoria de la plancha 227, divide la plancha en tres zonas: La zona occidental, la Sabana de Bogotá, al occidente el anticlinorio de Villeta, y en el extremo occidental el sinclinorio de Guaduas. La zona de estudio se sitúa en la región morfoestructural de la Sabana de Bogotá, separada del Anticlinorio de Villeta por las fallas de Zaragoza y Corralejas. A su vez divide la región de la Sabana en una parte sur y otra norte, separadas precisamente por el lineamiento de la Falla Facatativá, marcado por la carretera Bogotá-Madrid-Facatativá-Albán.

Los estilos estructurales de las partes sur y norte tienen marcadas diferencias, como se puede apreciar en la Ilustración 12, en la que se señala en trazo verde el tramo vial analizado. Al sur de la Falla Facatativá se observan otros trazos de falla paralelos a la primera, con vergencia al suroccidente, que se flexionan y arquean, generando pliegues cortos en la secuencia cretácea. Al norte de la Falla Facatativá tanto las fallas, de cabalgamiento con vergencia al noroccidente, tiene el mismo rumbo nororiente de los plegamientos, más largos que los de la parte sur.

Ilustración 12 Principales rasgos estructurales de la plancha 227-La Mesa



Fuente: Figura 24 de la memoria de la plancha 227-La Mesa (INGEOMINAS, 2001)

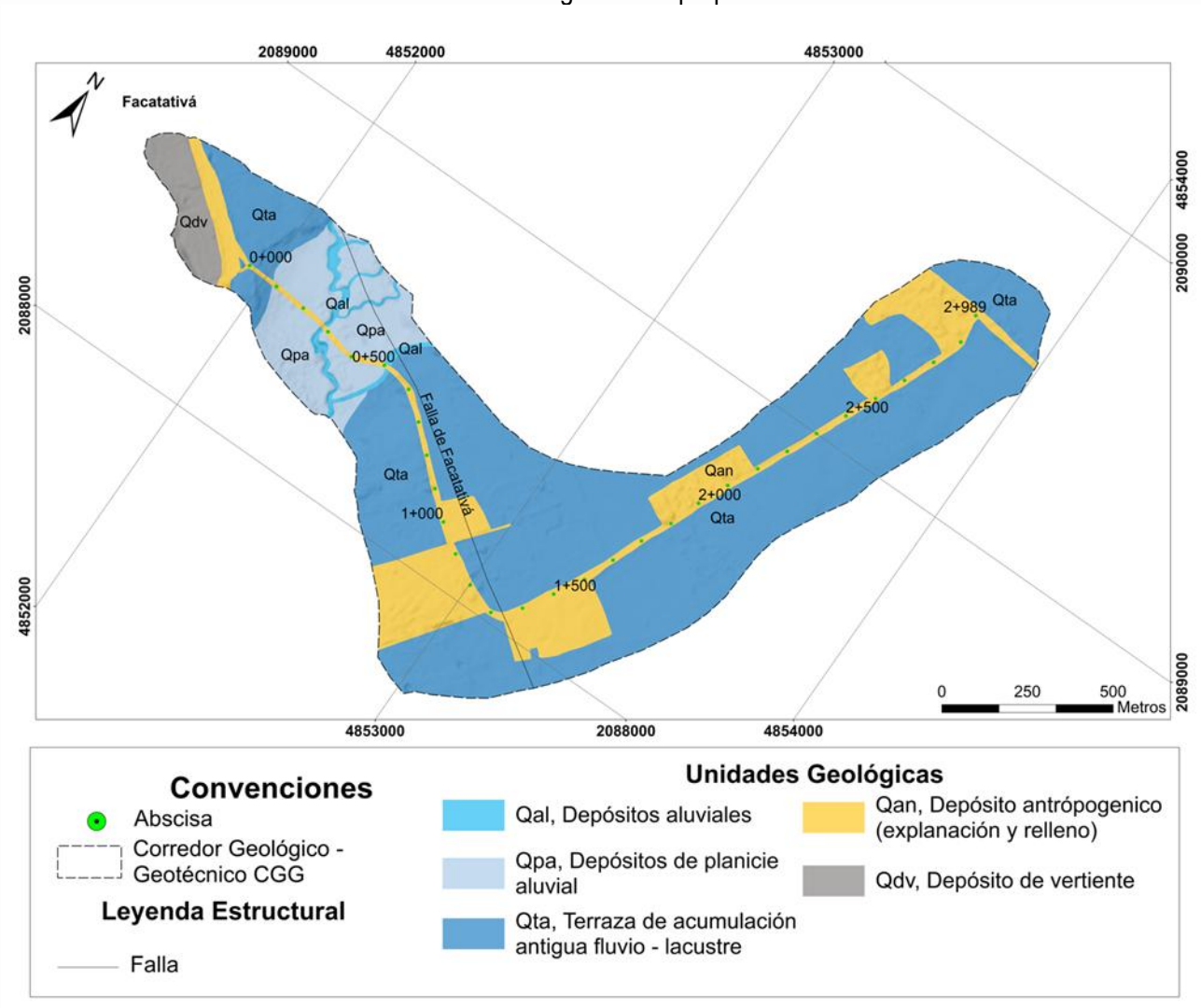
6.3 GEOLOGÍA LOCAL

El corredor geotécnico está constituido por unidades cuaternarias: Domina la unidad de terraza de acumulación antigua, fluvio-lacustre (Qta), constituida por sedimentos finos, con dominio de limos y arcillas. En la zona de planicie aluvial del río Botello, el río y sus principales afluentes, acumulan sedimentos también finos: limos y arenas finas, en parte retrabajas de la terraza de acumulación y del aporte de las vertientes rocosas, constituidas por las sedimentitas del Grupo Guadalupe, principalmente.

En la ilustración 13 se presenta el modelo geológico local.

La exploración del subsuelo en el puente del río Botello, muestra en los primeros 5-6 metros, limos arcillosos con niveles de grava y arena, que pueden correlacionarse con los depósitos aluviales (Qal) del río, infrayacidos por una potente secuencia (hasta los 20 m alcanzados por los sondeos), de arcillas limosas grises, correlacionables con Qta.

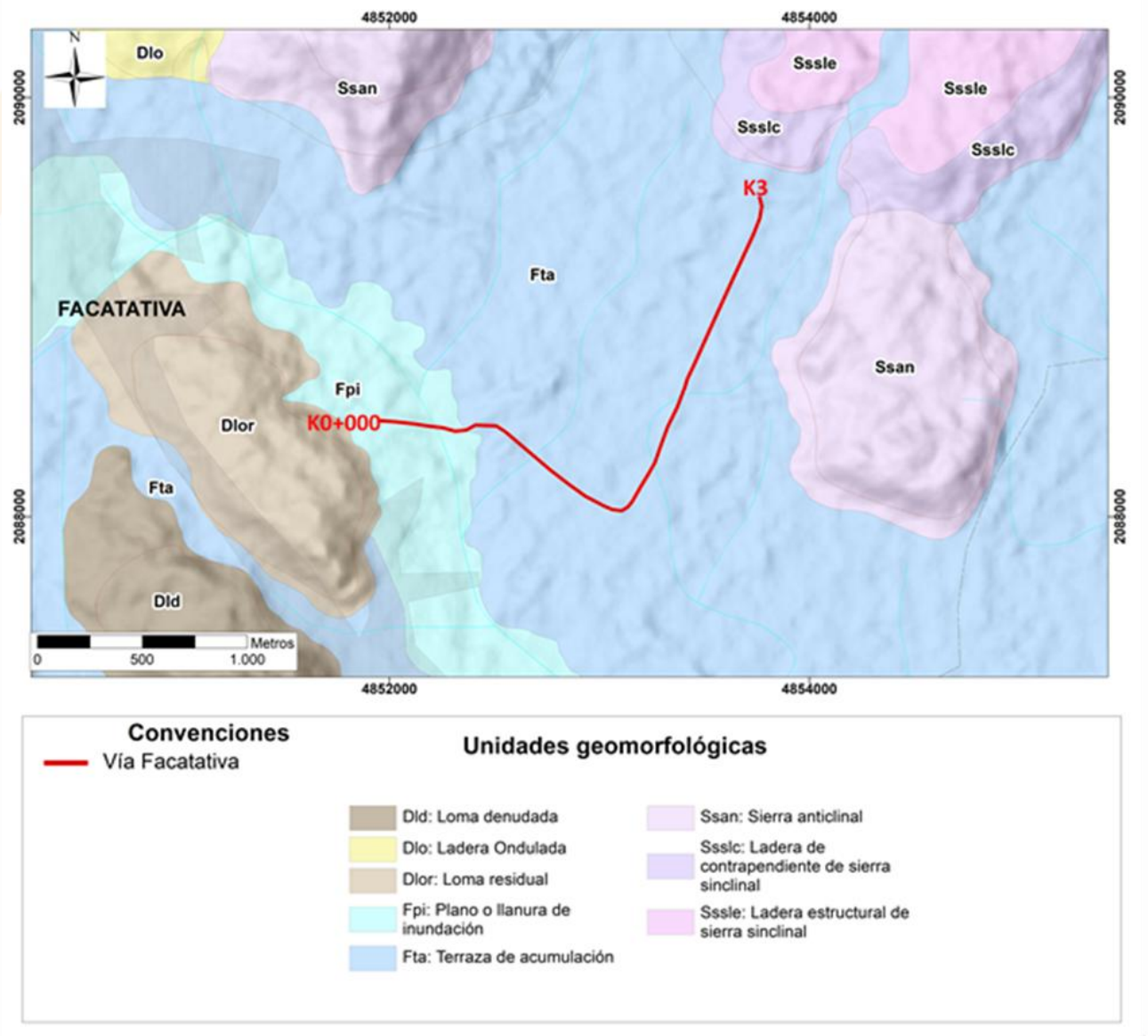
Ilustración 13. Geología local Zipaquirá - El Rosal



6.4 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

La cartografía geomorfológica de la plancha 227-La Mesa (SGC-UPTC, 2018), como se aprecia en la Ilustración 14, indica el dominio de unidades geomorfológicas de origen fluvial: Terraza de acumulación (Fta) y el plano o llanura de inundación, asociada al valle del río Botello. En las geoformas montañosas circundantes, se diferencian unidades morfogenéticas denudacionales hacia el sur-occidente; al nor-oriente las geoformas se distinguen como de origen morfogenético estructural.

Ilustración 14 Geomorfología regional corredor vial Facatativá-La Virgen – El Rosal



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

A continuación se presenta la descripción de las unidades geomorfológicas diferenciadas en el área de estudio:

- **Terraza de acumulación (Fta)**

"Se presenta como un relieve elongado plano a suavemente ondulado, con pendientes planas a levemente inclinadas a inclinadas, con rangos que oscilan entre los 5° y 10°, es identificable por ser una superficie limitada por escarpes de diferentes alturas a lo largo de los ríos Bogotá, Fucha, Chicú, Madrid, y Subachoque. Su origen es producto de acumulación de sedimentos transportados de forma fluvial que posteriormente sufrieron disección , erosión hídrica y profundización vertical del drenaje como consecuencia del cambio en el nivel de base local. Desarrollada sobre depósitos de Terrazas Altas (Qta), depósitos Fluvio-Glaciares (Qf) y depósitos Aluviales (Qal). Se localiza en los municipios de Facatativá, Subachoque, Tabio, Tenjo, Cota, Mosquera, Madrid y Cachipay, entre otros."

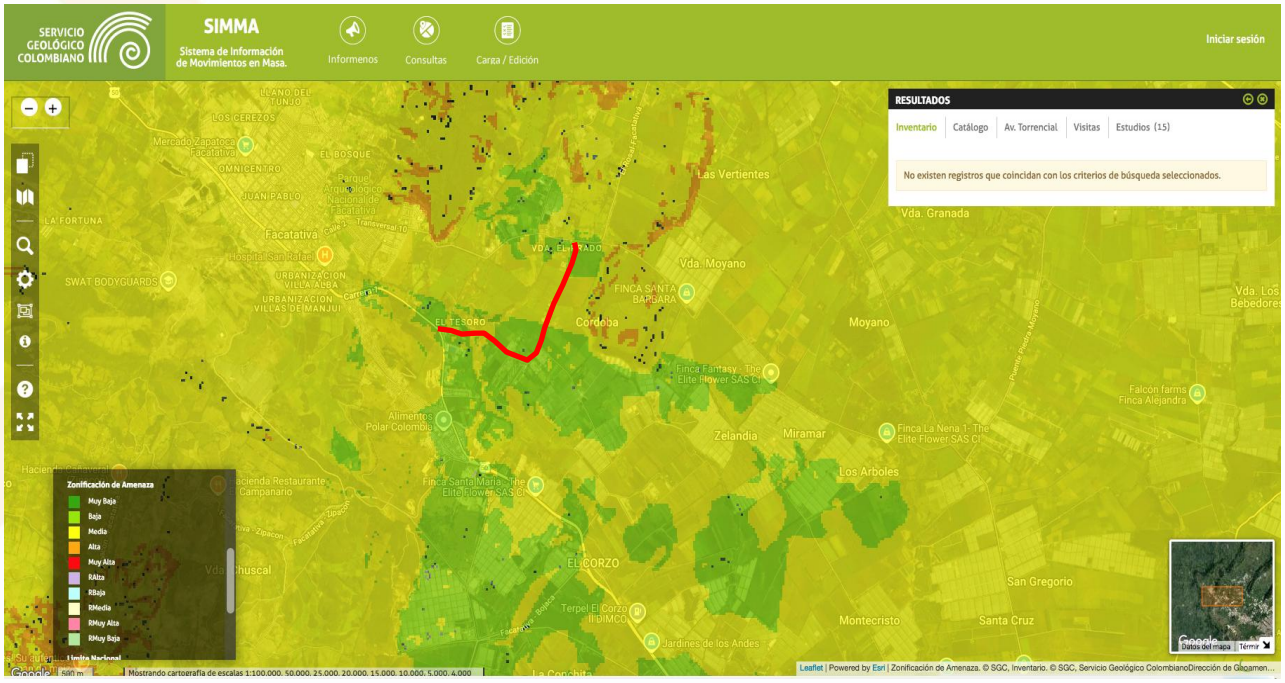
- **Plano o llanura de inundación (Fpi)**

Superficie de morfología plana a ondulada, que representa áreas eventualmente inundables. Se localiza bordeando los cauces fluviales, en este caso asociado a los ríos Botello, Tunjuelito, Fucha, Juan Amarillo, Subachoque, Bojacá, Chicú, Bogotá y las quebradas Doña Juana, Las Quebradas, El Rodadero, Los Curubitos, Yerbabuena, San Joaquín, Del Molino, El Cerezo, La Chorrera y otras de orden local,con pendientes planas a suavemente inclinadas, con rangos que oscilan entre los 0° y 5°. Desarrollada sobre materiales provenientes de rocas de las Formaciones Trincheras, Miembro Anapoima (Kitra); Socotá (Kis); Capotes (Kic); Plaeners (Ksgpl); Labor y Tierna (Ksglt); entre otras. Se localiza en los municipios de Facatativá, Anapoima, La Mesa, Bojacá.

6.5 AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

El mapa nacional de amenaza por procesos de remoción en masa del SIMMA (Sistema de Informción de Movimientos en Masa), del SGC, cataloga la amenaza en el corredor vial entre media y baja (colores amarillo y baja en Ilustración 15). No se registran eventos de procesos de remoción en el inventario del catálogo, coincidiendo con el relieve plano dominante.

Ilustración 15 Zonificación de amenaza por movimientos en masa. Se señala en rojo el tramo vial en estudio



Fuente: Elaboración propia sobre https://simma.sgc.gov.co/#/public/results/

7. TRABAJOS DE CAMPO

Para adelantar los análisis geotécnicos se requiere efectuar exploraciones directas (sondeos y barrenos), exploración indirecta (geofísica), ensayos "in situ" y ensayos de laboratorio, los cuales se cuantificaron y localizaron en un documento aparte denominado Plan de Exploración, revisado y aprobado por parte de Interventoría.
La cantidad de sondeos y líneas sísmicas proyectadas y ejecutadas dentro del alcance del presente contrato fue definida con el propósito de establecer las características geológicas, geotécnicas y geomecánicas generales del corredor vial, de conformidad con los lineamientos y requerimientos establecidos en los términos de referencia y en la reglamentación aplicable vigente, con base en la resolución correspondiente del año 2024.

7.1 EXPLORACIÓN DIRECTA DEL SUBSUELO

Para la determinación de las propiedades índices y geomecánicas de los materiales fue necesario la recolección y toma de muestras para que sean ensayadas, ya sea en campo o en laboratorio. De esta manera, se implementó una exploración geotécnica que cumpla con los requerimientos técnicos y con las especificaciones avaladas por el INVIAS para este tipo de estudio, en especial las buenas prácticas y los requisitos planteados por el Código Colombiano de Puentes CCP-14, tanto para la determinación de las propiedades y parámetros de campo; así como para los sondeos, apiques y trincheras que sean necesarios implementar para lograr la caracterización de los materiales.

Los sondeos se realizaron por los métodos de percusión y avance con lavado hasta la profundidad indicada, así como métodos por lavado. Además, se efectuaron las pruebas de campo como Ensayos de Penetración Estándar (SPT: Por sus siglas en Ingles), en los materiales donde sus características mecánicas lo permitieron (suelos friccionante, gravas, arenas y finos, de consistencia mecánica de medianamente firme a dura) y Shelby (SH).

En el programa de exploración directa se realizó la ejecución de 2 sondeos localizados en el puente a reemplazar.

La profundidad de ejecución de estos fue de 25.0m y 20.0 m de profundidad. Se encontró nivel freático los 2 sondeos.

A continuación, se presenta la localización de los sondeos ejecutados sobre el corredor:

Ilustración 16 Localización de sondeos.



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth ©

En la Tabla 3 , se presenta la ubicación y coordenadas de los sondeos ejecutados en el corredor.

Tabla 3 Localización de sondeos

SONDEO	LATITUD	LONGITUD	ABSCISA	PROFUNDIDAD
FACATATIVÁ PUENTE S1	4°47'56.55"N	74°19'59.43"O	K0+280	20,00m
FACATATIVÁ PUENTE S2	4°47'56.30"N	74°19'58.30"O	K0+310	25,00m

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los sondeos presentados en el presente informe geotécnico se encuentran referenciados al abscisado definitivo correspondiente al eje del diseño geométrico del proyecto, con el fin de mantener coherencia con la información técnica empleada para el desarrollo de los análisis y recomendaciones. No obstante, es importante señalar que durante la etapa de campo las perforaciones fueron localizadas con base en un abscisado preliminar obtenido a partir de la información cartográfica generada en Google Earth mediante un archivo KMZ utilizado en la fase inicial de diagnóstico. En consecuencia, los formatos de campo y registros originales de perforación pueden presentar diferencias en la identificación del abscisado respecto al consignado en el presente informe, situación que obedece exclusivamente al ajuste posterior derivado del levantamiento topográfico y la definición del eje definitivo del proyecto, sin que ello implique modificación en la ubicación real de los sondeos ejecutados.

En el ANEXO 1 REGISTROS DE PERFORACIÓN, se presentan los perfiles de campo de la ejecución de sondeos ejecutada para el tramo.

7.2 EXPLORACIÓN INDIRECTA DEL SUBSUELO

Con el propósito de complementar la información obtenida mediante la exploración directa y lograr una caracterización continua de las condiciones geotécnicas del subsuelo a lo largo del corredor, se implementó un programa de exploración indirecta basado en métodos geofísicos no invasivos. Estos métodos permiten estimar la distribución espacial de las propiedades dinámicas y estratigráficas del terreno, proporcionando información sobre la geometría de las unidades geológicas, la profundidad del material competente y la variación lateral de las condiciones del subsuelo.

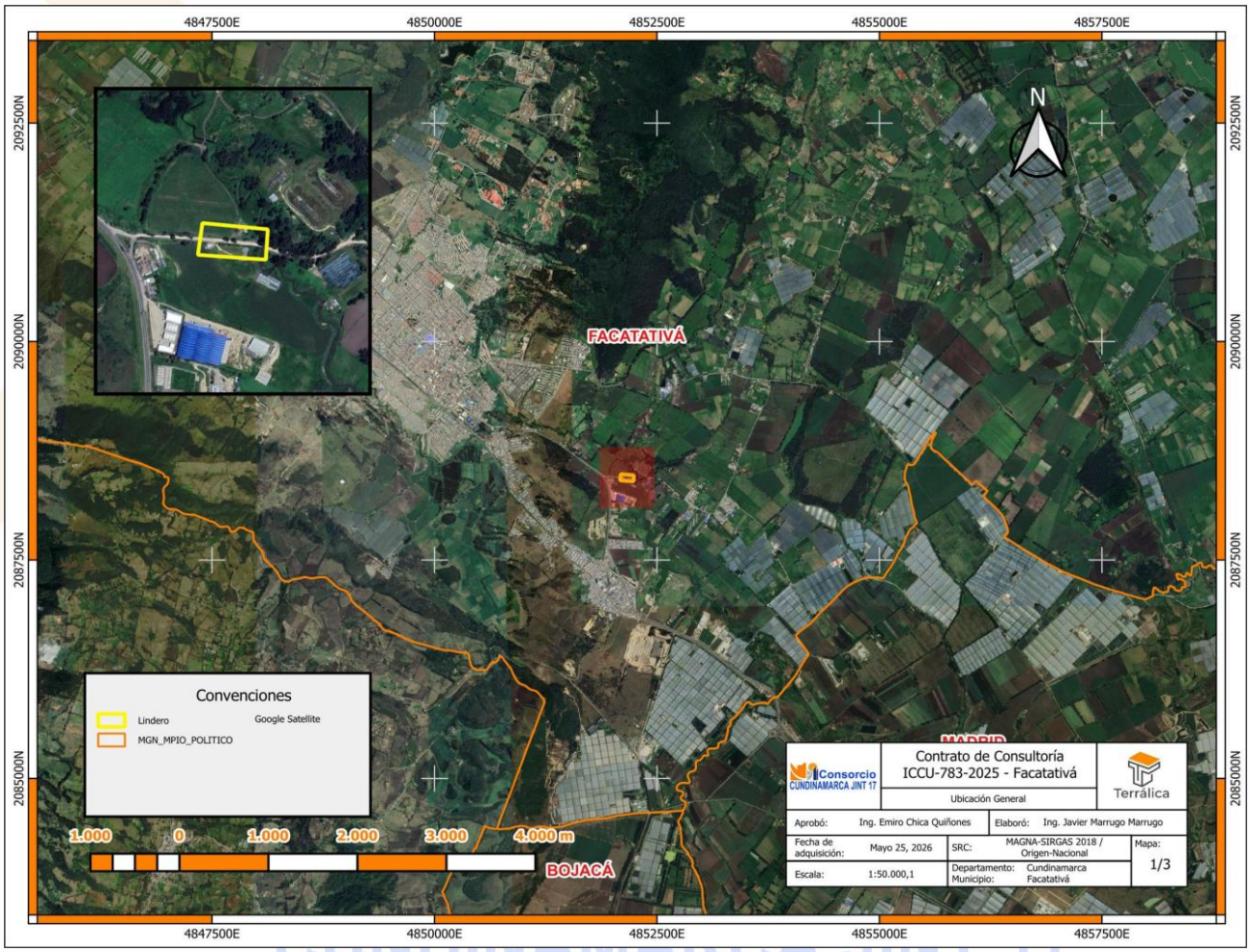
Para el presente estudio se emplearon los métodos de Tomografía de Refracción Sísmica (TRS) y Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), técnicas ampliamente utilizadas en estudios geotécnicos por su capacidad para determinar la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el terreno. La Tomografía de Refracción Sísmica permitió definir la distribución de velocidades de onda P (Vp), facilitando la identificación de interfaces geológicas, zonas meteorizadas y el espesor de los diferentes estratos. Por su parte, el método MASW permitió obtener los perfiles de velocidad de onda de corte (Vs), parámetro fundamental para la evaluación de la rigidez dinámica de los materiales, la clasificación sísmica del sitio y la determinación de parámetros geotécnicos de diseño.

El programa de exploración indirecta contempló la ejecución de 6 líneas geofísicas, distribuidas estratégicamente a lo largo del corredor en sectores representativos de las condiciones geológicas y geotécnicas identificadas durante la etapa de reconocimiento y exploración directa. La longitud y disposición de cada línea fueron definidas de acuerdo con las características del terreno y los objetivos específicos de la investigación.

Los resultados obtenidos mediante la interpretación conjunta de los métodos TRS y MASW fueron correlacionados con la información proveniente de los sondeos, ensayos de campo y resultados de laboratorio, permitiendo mejorar el modelo geotécnico del subsuelo y reducir la incertidumbre en la caracterización de las unidades presentes a lo largo del corredor.

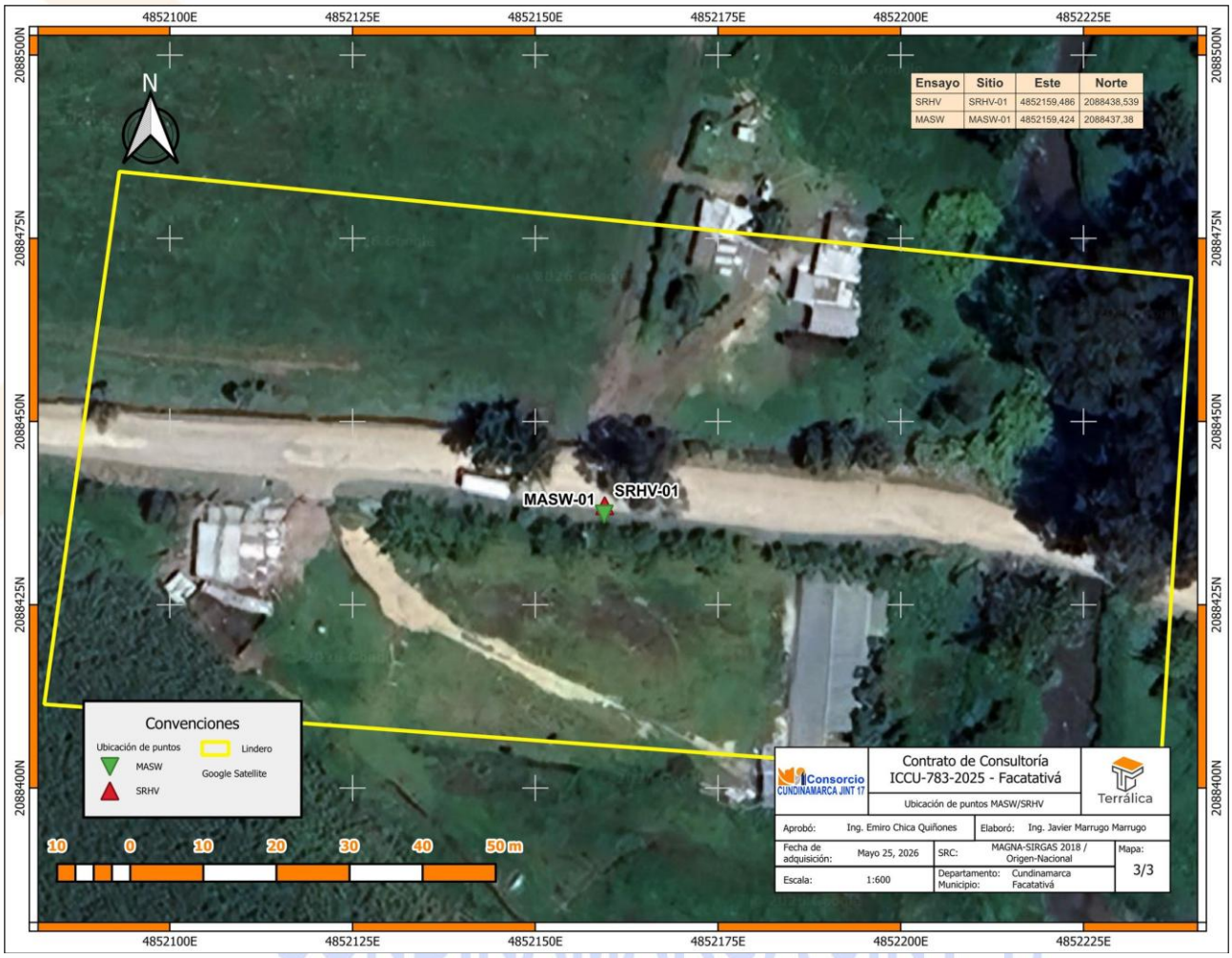
En la Ilustración 17 Localización de líneas geofísicas, se presenta la ubicación de las líneas de Tomografía de Refracción Sísmica (TRS) y Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) ejecutadas durante el desarrollo del estudio.

Ilustración 17 Ubicación líneas sísmicas.



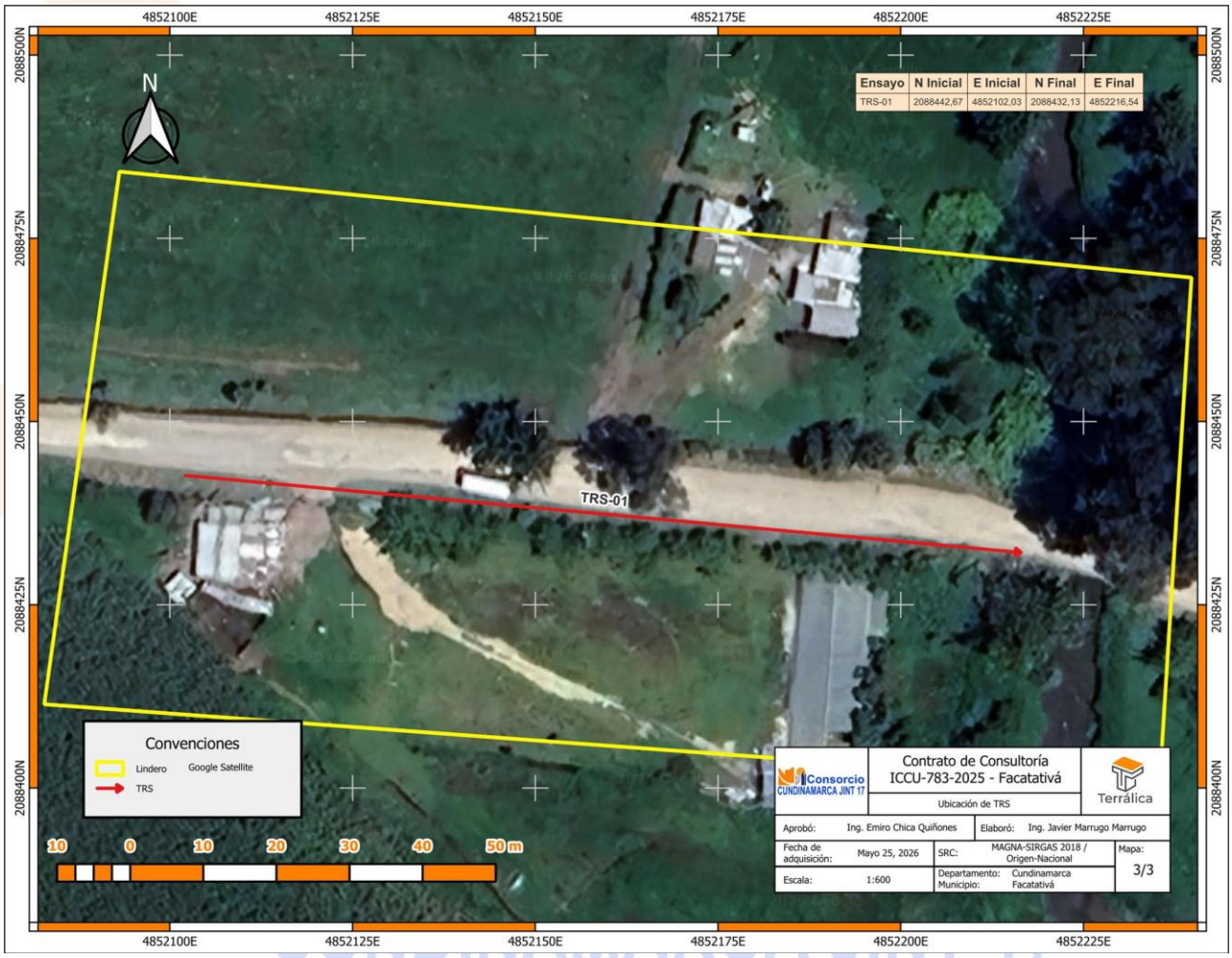
Fuente: Informe Final de Geofísica

Ilustración 18 Ubicación de TRS-01



Fuente: Informe Final de Geofísica

Ilustración 19 Ubicación de TRS-02.



Fuente: Informe Final de Geofísica

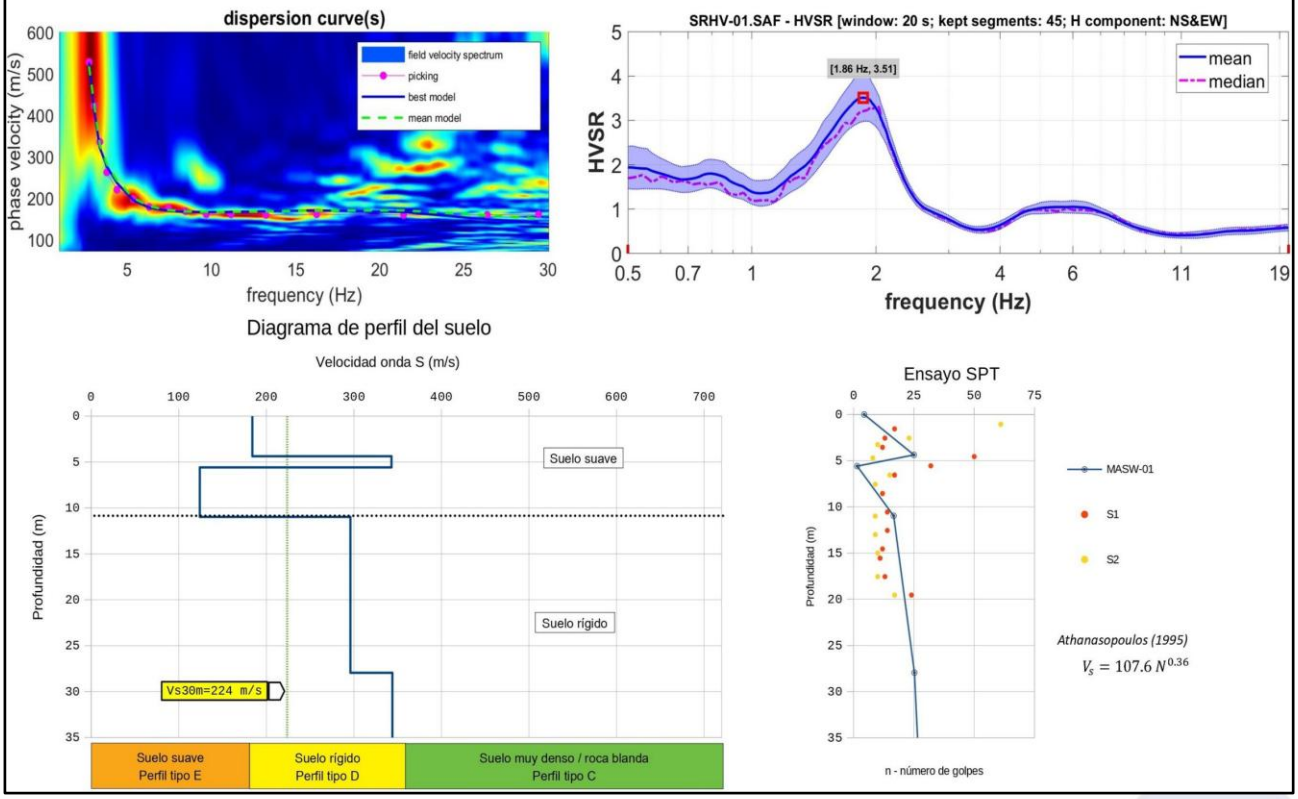
A continuación se presentan los resultados obtenidos de las líneas de exploración geofísica ejecutadas mediante los métodos de Tomografía de Refracción Sísmica (TRS) y Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW). Para cada línea se incluyen los principales productos derivados del procesamiento e interpretación de la información adquirida en campo, tales como las curvas de dispersión, los perfiles de velocidad de onda de corte (Vs), la estimación de parámetros geomecánicos, la clasificación del terreno a partir del parámetro Vs30, los resultados del análisis HVSR, así como la correlación con los ensayos de penetración estándar (SPT) ejecutados en los sondeos cercanos. La integración de estos resultados permitió validar la caracterización estratigráfica del subsuelo, identificar las variaciones laterales de las propiedades mecánicas de los materiales y complementar la información obtenida mediante la exploración directa, proporcionando un modelo geotécnico más representativo del corredor objeto de estudio.

Ilustración 20 Resultados del procesamiento e interpretación de la línea MASW-01.

ódulos Geotécnicos | Contrato Consultoría ICCU-783-2025, Facatativá, Cundinamarc — MASW-01

Elevación (msnm)	Profundidad (m)	Velocidad onda P (m/s)	Velocidad onda S (m/s)	Densidad (kg/m³)	N	Relación de Poisson	Módulo cortante (Mpa)	Módulo de Young (Mpa)	Módulo Bulk (Mpa)
0.0	0.0	1,456	184	1820	4	0.49	62	184	3,858
-4.4	4.4	660	343	1980	25	0.31	233	613	862
-5.6	5.6	245	124	1710	1	0.33	26	70	103
-11.0	11.0	623	296	1940	17	0.35	170	460	753
-28.0	28.0	725	344	1990	25	0.35	235	638	1,046
-38.3	38.3	643	353	1990	27	0.28	248	637	823
-52.6	52.6	4,146	1816	2440	2,566	0.38	8,047	22,230	41,942
-62.6	62.6	4,146	1816	2440	2,566	0.38	8,047	22,230	41,942

Vs30m			
Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Vs (m/s)
1	4.4	4.4	184
2	5.6	1.2	343
1	11.0	5.4	124
2	28.0	17.0	296
1	30.0	2.1	344
Vs30m=224 m/s			
Perfil suelo rígido: tipo D			



Fuente: Informe Final de Geofísica

El procesamiento conjunto de MASW y SRHV permitió obtener una solución robusta y coherente, reduciendo el efecto de no unicidad implícita en la inversión de datos geofísicos, reduciendo la incertidumbre de los resultados obtenidos.

De acuerdo con el modelo de velocidades obtenido, el valor de Vs30m en el sitio 1 es de 224 m/s. Se recomienda clasificar el sitio como Perfil del Suelo Tipo D. La frecuencia fundamental del sitio es 1.86 Hz (T0 = 0.538 s).

En el ANEXO 1 REGISTROS DE PERFORACIÓN, se presentan resultados de la geofísica.

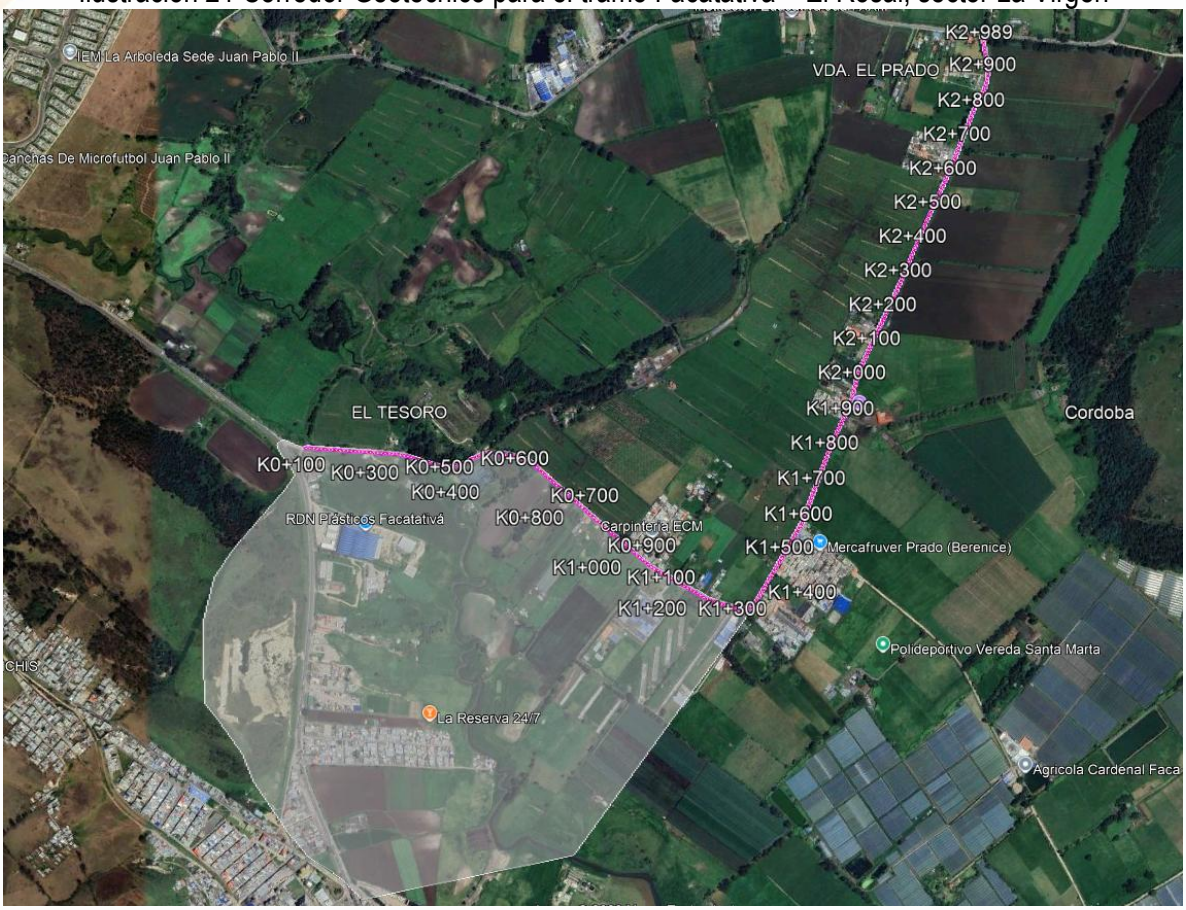
8. DIAGNÓSTICO GEOTÉCNICO

8.1 CORREDOR GEOTÉCNICO

El Corredor Geotécnico para la vía Facatativá – El Rosal, sector La Virgen, se realizó con base en el Artículo 2 de la Resolución 2024304018375 del 30 de abril de 2024, emitida por el Ministerio de Transporte, la cual indica que "…el Corredor Geotécnico corresponde al área de referencia, en el territorio por donde discurre el corredor vial, que debe ser incorporada en el proceso de conocimiento del riesgo de un proyecto, y físicamente corresponde a la expansión de una ladera que alberga un tramo de carretera por encima y por debajo del nivel de la calzada, desde la divisoria superior, cota más alta, hasta la cota más baja, que por lo general corresponde a una zona plana al fondo de un río u otro curso natural de agua…".

El Corredor Geotécnico obtenido Facatativá – El Rosal, sector La Virgen, es el siguiente:

Ilustración 21 Corredor Geotécnico para el tramo Facatativá – El Rosal, sector La Virgen



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes de Google Earth (2026)

El área total del Corredor Geotécnico es de 1.18 km2.

8.2 DIAGNÓSTICO DEL CORREDOR

Según la visita de campo y reconocimiento al proyecto denominado "VÍA QUE CONECTA EL CRUCE CON EL CORREDOR BOGOTÁ – FONTIBÓN - FACATATIVÁ - LOS ALPES, SECTOR LA VIRGEN, HASTA LA VÍA FACATATIVÁ - EL ROSAL", se presentan los resultados de la inspección realizada en el corredor vial.

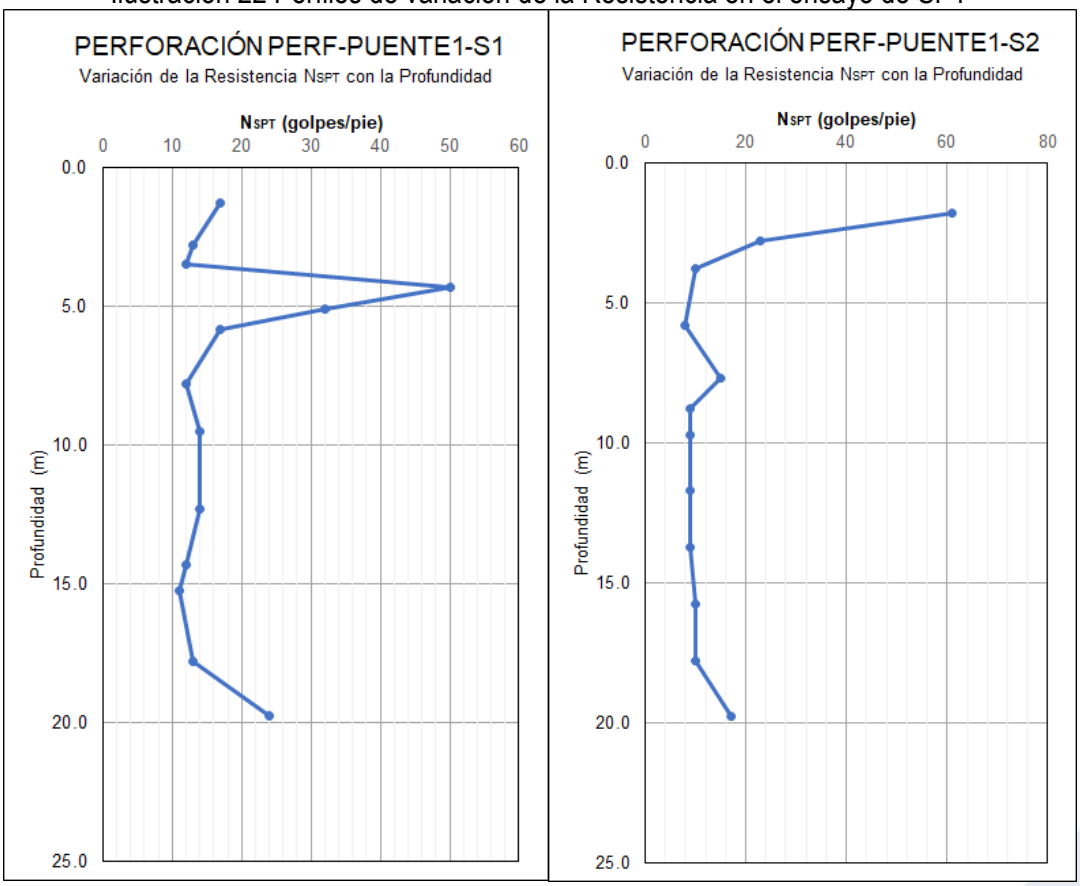
El propósito de la visita fue efectuar el reconocimiento geotécnico y geomorfológico del tramo, así como la verificación de sus condiciones actuales de estabilidad. Durante la inspección no se identificaron sitios críticos, procesos de inestabilidad activos ni afectaciones que comprometan la funcionalidad o seguridad de la vía. No obstante, se realizó la caracterización general de los materiales presentes, las condiciones geológicas y geomorfológicas del corredor, y se establecieron los parámetros que deberán ser considerados para el desarrollo de las investigaciones geotécnicas y los trabajos de campo, incluyendo la ubicación de los puntos de exploración, la cantidad y profundidad de perforaciones, los ensayos de laboratorio requeridos y las recomendaciones generales para el diseño y conservación de la infraestructura vial.

8.3 ENSAYOS DE CAMPO

Se realizaron pruebas de Resistencia a la Penetración Estándar (SPT) en casa uno de los sondeos efectuados en los materiales existentes, y siempre que los tamaños de partícula lo permitieron.

El perfil de variación de la resistencia con la profundidad en cada sondeo es el siguientes:

Ilustración 22 Perfiles de variación de la Resistencia en el ensayo de SPT



Esta información se emplea en la determinación de parámetros de resistencia y deformación.

8.4 NIVEL FREÁTICO

Con el fin de evaluar las condiciones hidrogeológicas del corredor vial objeto de estudio, se realizó el registro del nivel freático durante la ejecución de los sondeos geotécnicos distribuidos a lo largo del eje del proyecto. La medición del nivel de agua se efectuó durante las actividades de perforación, permitiendo identificar la profundidad a la cual se intercepta el agua subterránea en los diferentes puntos investigados. La Figura correspondiente presenta la variación de la profundidad del nivel freático en función del abscisado del eje vial, lo que permite reconocer tendencias espaciales en la presencia de agua subterránea y posibles sectores donde las condiciones hidráulicas del subsuelo pueden influir en el comportamiento geotécnico de los materiales que conforman la subrasante y las estructuras proyectadas.

Ilustración 23 Resultados nivel freático

SONDEO	ABSCISA	PROFUNDIDAD
FACATATIVÁ PUENTE S1	K4+870	3,00m
FACATATIVÁ PUENTE S2	K4+800	4,00m

Fuente: Elaboración propia

8.5 PERFIL ESTRATIGRÁFICO

De acuerdo con los materiales y las resistencias halladas en cada una de las perforaciones, es posible establecer para cada una de ellas el Perfil Estratigráfico de campo para el terreno.

A continuación, se presenta el perfil estratigráfico de los sondeos realizados.

Tabla 4 Perfil estratigráfico de campo puente Sondeo S-1

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)		DESCRIPCIÓN
		DESDE	HASTA	
PUENTE S-2	M1	0	0.8	Material de recebo de color café claro con gravas gruesas
PUENTE S-2	M2	1.05	1.5	Recebo de color café oscuro
PUENTE S-2	M3	2.55	3	Limo arcilloso de color café
PUENTE S-2	M4	3.25	3.7	Limo arcilloso de color café
PUENTE S-2	M5	4	4.6	Limo arcilloso de color negro
PUENTE S-2	M6	4.7	5.5	Gravas medianas y limo arcilloso de color negro
PUENTE S-2	M-	5.13	6.55	Se toma Shelby pero no se recupera, muestra muy blanda
PUENTE S-2	M7	6.55	7	Arcilla limosa de color gris con negro con gravas
PUENTE S-2	M8	7.55	8	Arcilla limosa de color gris oscuro con negro
PUENTE S-2	M9	9	9.6	Arcilla limosa de color gris oscura
PUENTE S-2	M10	10	9	Arcilla limosa de color gris oscura
PUENTE S-2	M11	11	11.45	Arcilla limosa de color gris oscura
PUENTE S-2	M12	12	12.6	Arcilla limosa de color gris oscura
PUENTE S-2	M13	13	13.45	Arcilla limosa de color gris oscura
PUENTE S-2	M14	14	14.6	Arcilla limosa de color gris oscura
PUENTE S-2	M15	15	15.45	Arcilla limosa de color gris oscura
PUENTE S-2	M16	16	16.6	Arcilla limosa de color gris oscura
PUENTE S-2	M17	17.55	18	Arcilla limosa de color gris oscura
PUENTE S-2	M18	18.5	19.1	Arcilla limosa de color gris oscura
PUENTE S-2	M19	19.55	20	Arcilla limosa de color gris oscura
PUENTE-S2	M21	23.50	25.00	Limolita de color verdoso y cambia a una arenisca a los 25.00 metro

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)		DESCRIPCIÓN
		DESDE	HASTA	
PUENTE-S2	M22	25.00	26.00	Limolita de color verdoso
PUENTE-S2	M23	26.00	27.00	Limolita de color verdoso
PUENTE-S2	M24	27.00	28.00	Limolita de color verdoso
PUENTE-S2	M-	28.00	-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5 Perfil estratigráfico de campo puente Sondeo S-2

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)		DESCRIPCIÓN
		DESDE	HASTA	
PUENTE - S1	M1	0	1	Recebo de color café con gravas gruesas
PUENTE - S1	M2	1.55	2	Limo arcilloso de color negro
PUENTE - S1	M3	2.55	3	Limo arcilloso de color negro
PUENTE - S1	M4	3.55	4	Limo arcilloso de color gris con arena fina
PUENTE - S1	M5	4.55	5	Arena de grano fino de color gris oscuro
PUENTE - S1	M6	5.55	6	Arena de grano medio de color café
PUENTE - S1	M7	6.55	7	Arcillolita de color gris claro
PUENTE - S1	M8	7.4	8	Arcillolita de color gris claro
PUENTE - S1	M9	8.55	9	Arcillolita de color gris claro
PUENTE - S1	M10	9.4	10	Arcillolita de color gris claro
PUENTE - S1	M11	10.55	11	Arcillolita de color gris claro
PUENTE - S1	M12	11.4	12	Arcillolita de color gris claro
PUENTE - S1	M13	12.55	13	Arcillolita de color gris claro
PUENTE - S1	M14	13.4	14	Arcillolita de color gris claro
PUENTE - S1	M15	14.55	15	Arcillolita de color gris claro
PUENTE - S1	M16	15.55	16	Arcillolita de color gris claro
PUENTE - S1	M17	16.4	17	Arcillolita de color gris oscuro
PUENTE - S1	M18	17.55	18	Arcillolita de color gris oscuro
PUENTE - S1	M19	18.4	19	Arcillolita de color gris oscuro
PUENTE - S1	M20	19.55	20	Arcillolita de color gris oscuro

Fuente: Elaboración propia

En el ANEXO 1 REGISTROS DE PERFORACIÓN, se encuentran los perfiles de exploración geotécnica.

8.6 RESULTADOS DE LABORATORIO

Se realizaron ensayos de laboratorio orientados a la caracterización física y mecánica de los materiales interceptados en las perforaciones mecánicas, con el propósito de establecer sus propiedades índice y de resistencia. Los ensayos ejecutados incluyen:

- Determinación del contenido de humedad natural.
- Determinación de los límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico).
- Clasificación de suelos conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
- Ensayo de penetración estándar (SPT) para la determinación del número de golpes NSPT.
- Ensayo de compresión inconfinada en suelos cohesivos.
- Ensayo de consolidación
- Ensayo de corte directo.

Con base en el programa de exploración geotécnica ejecutado, se consolidó la información correspondiente a los ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras obtenidas en cada uno de los sondeos. En la siguiente tabla se presenta un resumen de los sondeos ejecutados, indicando los ensayos efectuados por muestra, con el fin de proporcionar una visión general de la cobertura y alcance de la caracterización geotécnica desarrollada.

Tabla 6 Resumen resultados de laboratorio

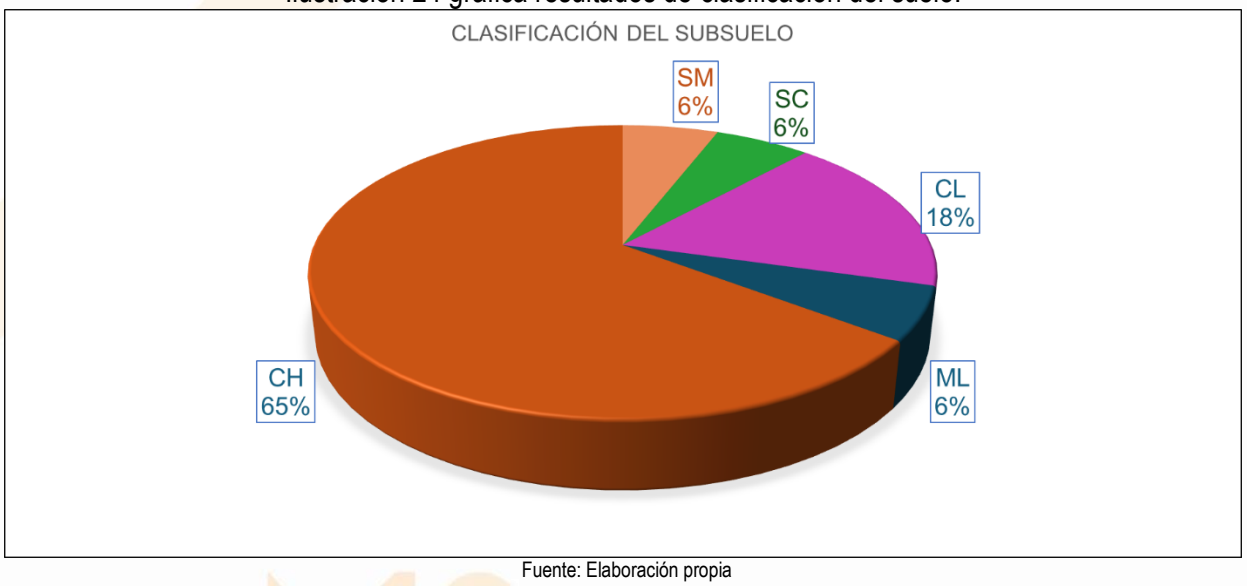
PERFORACION		DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD(m)	CLASIFICACIÓN		ÍNDICES DE CONSISTENCIA				GRANULOMETRÍA			PESO UNITARIO SECO, γd (KN/m³)	PESO UNITARIO HÚMEDO, γt (KN/m3)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA qu (KPA)	CORTE DIRECTO		CONSOLIDACIÓN		
No	M #			AASHTO	USCS	Wn %	LL %	LP %	IP %	Gravas %	Arenas %	Finos %				Ángulo de Fricción f (°)	Cohesión (kPa)	σp (kPa)	Cc	Cr
FACATATIVA PUENTE S-1	M2	Limo arcilloso de color negro	1.55 - 2.00	A-6	CL	25	36	36	21	1	31	68								
FACATATIVA PUENTE S-1	M4	Limo arcilloso de color gris con arena fina	3.55 - 4.00												200.71					
FACATATIVA PUENTE S-1	M5	Arena de grano fino de color gris oscuro	4.55 - 5.00	A-2-4	SM	22	NL	0	NP	0	73	27								
FACATATIVA PUENTE S-1	M8	Arcillolita de color gris claro	7.40 - 8.00													17,2	46,96			
FACATATIVA PUENTE S-1	M9	Arcillolita de color gris claro	8.55 - 9.00	A-7-5	CH	86	142	142	36	0	14	86								
FACATATIVA PUENTE S-1	M10	Arcillolita de color gris claro	9.40 - 10.00												113.8			310	1362	0.136
FACATATIVA PUENTE S-1	M11	Arcillolita de color gris claro	10.55 - 11.00	A-7-5	CH	102	169	169	38	1	26	73								
FACATATIVA PUENTE S-1	M12	Arcillolita de color gris claro	11.40 - 12.00												172.82					
FACATATIVA PUENTE S-1	M14	Arcillolita de color gris claro	13.40 - 14.00												78.08					
FACATATIVA PUENTE S-1	M15	Arcillolita de color gris claro	14.55 - 15.00	A-7-5	CH	108	151	151	34	0	31	69								
FACATATIVA PUENTE S-1	M16	Arcillolita de color gris claro	15.55 - 16.00										13.68	6.11						
FACATATIVA PUENTE S-1	M17	Arcillolita de color gris oscuro	16.40 - 17.00													15,61	50,61			
FACATATIVA PUENTE S-1	M18	Arcillolita de color gris oscuro	17.55 - 18.00	A-7-6	CH	89	119	119	28	0	29	71								
FACATATIVA PUENTE S-1	M19	Arcillolita de color gris oscuro	18.40 - 19.00															520	1430	0.109
FACATATIVA PUENTE S-1	M20	Arcillolita de color gris oscuro	19.55 - 20.00	A-7-5	CH	90	131	131	34	17	26	57								
FACATATIVA PUENTE S-2	M2	Recebo de color café oscuro	1.05 - 1.50	A-6	CL	10	28	28	17	15	32	53								

PERFORACION		DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD(m)	CLASIFICACIÓN		ÍNDICES DE CONSISTENCIA				GRANULOMETRÍA			PESO UNITARIO SECO, γd (KN/m³)	PESO UNITARIO HÚMEDO, γt (KN/m3)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA qu (KPA)	CORTE DIRECTO		CONSOLIDACIÓN		
No	M #			AASHTO	USCS	Wn %	LL %	LP %	IP %	Gravas %	Arenas %	Finos %				Ángulo de Fricción f (°)	Cohesión (kPa)	op (kPa)	Cc	Cr
FACATATIVA PUENTE S-2	M3	Limo arcilloso de color café	2.55 - 3.00										18.48	14.77						
FACATATIVA PUENTE S-2	M4	Limo arcilloso de color café	3.25 - 3.70	A-4	ML	28	24	24	21	0	33	67								
FACATATIVA PUENTE S-2	M5	Limo arcilloso de color negro	4.00 - 4.60													23,85	9,09	490	0.466	0.025
FACATATIVA PUENTE S-2	M6	Gravas medianas y limo arcilloso de color negro	4.70 - 5.50	A-6	SC	33	34	34	22	23	32	45								
FACATATIVA PUENTE S-2	M8	Arcilla limosa de color gris oscuro con negro	7.55 - 8.00	A-7-6	CL	34	47	47	22	0	28	72								
FACATATIVA PUENTE S-2	M10	Arcilla limosa de color gris oscura	10.00 - 9.00												37.9					
FACATATIVA PUENTE S-2	M11	Arcilla limosa de color gris oscura	11.00 - 11.45	A-7-5	CH	75	106	106	31	0	4	96								
FACATATIVA PUENTE S-2	M12	Arcilla limosa de color gris oscura	12.00 - 12.60												193.13			335	1694	0.201
FACATATIVA PUENTE S-2	M15	Arcilla limosa de color gris oscura	15.00 - 15.45	A-7-5	CH	102	NL	0	NP	0	23	77								
FACATATIVA PUENTE S-2	M16	Arcilla limosa de color gris oscura	16.00 - 16.60												91.22					
FACATATIVA PUENTE S-2	M17	Arcilla limosa de color gris oscura	17.55 - 18.00	A-7-5	CH	86	112	112	37	0	10	90								
FACATATIVA PUENTE S-2	M18	Arcilla limosa de color gris oscura	18.50 - 19.10													13,9	47,11			
FACATATIVA PUENTE S-2	M20	Arcilla limosa de color gris oscura	20.00 - 20.60												126.91					
FACATATIVA PUENTE S-2	M21	Arcilla limosa de color gris oscura	21.55 - 22.00	A-7-5	CH	89	126	126	41	0	15	85								
FACATATIVA PUENTE S-2	M24	-	24.40 - 25.00												113.24					
FACATATIVA PUENTE S-2	M25			A-7-5	CH	74	131	131	31	0	13	87								

PERFORACION		DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD(m)	CLASIFICACIÓN		ÍNDICES DE CONSISTENCIA				GRANULOMETRÍA			PESO UNITARIO SECO, γd (KN/m³)	PESO UNITARIO HÚMEDO, γt (KN/m3)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA qu (KPA)	CORTE DIRECTO		CONSOLIDACIÓN		
No	M #			AASHTO	USCS	Wn %	LL %	LP %	IP %	Gravas %	Arenas %	Finos %				Ángulo de Fricción f (°)	Cohesión (kPa)	op (kPa)	Cc	Cr
FACATATIVA PUENTE S-2	M26														108.21	10,98	73,87			
FACATATIVA PUENTE S-2	M29			A-7-5	CH	77	113	113	32	0	8	92								

Con el propósito de analizar el comportamiento y las propiedades de los materiales evaluados, se elaboraron gráficas a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio. Estas gráficas permiten visualizar la variación de parámetros como contenido de humedad, límites de Atterberg y pesos unitarios, facilitando la interpretación de las características geotécnicas de los suelos y la identificación de tendencias a lo largo de los diferentes sondeos.

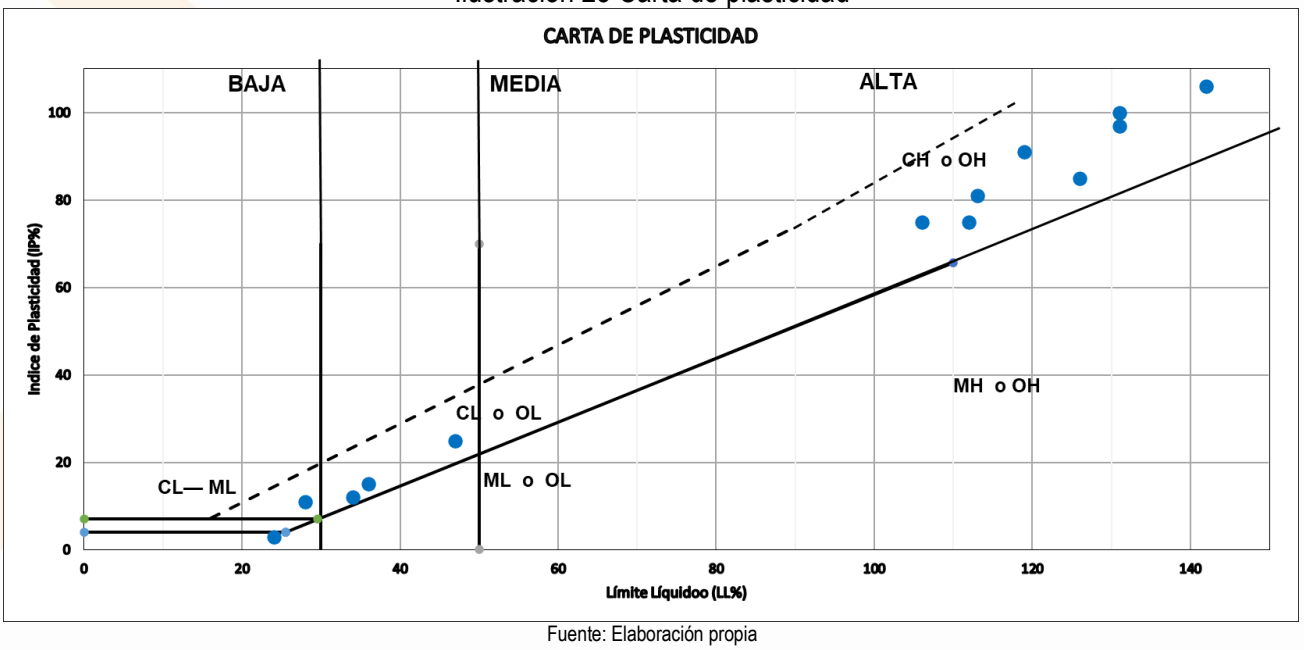
Ilustración 24 grafica resultados de clasificación del suelo.



Fuente: Elaboración propia

La distribución de los materiales indica un marcado predominio de suelos finos de comportamiento cohesivo, donde las arcillas de alta plasticidad (CH) constituyen el componente mayoritario con un 65% de la clasificación total, seguidas por arcillas de baja a media plasticidad (CL) con un 18%. Estos materiales finos, en conjunto con aportes menores de limos de baja plasticidad (ML - 6%), arenas arcillosas (SC - 6%) y arenas limosas (SM - 6. Es fundamental notar que, aunque la gráfica sintetiza la clasificación de suelos según el sistema USCS, la abrumadora presencia del grupo CH se correlaciona directamente con los sectores más críticos de la exploración, los cuales subyacen sobre el basamento rocoso de limolitas y areniscas detectado en las fases profundas de los sondeos.

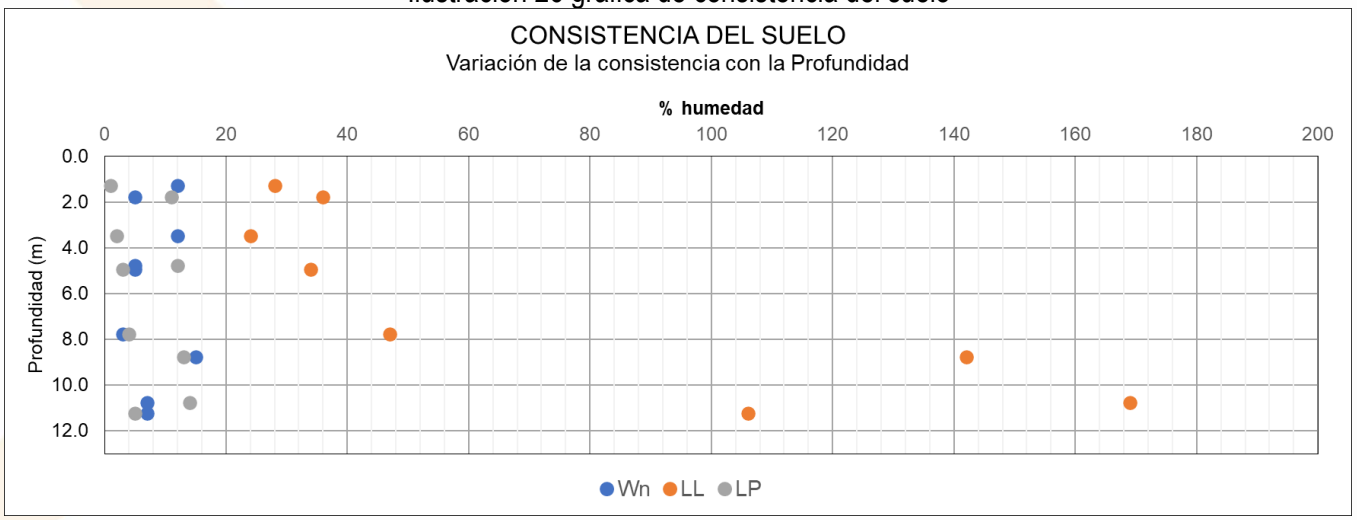
Ilustración 25 Carta de plasticidad



Fuente: Elaboración propia

La Carta de Plasticidad muestra una marcada dispersión de las muestras, con una presencia inicial en el rango de plasticidad baja a media y una concentración crítica y mayoritaria en la zona de alta plasticidad, situándose de manera contundente por encima de la "Línea A" en la región de las arcillas inorgánicas de alta plasticidad (CH). Los valores de Límite Líquido (LL) se extienden en un rango sumamente amplio desde un 24% hasta un máximo excepcional del 142%, evidenciando un drástico incremento en el potencial de expansión a medida que los sondeos profundizan. Este comportamiento es plenamente consistente con el perfil estratigráfico global del proyecto, donde la transición hacia las arcillas limosas grises y oscuras genera una matriz cohesiva con una altísima capacidad de retención de agua, disparando el Índice de Plasticidad (IP) desde valores mínimos del 3% en los niveles superiores de transición hasta picos críticos de 106% en los estratos arcillosos más profundos y densos

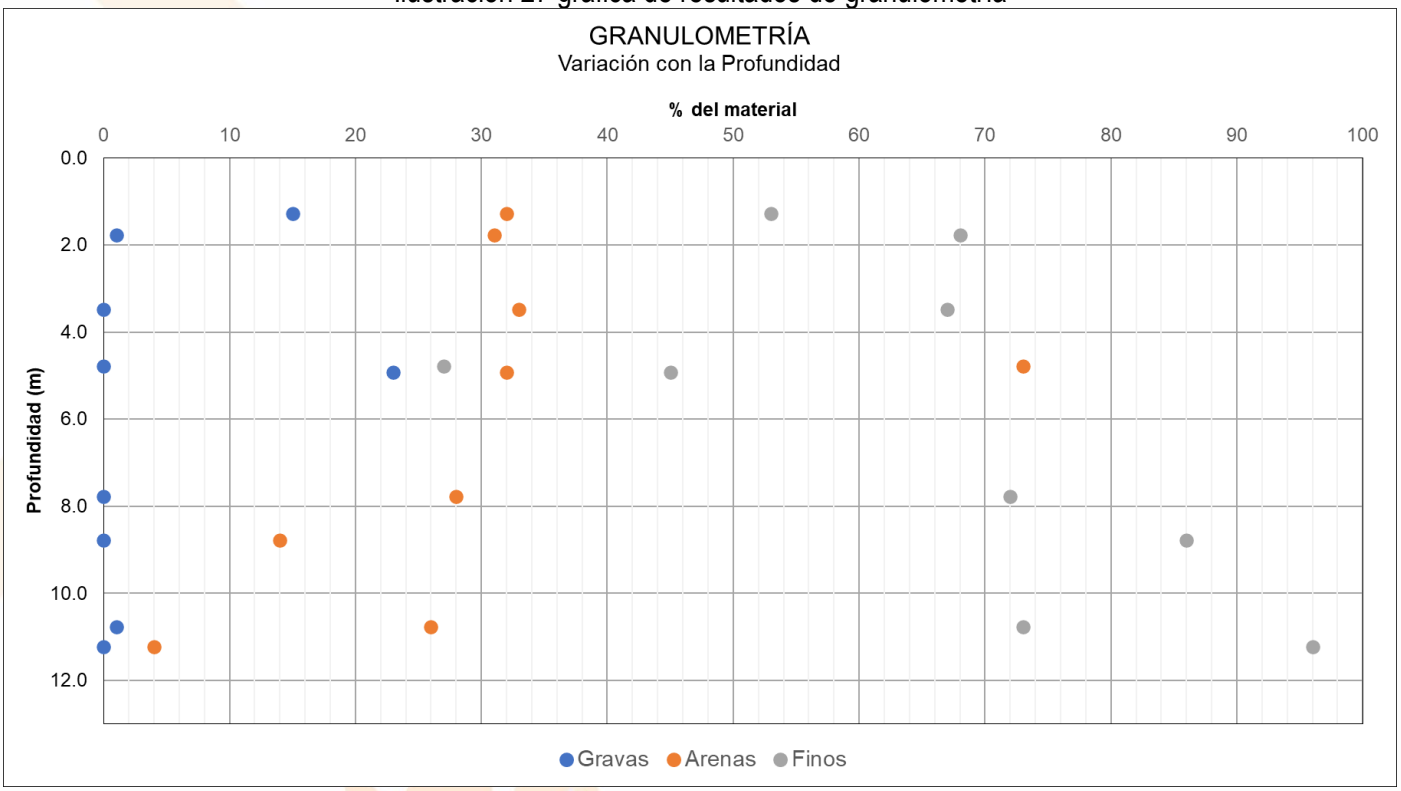
Ilustración 26 grafica de consistencia del suelo



Fuente: Elaboración propia

La gráfica de Variación de la Consistencia con la Profundidad refleja un comportamiento estratigráfico altamente diferenciado, donde la humedad natural (Wn) se mantiene constante en un rango bajo entre el 3% y el 15%, situándose de manera sistemática muy cerca o por debajo del Límite Plástico (LP). Esta brecha entre la humedad natural y el límite líquido potencial confirma que, aunque el suelo se encuentra actualmente en un estado de consistencia semisólida a dura en su condición inalterada, posee un potencial de sensibilidad, hidro-susceptibilidad y expansión extremadamente crítico si llega a experimentar procesos de saturación.

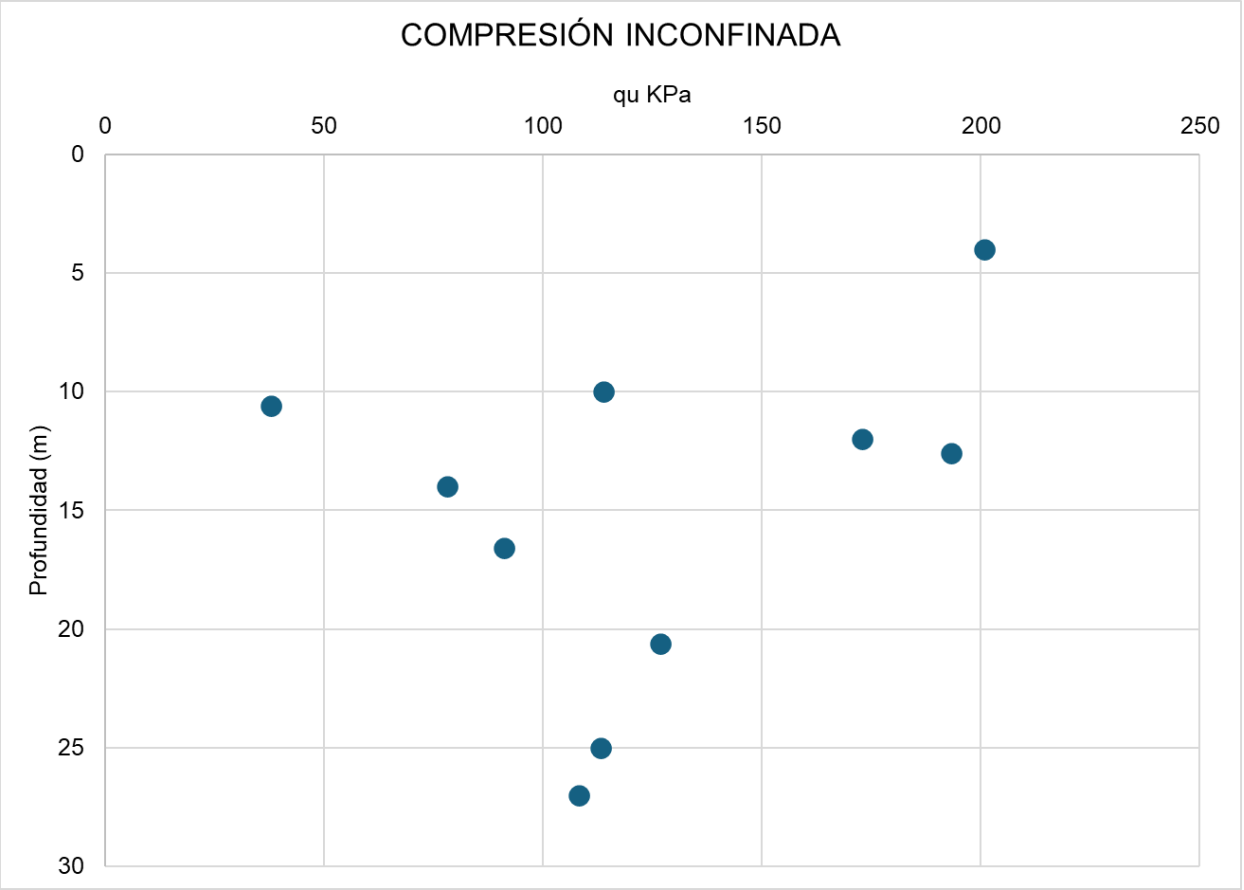
Ilustración 27 grafica de resultados de granulometría



Fuente: Elaboración propia

La gráfica de Variación de la Granulometría con la Profundidad confirma la naturaleza predominantemente fina y cohesiva del subsuelo, donde el contenido de Finos se sitúa de manera sostenida por encima del 53%, alcanzando concentraciones críticas de hasta un 96% en los niveles más profundos evaluados a los 11.20 metros. Esta hegemonía de la fracción fina se alinea perfectamente con la clasificación general de arcillas de alta plasticidad (CH), exhibiendo además un quiebre estratigráfico notable entre los 4.50 y 5.00 metros de profundidad, donde se registra el único pico significativo de Gravas (23%) y Arenas (32%) en detrimento de los finos, que caen puntualmente a un 45%. No obstante, una vez superado este horizonte intermedio de transición granular o aporte aluvial grueso, el perfil retoma una tendencia puramente arcillo-limosa, donde las arenas disminuyen drásticamente por debajo del 26% y las gravas prácticamente desaparecen (0% a 1%), ratificando la homogeneidad y el comportamiento altamente compresible del manto arcilloso profundo.

Ilustración 28 grafica de resultados de compresión inconfinada



Fuente: Elaboración propia

La gráfica de compresión inconfinada (qu) muestra una variabilidad moderada de la resistencia con la profundidad, con valores comprendidos aproximadamente entre 38 kPa y 201 kPa. No se observa una tendencia clara de incremento o disminución de la resistencia con la profundidad, lo que sugiere la presencia de estratos con diferentes condiciones de consistencia y grado de meteorización.

Los valores más altos de resistencia se registran en los niveles superficiales, donde se alcanza una resistencia cercana a 200 kPa a una profundidad aproximada de 4 m, indicando materiales de consistencia firme a muy firme. Entre los 10 m y 17 m de profundidad predominan resistencias entre 80 kPa y 175 kPa, correspondientes a materiales de consistencia media a firme.

En los niveles más profundos (20 m a 27 m) se evidencia una disminución de la resistencia, con valores cercanos a 100 kPa e incluso inferiores, lo que podría estar asociado a cambios litológicos, mayor contenido de humedad o zonas localmente más alteradas.

En el ANEXO 2 RESULTADOS DE LABORATORIO, se encuentran los resultados de laboratorio de las perforaciones.

8.7 PARÁMETROS DE RESISTENCIA

En el caso de los suelos finos es posible calcular el valor de la resistencia no drenada c_u mediante la expresión:

$$c_u\ (kN/m^2) = 4.4\ N_{campo} \qquad \text{(Stroud, 1974)}$$

Para el caso de los suelos granulares es posible calcular el valor del ángulo de fricción en condición no drenada ϕ' mediante la expresión:

$$\phi' = 17 + \sqrt{20 N_{corr}} \text{ (Hatanaka y Uchida, 1996)}$$

En este caso N_{corr} es el valor de la resistencia arrojada por la prueba de SPT en campo, corregida por confinamiento y por energía; el valor del factor de corrección por confinamiento se estima como:

$$Cn = \frac{9.78}{\sqrt{\sigma_v'}} \text{ (Liao \& Whitman,1986)}$$

El factor de corrección por energía es:

$$e = (e1 / e2) = (45 / 60) = 0.75$$

En la expresión anterior σ'_v es el esfuerzo vertical efectivo a la profundidad de ensayo; en este caso se asume que la energía de ensayo es del 45%.

Con esto, para cada profundidad de ensayo, se tiene:

$$N_{corr} = e \text{ x } Cn \text{ x } N_{campo} \qquad \text{(Bowles, 1988)}$$

Estos valores se emplearán en la determinación de parámetros.

8.8 PARÁMETROS DE DEFORMACIÓN

Para el caso de los suelos finos, el valor del módulo de elasticidad E_s se estima de acuerdo con la expresión (Das, 2001):

$$E_s = 500\ c_u$$

En el caso de los estratos granulares, el valor del módulo de elasticidad E_s puede estimarse mediante la expresión (Adaptado de Bowles, 1996):

$$E_s = 3{,}000\ N_{campo}$$

La variación de los parámetros de resistencia y deformación con la profundidad se presentan a continuación:

Ilustración 29 Perfil de resistencia puente S1.

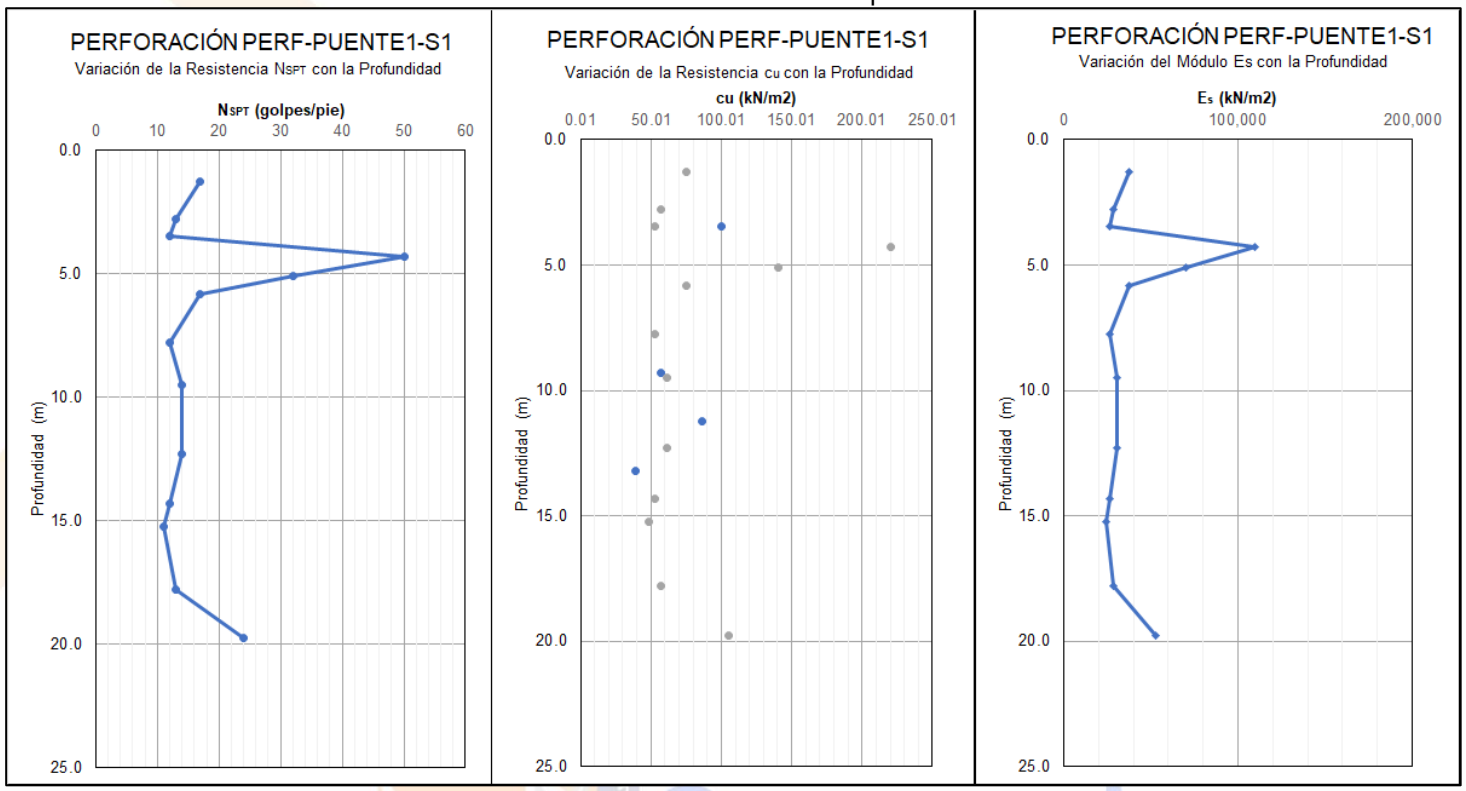
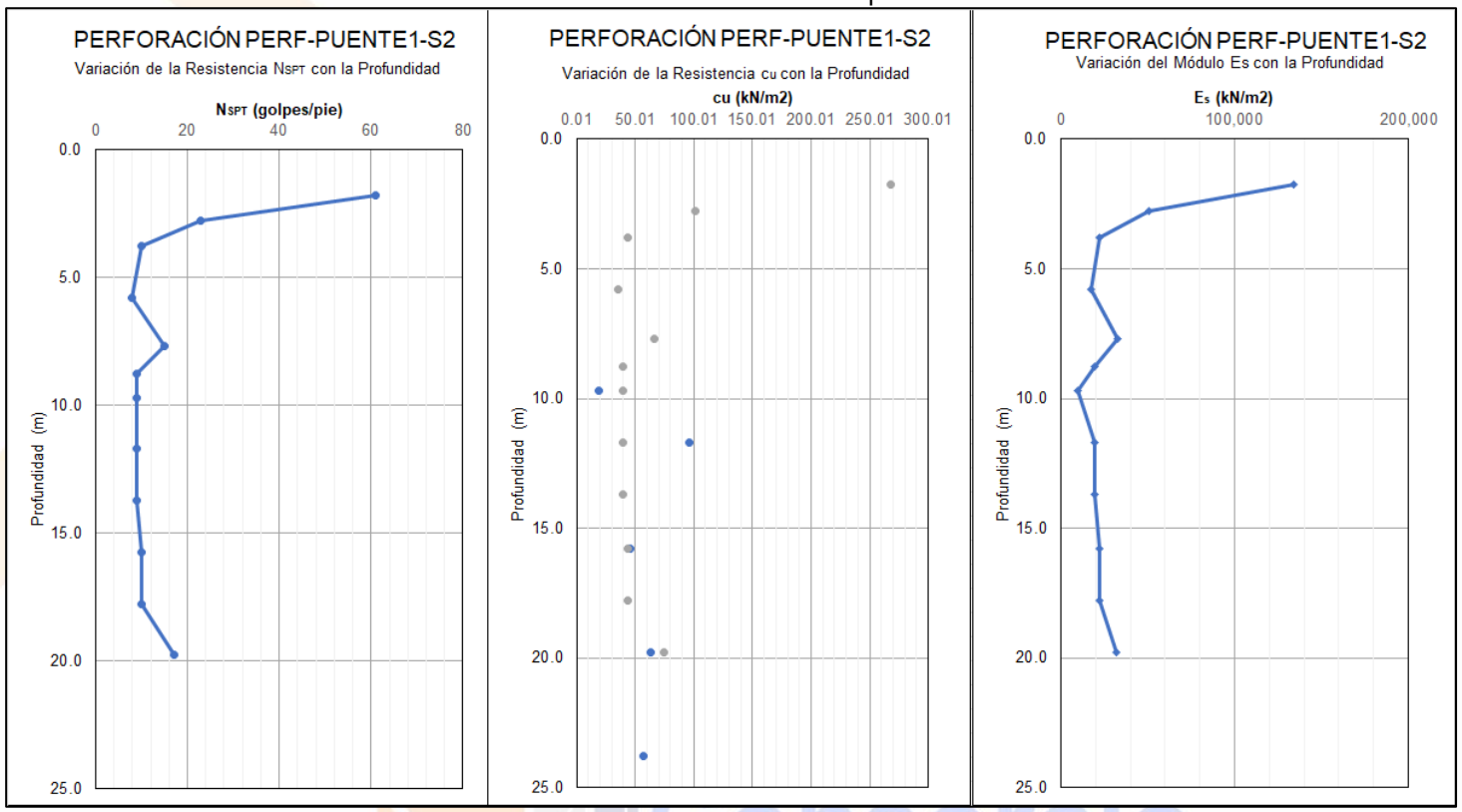


Ilustración 30 Perfil de resistencia puente S2.

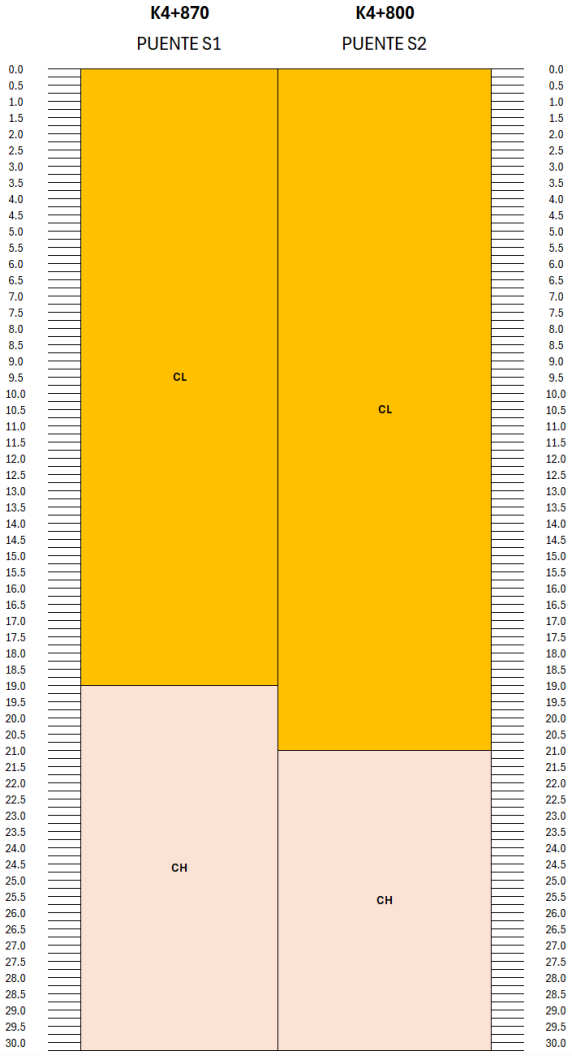


8.9 SECTORIZACIÓN

Esta actividad se hace considerando los perfiles estratigráficos encontrados en la exploración geotécnica directa, y la morfología del terreno a lo largo del corredor vial.

La variación de la estratigrafía del terreno a lo largo del corredor vial se ilustra a continuación:

Ilustración 31 Perfiles estratigráficos encontrados en la exploración geotécnica directa



Con base en la estratigrafía es posible definir los siguientes sectores:

Tabla 7 Sectores definidos según la estratigrafía

Sector	Abscisas
1	K0+00 - K2+988

Por otra parte, a lo largo del corredor se identifican tres sectores homogéneos desde el punto de vista de la morfología:

Tabla 8 Tipo de terreno según la morfología encontrada

Sector	Tipo de Terreno
K0+00 - K2+988	Plano / Ondulado

Con todo lo anterior se propone establecer la siguiente sectorización del tramo en estudio:

Tabla 9 Sectorización definitiva del corredor vial

SECTOR	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Morfología (Tipo de Terreno)
1	K0+000	K2+988	Plano / Ondulado

8.10 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

El presente capítulo tiene como objetivo la definición de los parámetros geotécnicos requeridos para el desarrollo de los análisis y diseños contemplados en el proyecto. Estos parámetros se establecen a partir de la interpretación y correlación de la información obtenida en la campaña de exploración, incluyendo los ensayos de campo tipo SPT (Standard Penetration Test) y los ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras recuperadas. Para el caso de los parámetros derivados del SPT, las correlaciones empleadas se presentan en los capítulos 8.5 Parámetros de Resistencia y 8.6 Parámetros de Deformación.

Los parámetros de resistencia y deformación para cada uno de los sectores que conforman la vía son los siguientes:

Tabla 10 Parámetros geotécnicos Sector 1

Profundidad (m)	Estrato / Material	N_{campo} (golpes/pie)	c' (KPa)	ϕ' (°)	c_u (KPa)	Es (kN/m2)
0.00 - 20.00	CL	9	4.561	25	45.61	22,805
20.00-30.00	CH	24	5.4	25	54	27,000

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, los parámetros geotécnicos para el cálculo de cimentaciones en uno de los sitios críticos examinados son los siguientes:

Tabla 11 Parámetros geotécnicos Puente S-1

Profundidad (m)	Estrato / Material	N_{campo} (golpes/pie)	c' (KPa)	ϕ' (°)	c_u (KPa)	Es (kN/m2)
0.00-19.00	CL	12	5.659	25	56.59	28,295
19.00 - 30.00	CH	24	8.8	25	88	44,000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12 Parámetros geotécnicos Puente S-2

Profundidad (m)	Estrato / Material	N_{campo} (golpes/pie)	c' (KPa)	ϕ' (°)	c_u (KPa)	Es (kN/m2)
0.00 - 21.00	CL	9	4.561	25	45.61	22,805
21.00-30.00	CH	27	5.4	25	54	27,000

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados permiten establecer las siguientes características del comportamiento de los materiales examinados:

Los materiales identificados a lo largo del corredor corresponden principalmente a depósitos de origen aluvial y coluvial, conformados por suelos finos de consistencia variable, con intercalaciones locales de materiales granulares y estratos de mayor resistencia en profundidad.

La exploración geotécnica evidencia una variabilidad estratigráfica moderada entre los diferentes sectores evaluados; sin embargo, fue posible definir horizontes geotécnicos homogéneos y establecer parámetros representativos para el diseño de las cimentaciones.

Los resultados de los ensayos de clasificación muestran el predominio de suelos cohesivos de baja a media plasticidad, con contenidos de humedad natural inferiores a sus respectivos límites líquidos, condición que indica un comportamiento estable y una baja susceptibilidad a cambios volumétricos bajo las condiciones actuales del terreno.

Los contenidos de humedad y las características granulométricas indican que los materiales finos presentan permeabilidades bajas, por lo que el flujo de agua a través del macizo se desarrolla de manera lenta, favoreciendo el mantenimiento de las condiciones naturales de los depósitos.
Los pesos unitarios determinados en laboratorio indican que los materiales evaluados no presentan condiciones que permitan prever fenómenos de colapso en su estado natural.

9. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

El presente capítulo aborda la evaluación geotécnica de los cortes proyectados identificados como relevantes dentro del diseño geométrico del corredor vial, con el propósito de caracterizar las condiciones geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de los materiales involucrados, así como verificar su comportamiento frente a las condiciones de excavación propuestas.

Durante el reconocimiento de campo no se identificaron puntos críticos asociados a procesos de inestabilidad activos que comprometieran la estabilidad de la banca o de los taludes existentes a lo largo del corredor. En consecuencia, el análisis geotécnico se enfoca en los cortes proyectados contemplados en el diseño geométrico, considerados susceptibles de requerir evaluación detallada debido a su altura, geometría, características litológicas o condiciones topográficas particulares.

Para estos sectores se desarrollaron análisis de estabilidad bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas, con el fin de verificar el cumplimiento de los factores de seguridad establecidos por la normativa vigente.

9.1 SITIOS CRÍTICOS

En el presente capítulo se desarrolla la descripción y evaluación geotécnica general del corredor vial, considerando las condiciones geomorfológicas, geológicas y geotécnicas observadas durante la inspección de campo. La evaluación permitió caracterizar los materiales presentes en los taludes y áreas adyacentes a la vía, así como identificar las condiciones de drenaje superficial, los procesos de meteorización y los factores que podrían influir en el comportamiento futuro de los materiales.

Durante el reconocimiento no se evidenciaron sitios críticos ni procesos de inestabilidad activos que representen una amenaza para la infraestructura vial. No obstante, se identificaron sectores con susceptibilidad a procesos menores de erosión superficial y degradación natural de los materiales expuestos, propios de las condiciones geomorfológicas y climáticas de la zona.

9.2 ANÁLISIS DE CORTES

En el presente capítulo se presentan los análisis correspondientes a los cortes propuestos en taludes a lo largo del corredor vial, los cuales fueron definidos con base en las necesidades de mejoramiento geométrico, ampliación de la sección vial y conformación de las condiciones proyectadas del terreno.

Para el desarrollo de este capítulo se seleccionaron los cortes más representativos del corredor, considerando aspectos como la altura proyectada de excavación, la geometría de los taludes, las características geotécnicas de los materiales presentes y las condiciones topográficas del sector.

El análisis de los cortes propuestos tiene como finalidad evaluar el comportamiento geotécnico de los taludes proyectados y verificar condiciones adecuadas de estabilidad

Tabla 13 Resumen de cortes proyectados.

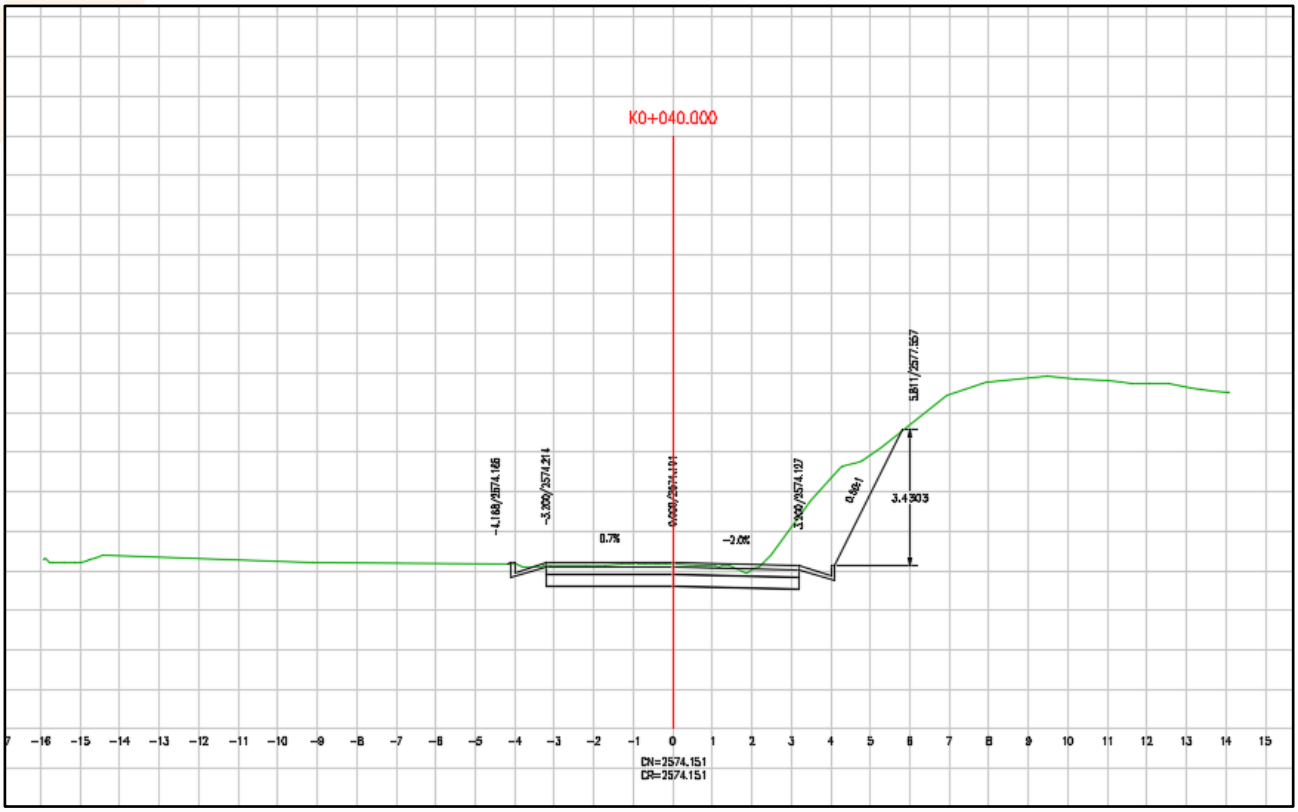
TIPO	ABSCISA INICIO	ABSCISA FINAL	LONGITUD	ALTURA MAXIMA	SECCION CRITICA
CORTE	K+040	K+140	100.00	3.43	K+040

Fuente: Elaboración propia

Como criterio general de diseño, para los cortes proyectados a lo largo del corredor vial se propone una pendiente de 0.5H:1V, considerada adecuada de acuerdo con las condiciones geotécnicas y geomecánicas identificadas en los materiales presentes.

Con el propósito de verificar las condiciones de estabilidad de los cortes proyectados, se realizará un análisis de estabilidad bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas (sísmicas) en la sección correspondiente al mayor corte identificado en el corredor, localizada en la abscisa K0+040. Dicho análisis será desarrollado mediante el empleo del software especializado Slide, con el fin de evaluar el comportamiento geotécnico del talud proyectado y estimar los factores de seguridad asociados a las condiciones de carga consideradas.

Ilustración 32 Sección analizada.

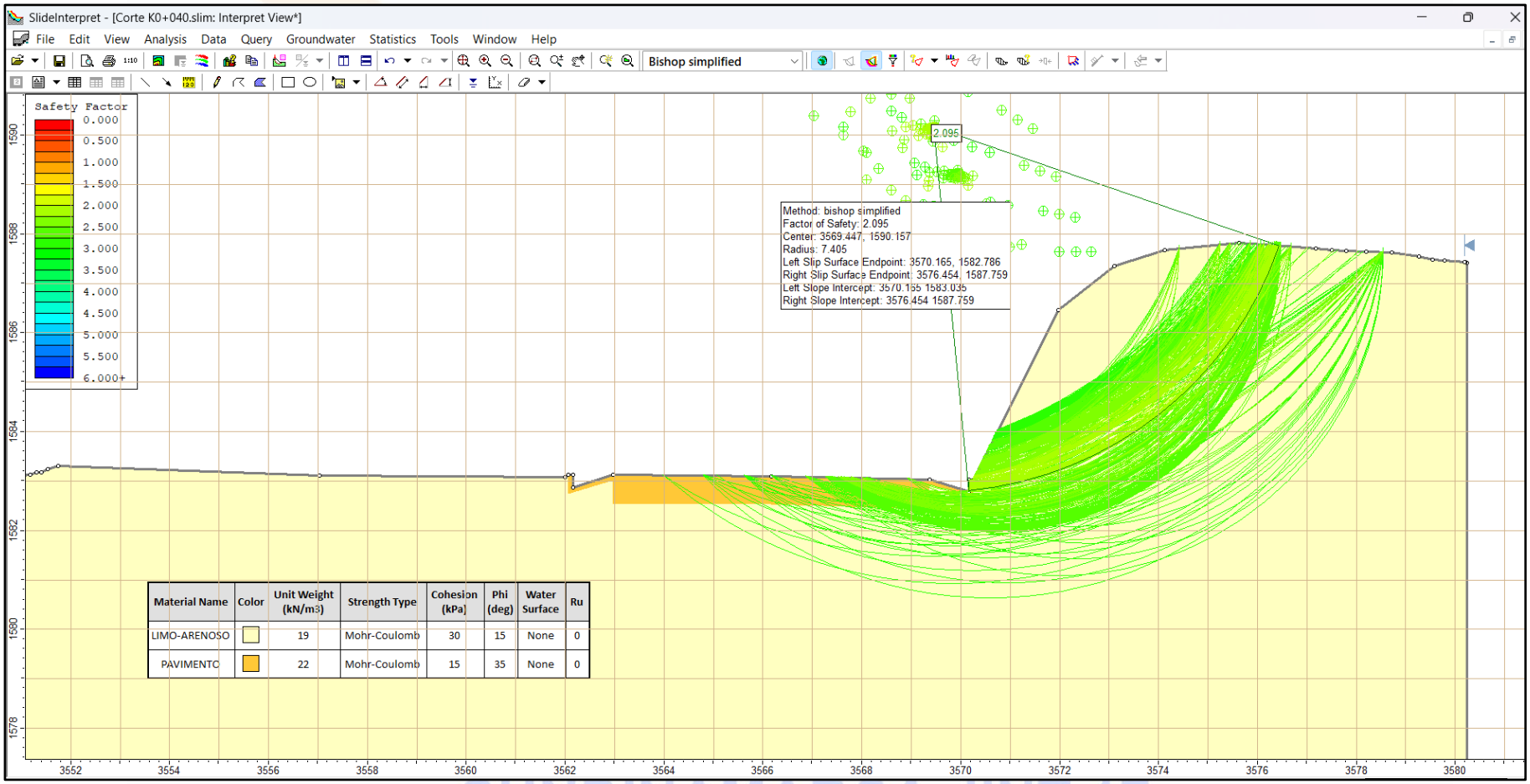


Fuente: Elaboración propia

El corte más crítico identificado en el corredor corresponde al sector localizado en la abscisa K0+040, donde afloran suelos limo-arenosos, de color habano grisáceo.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis de estabilidad desarrollado mediante el software Slide, correspondiente a la sección crítica localizada en la abscisa K0+040. Los resultados incluyen la evaluación de las condiciones de estabilidad del corte proyectado bajo escenarios estáticos y pseudoestáticos, así como los factores de seguridad asociados al comportamiento del talud analizado.

Ilustración 33 Análisis de estabilidad sin sismo – Estabilidad Global

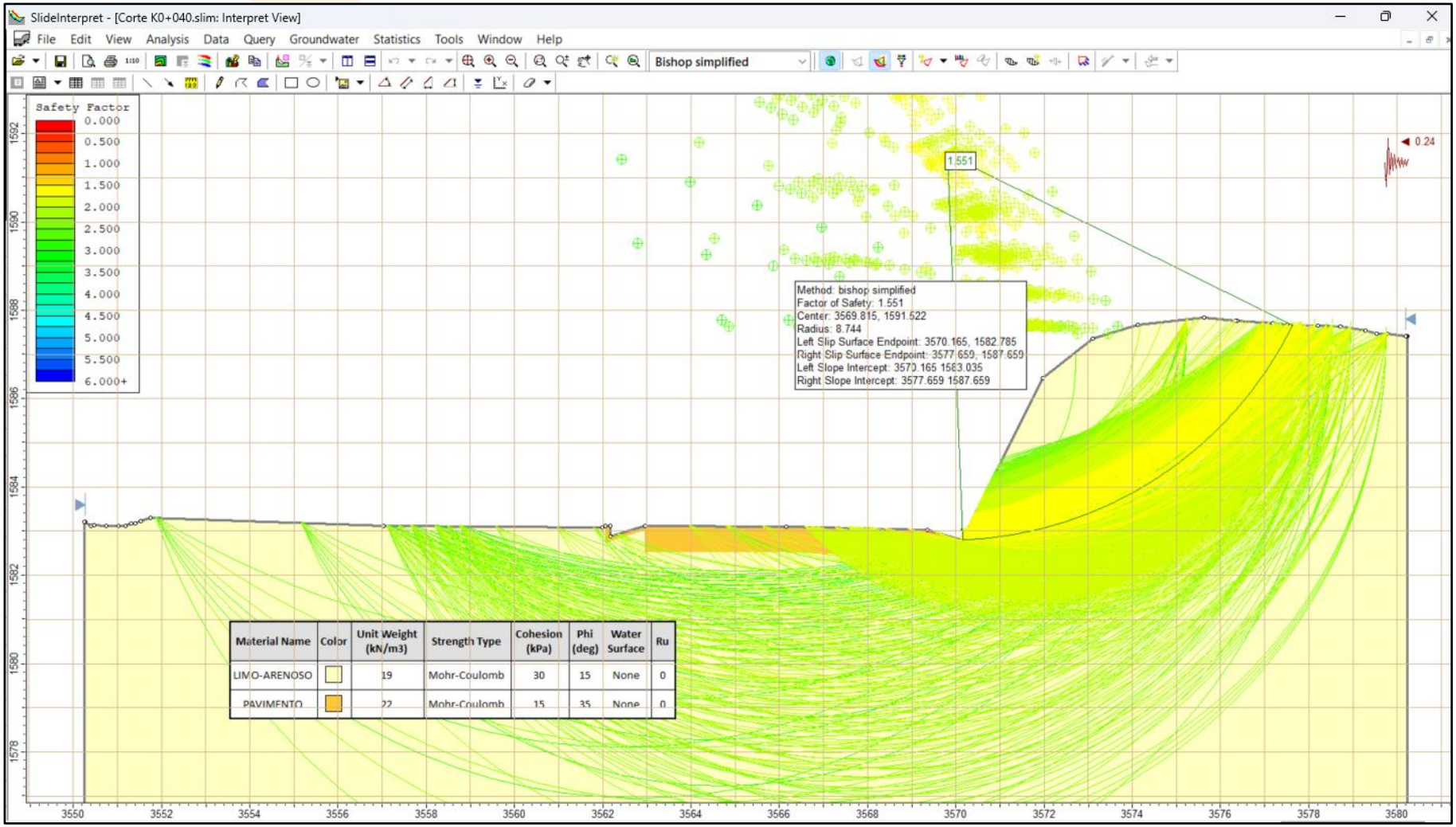


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface	Ru
LIMO-ARENOSO		19	Mohr-Coulomb	30	15	None	0
PAVIMENTO		22	Mohr-Coulomb	15	35	None	0

Fuente: Elaboración propia.

CUNDINAMARCA JINT 17

Ilustración 34 Análisis de estabilidad con sismo – Estabilidad Global



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de estabilidad realizado mediante el software Slide para la sección crítica localizada en la abscisa K0+040, el corte proyectado presenta condiciones de estabilidad adecuadas tanto para el escenario estático como pseudoestático. Se obtuvieron factores de seguridad de 2.096 y 1.551, respectivamente, valores que cumplen con los criterios mínimos de aceptación establecidos para este tipo de obras. En consecuencia, se considera que el talud proyectado es estable bajo las condiciones analizadas, aun considerando la interacción estructural desfavorable asociada a los planos de diaclasamiento y los potenciales mecanismos de volcamiento identificados en los bancos de arenisca aflorantes.

9.3 PERFIL DEL SUELO

Se determinó el Perfil de Suelo y espectro sísmico para los puentes del estudio, esto siguiendo los lineamientos de la CCP-14 según las pruebas de SPT y la línea sísmica realizada; los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 14 Perfil de Suelos Sondeo 1

FACATATIVÁ PUENTE SONDEO S-1

DETERMINACIÓN DEL PERFIL DE SUELOS - CON N (golpes/pie)

ESTRATO	PROFUNDIDAD (m)		ESPESOR (m)	N60 (golpes/pie)	di/N
	DESDE	HASTA			
1	0.00	4.00	4.0	10.5	0.38
2	4.00	6.00	2.0	30.75	0.07
3	6.00	19.00	13.0	9.75	1.33
4	19.00	30.00	24.0	64.5	0.37
				Σ	**2.15**
				ds	**43.0**
				N (golpes/pie)	**20**
				SUELO TIPO	**D**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15 Perfil de Suelos Sondeo 2

FACATATIVÁ PUENTE SONDEO S-2

DETERMINACIÓN DEL PERFIL DE SUELOS - CON N (golpes/pie)

ESTRATO	PROFUNDIDAD (m) DESDE	HASTA	ESPESOR (m)	N60 (golpes/pie)	di/N
1	0.00	3.00	3.0	45.75	0.07
2	3.00	7.00	4.0	12	0.33
3	7.00	16.00	9.0	7.5	1.20
4	16.00	22.00	6.0	13.5	0.44
5	22.00	30.00	24.0	21.75	1.10
				Σ	**3.15**
				ds	**46.0**
				N (golpes/pie)	**15**
				SUELO TIPO	**E o F**

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los valores promedio de resistencia a la penetración estándar corregida por energía N60 el Sondeo S-1 clasifica el sitio como Perfil Tipo D, mientras que el Sondeo S-2 presenta un valor de N60=15 golpes/pie, correspondiente a un Perfil Tipo E.

De manera complementaria, el procesamiento conjunto de los ensayos MASW y SRHV permitió determinar un valor de Vs30 = 224 m/s, el cual corresponde a un Perfil de Suelo Tipo D de acuerdo con la NSR-10. Dado que la velocidad promedio de onda de corte constituye una medición directa de las propiedades dinámicas del depósito e integra el comportamiento del subsuelo en los primeros 30 m de profundidad sobre una mayor extensión del terreno, se considera que este parámetro es más representativo del comportamiento global del sitio que los resultados puntuales obtenidos en un sondeo individual.

El resumen de resultados es el siguiente:

Tabla 16 Resumen resultados de perfil de suelo obtenidos.

Sondeo / Línea Sísmica	V_{s30} (m/s)	Suelo Tipo
S-1	-	D
S-2	-	E o F
TRS-01	224	D

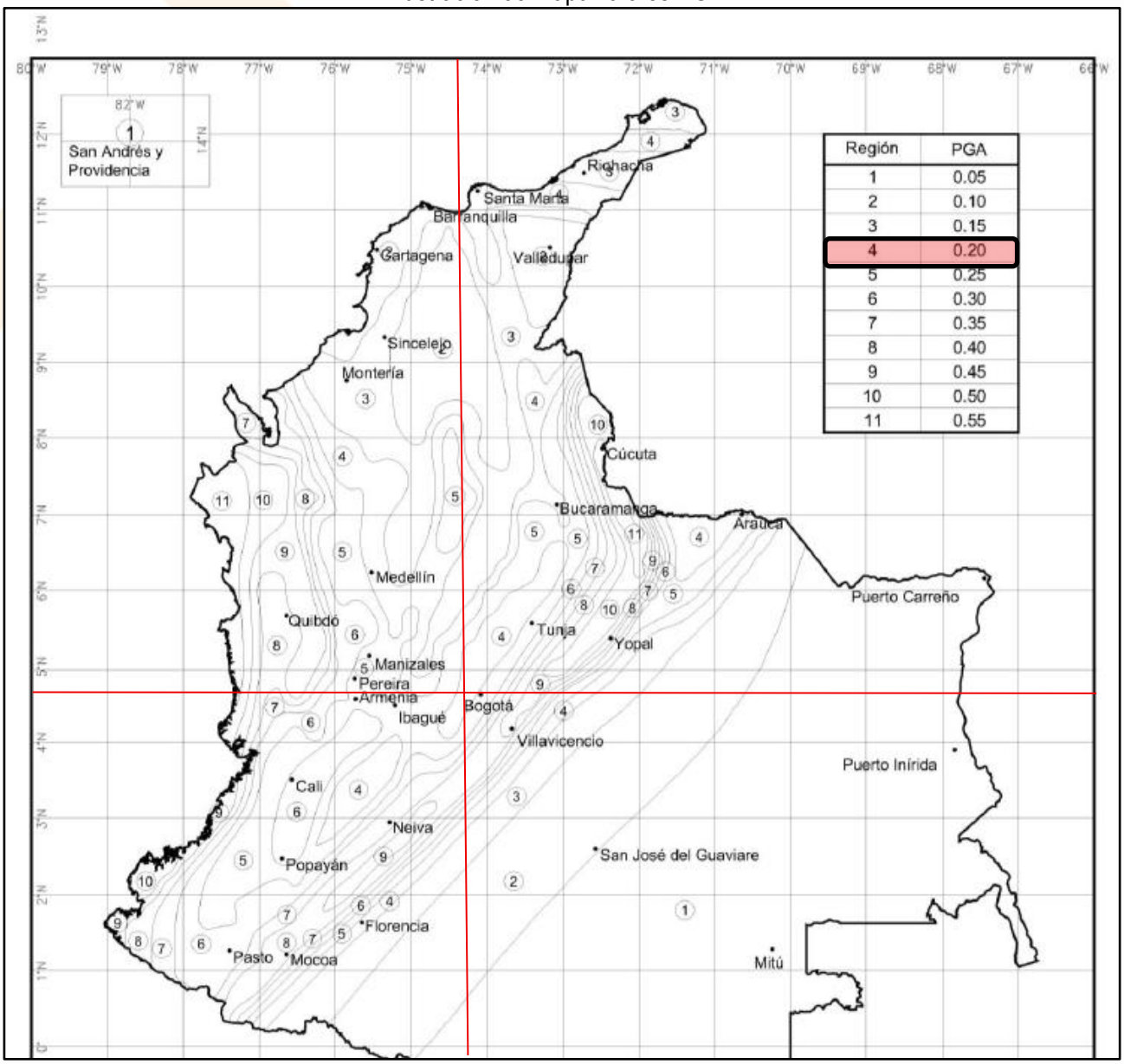
Fuente: Elaboración propia.

En consecuencia, considerando la concordancia entre la clasificación obtenida mediante el ensayo geofísico y el Sondeo S-1, así como la variabilidad local evidenciada por el Sondeo S-2, para efectos del análisis y diseño sísmico del proyecto se adopta un Perfil de Suelo Tipo E.

9.4 AMENAZA SÍSMICA

Para el análisis de sismicidad en la zona del proyecto, se toman los valores PGA a partir del mapa de la CCP-14.

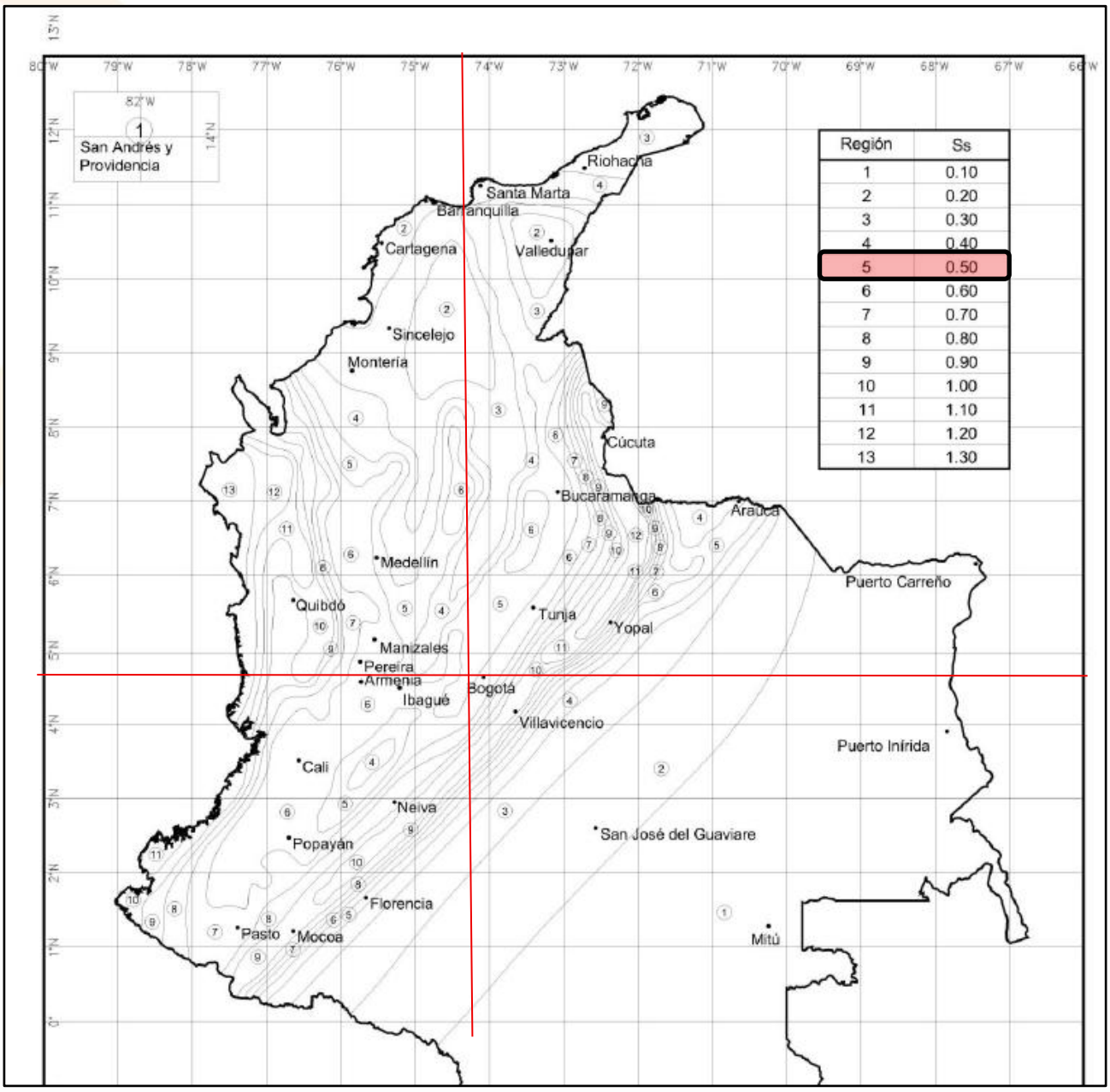
Ilustración 35 Mapa valores PGA



Región	PGA
1	0.05
2	0.10
3	0.15
4	0.20
5	0.25
6	0.30
7	0.35
8	0.40
9	0.45
10	0.50
11	0.55

Fuente: CCP-14

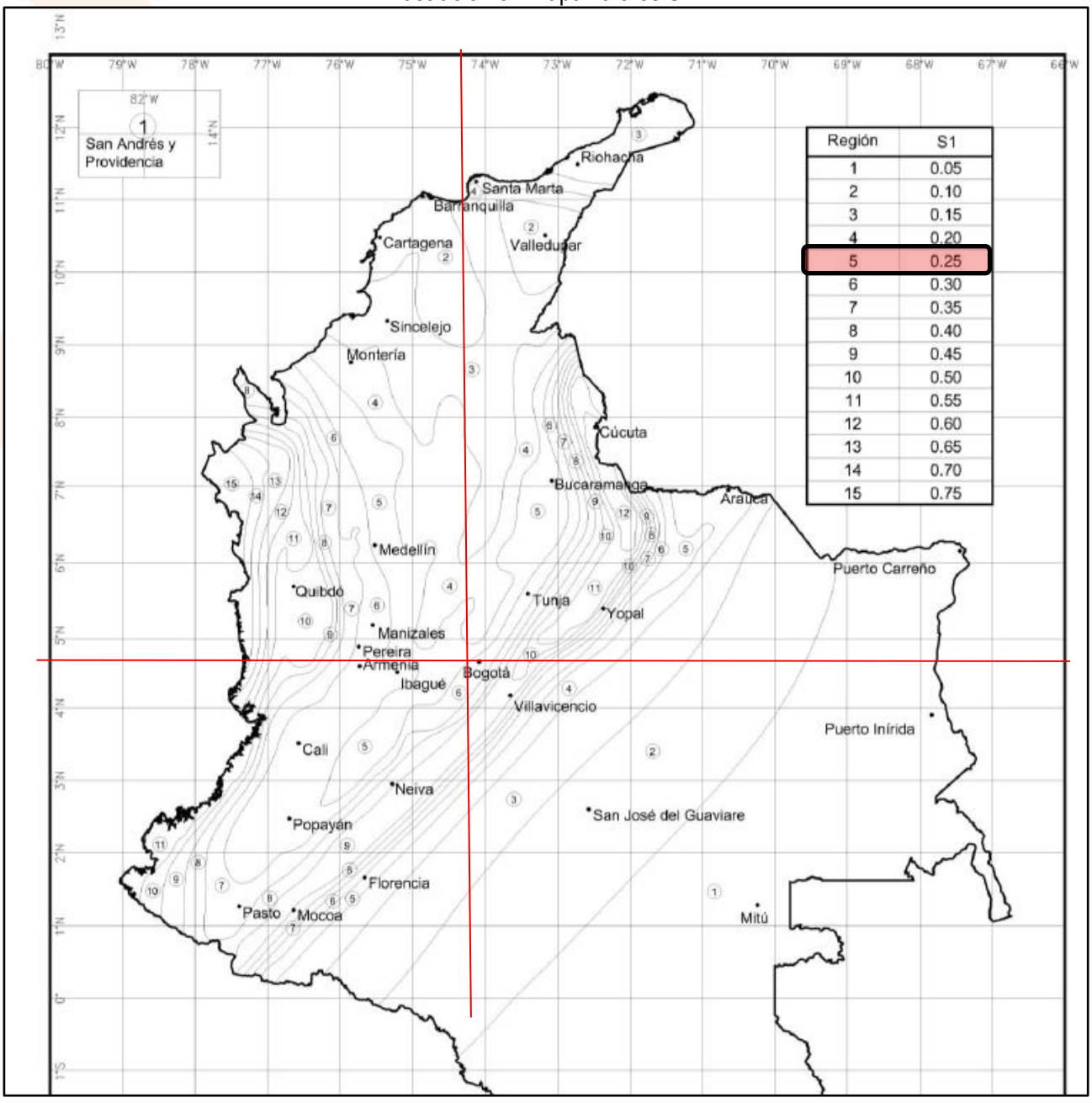
Ilustración 36 Mapa valores Ss



Región	Ss
1	0.10
2	0.20
3	0.30
4	0.40
5	0.50
6	0.60
7	0.70
8	0.80
9	0.90
10	1.00
11	1.10
12	1.20
13	1.30

Fuente: CCP-14

Ilustración 37 Mapa valores S1



Región	S1
1	0.05
2	0.10
3	0.15
4	0.20
5	0.25
6	0.30
7	0.35
8	0.40
9	0.45
10	0.50
11	0.55
12	0.60
13	0.65
14	0.70
15	0.75

Fuente: CCP-14

De acuerdo con los parámetros de amenaza sísmica definidos para el proyecto y la clasificación del suelo como Tipo D, se determinan los coeficientes de amplificación de sitio mediante la aplicación de las Tablas 3.10.3.2-2 y 3.10.3.2-3. A continuación, se detallan los valores obtenidos para los coeficientes de aceleración de periodos cortos (Ss), periodos largos (S1) y la aceleración pico efectiva (PGA).

Con base en la Tabla 3.10.3.2-2, y considerando un perfil de suelo tipo D, se obtiene el factor de sitio Fpga:

Tabla 17 factor de sitio segun Tabla 3.10.3.2-2

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos (Véase la Nota 1)				
	$PGA \leq 0.1$	$PGA = 0.2$	$PGA = 0.3$	$PGA = 0.4$	$PGA \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2

Fuente: CCP-14

Con base en la Tabla 3.10.3.2-3, y considerando un perfil de suelo tipo D , se obtiene el factor Fa:

Tabla 18 factor Fa segun Tabla 3.10.3.2-3

Tipo de Perfil	Coeficiente de aceleración espectral para período de vibración de $0.2s$ (Véase la Nota 1)				
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2

Fuente: CCP-14

CUNDINAMARCA JINT 17

Con base en la tabla correspondiente para la determinación del factor de amplificación de la aceleración pico del terreno (PGA), y considerando un perfil de suelo tipo D, se obtiene el factor de sitio correspondiente.

Tabla 19 factor Fv segun Tabla 3.10.3.2-3

Tipo de Perfil	Coeficiente de aceleración espectral para período de vibración de $1.0s$ (Véase la Nota 1)				
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 \geq 0.50$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2

Fuente: CCP-14

Tabla 20 Resumen factores obtenidos

PERFIL DE SUELO	D
Fa	1.40
PGA	0.20
Ss	0.50
S1	0.25
Fpga	1.20
Fv	1.90

Fuente: Elaboración propia.

Para condiciones pseudoestáticas de acuerdo con la CCP-14, el coeficiente de aceleración horizontal kh para análisis de estabilidad en condición seudoestática es:

$$kh = Fpga \times PGA = 1.20 \times 0.2 = 0.240$$

Por otra parte, para efectos de análisis, se emplean los siguientes valores de Factor de Seguridad contra deslizamiento:

- Condición Estática: 1.54
- Condición Bajo Sismo: 1.11

10. POTENCIAL EXPANSIVO

Teniendo en cuenta los valores de los límites líquidos, los suelos del proyecto tienen potenciales de expansión variables entre muy altos y bajos, esto según la Tabla H.9.1-1 de la NSR-10.

Tabla 9 1. Clasificación de suelos expansivos

Potencial de expansión	Expansión (%) medida en consolidómetro bajo presión vertical de 0.07 kgf/cm^2	Límite líquido LL, en (%)	Límite de contracción en (%)	Índice de plasticidad, IP, en (%)	Porcentaje de partículas menores de una micra (μ)	Expansión libre EL en (%), medida en probeta
Muy alto	> 30	> 63	< 10	> 32	> 37	> 100
Alto	20 – 30	50 – 63	6 – 12	23 – 45	18 – 37	> 100
Medio	10 –20	39 – 50	8 – 18	12 –34	12 – 27	50 100
Bajo	< 10	< 39	> 13	< 20	< 17	< 50

Fuente: NSR-10

Tabla 9 2. Determinación del potencial de suelos expansivos

Perforación		Profundidad (m)				Indices de Consistencia			NSR-10	NSR-10
No.	M #	Desde	Hasta	Media	USCS	LL %	LP %	IP %	Potencial de expansión (LL)	Potencial de expansión (IP)
FACATATIVA PUENTE S-2	M2	1.05	1.5	1.275	CL	28	17	11	BAJO	BAJO
FACATATIVA PUENTE S-2	M4	3.25	3.7	3.475	ML	24	21	3	BAJO	BAJO
FACATATIVA PUENTE S-2	M6	4.7	5.15	4.925	SC	34	22	12	BAJO	BAJO
FACATATIVA PUENTE S-2	M8	7.55	8	7.775	CL	47	22	25	MEDIO	MEDIO
FACATATIVA PUENTE S-2	M11	11	11.45	11.225	CH	106	31	75	MUY ALTO	MUY ALTO
FACATATIVA PUENTE S-2	M15	15	15.45	15.225	CH				BAJO	BAJO
FACATATIVA PUENTE S-2	M17	17.55	18	17.775	CH	112	37	75	MUY ALTO	MUY ALTO
FACATATIVA PUENTE S-2	M21	21.55	22	21.775	CH	126	41	85	MUY ALTO	MUY ALTO
FACATATIVA PUENTE S-2	M25	25.55	26	25.775	CH	131	31	100	MUY ALTO	MUY ALTO
FACATATIVA PUENTE S-2	M29	29.55	30	29.775	CH	113	32	81	MUY ALTO	MUY ALTO
FACATATIVA PUENTE S-1	M2	1.55	2	1.775	CL	36	21	15	BAJO	BAJO
FACATATIVA PUENTE S-1	M5	4.55	5	4.775	SM				BAJO	BAJO
FACATATIVA PUENTE S-1	M9	8.55	9	8.775	CH	142	36	106	MUY ALTO	MUY ALTO
FACATATIVA PUENTE S-1	M11	10.55	11	10.775	CH	169	38	131	MUY ALTO	MUY ALTO
FACATATIVA PUENTE S-1	M15	14.55	15	14.775	CH	151	34	117	MUY ALTO	MUY ALTO
FACATATIVA PUENTE S-1	M18	17.55	18	17.775	CH	119	28	91	MUY ALTO	MUY ALTO
FACATATIVA PUENTE S-1	M20	19.55	20	19.775	CH	131	34	97	MUY ALTO	MUY ALTO

Fuente: Elaboración propia

La evaluación del potencial de expansión a partir de los límites de Atterberg evidencia una clara diferenciación entre los materiales superficiales y los estratos profundos del subsuelo. En los primeros metros predominan suelos clasificados como CL, ML, SM y SC, los cuales presentan potencial de expansión bajo, indicando una susceptibilidad reducida a cambios volumétricos asociados a variaciones en el contenido de humedad.

No obstante, a partir de profundidades cercanas a los 8 m se identifican arcillas de alta plasticidad (CH) con límites líquidos superiores al 100 % e índices de plasticidad que alcanzan valores de hasta 131 %, clasificadas en su mayoría con potencial de expansión muy alto según los criterios de la NSR-10. Esta condición se presenta de manera consistente en ambos sondeos, evidenciando la presencia de un estrato arcilloso expansivo de considerable espesor y continuidad lateral en el sitio del puente.

Aunque los estratos superficiales presentan un comportamiento expansivo bajo, la presencia de depósitos profundos de arcillas altamente expansivas constituye una condición geotécnica relevante, debido a la posibilidad de generar deformaciones volumétricas, levantamientos diferenciales y pérdida de capacidad de soporte ante cambios en el régimen de humedad. Por lo tanto, el diseño de las cimentaciones deberá considerar la influencia de estos materiales, así como la implementación de medidas que minimicen las variaciones de humedad en el subsuelo y reduzcan el impacto de los fenómenos de expansión y contracción sobre la estructura.

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Desde el punto de vista geológico, el corredor vial se localiza en la Sabana de Occidente del departamento de Cundinamarca, en jurisdicción del municipio de Facatativá, en el extremo noroccidental de la Sabana de Bogotá. El trazado se desarrolla íntegramente sobre unidades cuaternarias correspondientes a la Terraza Alta (Qta) y la Llanura Aluvial (Qlla), asociadas a la cuenca del río Botello.
- En los flancos de la planicie afloran las Formaciones del Grupo Guadalupe (Labor y Tierna, Plaeners, Arenisca Dura) y la Formación Guaduas. El principal rasgo estructural en la zona es la Falla Facatativá, con rumbo NW-SE, cuya influencia se manifiesta en la dinámica geomorfológica regional.
- La geomorfología regional está dominada por unidades de origen fluvial: Terraza de acumulación (Fta) y plano o llanura de inundación (Fpi), asociadas al valle del río Botello. El relieve presenta pendientes planas a suavemente onduladas, con rangos entre 0° y 10°, lo que es coherente con la baja amenaza por procesos de remoción en masa registrada en el corredor.
- El mapa nacional de amenaza por procesos de remoción en masa del SIMMA (SGC) cataloga la amenaza en el corredor vial entre media y baja. No se registran eventos de procesos de remoción en el inventario del catálogo, coincidiendo con el relieve plano dominante.
- El área se sitúa en zona de amenaza sísmica intermedia, con valores de PGA en el rango de 100-200 cm/s², según el mapa de amenaza sísmica de Colombia (INGEOMINAS-UNC, 2010) para un período de retorno de 475 años.
- El diagnóstico preliminar evidencia que el corredor presenta un ancho promedio de calzada de 6.30 m y un ancho entre cercas de 9.50 m. En el tramo entre K0+000 y K1+950, el pavimento se encuentra en estado deficiente, con presencia de piel de cocodrilo y fisuras longitudinales y transversales. Como única obra de drenaje se identificó un box culvert de 3.50 × 3.50 m en la abscisa K2+650. No se encontraron muros de contención ni sitios críticos de inestabilidad en el tramo.
- La campaña de exploración directa del subsuelo se ejecutó mediante dos sondeos geotécnicos (S-1 y S-2) localizados en el sitio de emplazamiento del puente proyectado en la abscisa K0+280 – K0+310. Las profundidades de investigación alcanzaron 20.0 m (S-1) y 25.0 m (S-2), suficientes para caracterizar el subsuelo de fundación de la estructura. En ambos sondeos se identificó la presencia de nivel freático, localizado entre 3.00 y 4.00 m de profundidad, lo que constituye una condición hidráulica relevante para el diseño de las cimentaciones y la estabilidad de las excavaciones.
- El perfil estratigráfico del subsuelo en el sitio del puente muestra una secuencia bien definida. En los primeros metros se presentan materiales de recebo con gravas gruesas, seguidos de limos arcillosos de coloración café a negro entre 1.0 y 6.0 m. A partir de los 6.5 m y hasta profundidades superiores a los 20.0 m predominan arcillolitas y arcillas limosas de color gris claro a gris oscuro, con comportamiento mecánico similar al de un suelo cohesivo dada su avanzada meteorización.
- La clasificación SUCS de los materiales indica un marcado predominio de arcillas de alta plasticidad (CH) con un 65% del total de muestras clasificadas, seguidas de arcillas de baja a media plasticidad (CL) con un 18%, y participaciones menores de limos de baja plasticidad (ML), arenas arcillosas (SC) y arenas limosas (SM). Los ensayos de compresión inconfinada arrojaron valores de resistencia entre 38 kPa y 201 kPa, sin una tendencia clara de incremento con la profundidad, reflejando heterogeneidad en el estado de meteorización y consistencia de los materiales.
- El nivel freático fue detectado en ambas perforaciones a profundidades de 3.00 m en S-1 y 4.00 m en S-2. Esta condición deberá tenerse en cuenta en el diseño de las excavaciones para cimentación,

siendo necesario el bombeo permanente durante la construcción para mantener el fondo de excavación en condición seca.

- Con base en los ensayos SPT realizados y siguiendo los lineamientos del Código Colombiano de Puentes CCP-14, el sondeo S-1 clasifica como Suelo Tipo D. El área se encuentra en zona de amenaza sísmica intermedia, con valores de PGA = 0.20 g, Ss = 0.50 y S1 = 0.25. Los factores de amplificación de sitio obtenidos para perfil Tipo D son: Fa = 1.40, Fpga = 1.20 y Fv = 1.90
- La evaluación del potencial de expansión conforme a los criterios de la NSR-10 evidencia una clara diferenciación estratigráfica. Los materiales superficiales (CL, ML, SC, SM) presentan potencial de expansión bajo, con límites líquidos inferiores al 39% e índices de plasticidad menores de 20%. Sin embargo, a partir de profundidades cercanas a los 8.0 m, los estratos de arcillas de alta plasticidad (CH) presentan límites líquidos entre 106% y 169% e índices de plasticidad de hasta 131%, clasificados con potencial de expansión muy alto según la NSR-10. Esta condición es consistente en ambos sondeos, confirmando la existencia de un depósito arcilloso expansivo de considerable espesor y continuidad lateral en el sitio del puente.
- Durante el reconocimiento de campo no se identificaron puntos críticos asociados a procesos de inestabilidad activos que comprometieran la estabilidad de la banca o de los taludes existentes a lo largo del corredor. El análisis geotécnico se enfoca en los cortes proyectados contemplados en el diseño geométrico.
- Se identificó un corte proyectado en el tramo K0+040 – K0+140 (longitud 100 m), con una altura máxima de 3,43 m en la sección crítica K0+040, en la que afloran suelos limo-arenosos de color habano grisáceo. Como criterio general de diseño, se propone una pendiente de 0,5H:1V para los cortes proyectados a lo largo del corredor, considerada adecuada de acuerdo con las condiciones geotécnicas y geomecánicas identificadas.
- Se realizaron análisis de estabilidad bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas (sísmicas) en la sección crítica K0+040, mediante el software especializado Slide, con el método de Bishop simplificado. Los resultados obtenidos son los siguientes:

CONDICIÓN DE ANÁLISIS	FACTOR DE SEGURIDAD OBTENIDO	FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO REQUERIDO
Estática	2,096	1,54
Pseudoestática (Sísmica)	1,551	1,11

- Los factores de seguridad obtenidos tanto para la condición estática (FS = 2,096) como para la condición pseudoestática (FS = 1,551) superan los valores mínimos de aceptación establecidos por la normativa vigente para este tipo de obras. En consecuencia, se considera que el talud proyectado con pendiente 0,5H:1V es estable bajo las condiciones analizadas.
- Para los cortes proyectados a lo largo del corredor se deberá ejecutar la excavación con pendiente 0,5H:1V, conforme a los resultados del análisis de estabilidad. Se recomienda ejecutar las excavaciones en épocas de menor precipitación y proteger las superficies expuestas con vegetación o cunetas de coronación para controlar la erosión superficial.

12. LIMITACIONES

Las conclusiones y recomendaciones del presente informe están basadas en los resultados de la investigación del subsuelo y en las características de las estructuras a implantar en el proyecto; cabe anotar que los análisis serán contrastados y de ser del caso ajustados con la información que arrojen los resultados de laboratorio.

Si durante la construcción, se encuentran condiciones del subsuelo, diferentes a las consideradas en el presente estudio, o se introducen cambios al proyecto que afecten al sistema de cimentación, se deberá informar al Ingeniero de Suelos, para estudiar las modificaciones o adiciones que sean necesarias.

Es recomendable que el Ingeniero supervise las etapas de excavación y apruebe el nivel de cimentación.

13. REFERENCIAS TÉCNICAS

- INVIAS. (1996). Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de dos carriles.
- AIS. (2010). Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-10. Bogotá: AIS.
- Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2014). Código Colombiano de Puentes (CCP-14). Bogotá, Colombia.
- Servicio Geológico Colombiano. (07 de junio de 2016). Zonas de Amenaza Sísmica NSR-10. Obtenido de http://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Amenaza_Sismica/
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2015). Mapa Geológico de Colombia 2015
- González, A. (1999). Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT. Bogotá D.C: X JORNADAS GEOTECNICAS DE LA INGENIERÍA COLOMBIANA.
- ASTM International. (2021). Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens (ASTM D2938-21) (Stroud, 1974)
- Hatanaka, M., & Uchida, A. (1996). Empirical correlation between soil liquefaction and in-situ penetration resistance
- Liao, S. S. C., & Whitman, R. V. (1986). Overburden correction factors for SPT in sand. Journal of Geotechnical Engineering
- Bowles, J. E. (1988). Foundation analysis and design (4th ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- Vesic, A. S. (1961). Beams on elastic subgrade and the Winkler's hypothesis. Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering