ESTUDIO DE SUELOS

GOBERNACIÓN DE
ARAUCA

S&M SOLUCIONES PROFESIONALES S.A.S











Presentado a:
DEPARTAMENTO DE ARAUCA
SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA FISICA DEPARTAMENTAL

Presentado por:
S&M SOLUCIONES PROFESIONALES SAS

Producto
ESTUDIO DE GEOTECNIA Y SUELOS

OBJETO:	ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑOS PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LA VÍA TAME – PUERTO RONDÓN, DEPARTAMENTO DE ARAUCA
CONTIENE:	**PRODUCTO** ESTUDIO DE GEOTECNIA Y SUELOS
FECHA:	MARZO DE 2026

VERSIÓN	FECHA DOCUMENTO	DESCRIPCIÓN
V1	MARZO DE 2026	ESTUDIO DE GEOTECNIA Y SUELOS

ELABORÓ:

NOMBRE: SERGIO ANDRES CLARO LOPEZ
ESPECIALIDAD: ING. CIVIL MAGISTER INGENIERIA VIAL
R/L. S&M SOLUCIONES PROFESIONALES SAS
M.P. No.: 54202-106833 NTS

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 10
1. ANTECEDENTES GENERALES 11
1.1 Contexto del proyecto 11
1.2 Antecedentes de estudios técnicos 11
1.3 Antecedentes de intervención del corredor 11
1.4 Justificación de la actualización de estudios y diseños 12
1.5 Importancia estratégica del corredor 12
2. GENERALIDADES 12
2.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO 12
3. ALCANCE 13
3.1 Alcance de la consultoría 13
3.2 Componentes técnicos 13
3.3 Actividades principales 14
3.4 Alcance específico en el sector Caño El Plato 14
3.5 Productos de la consultoría 15
3.6 Alcance del proyecto 15
4. DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE ESTUDIOS. 15
4.1 OBJETIVOS 15
4.1.1 Objetivo general 15
4.1.2 Objetivos específicos 16
5. GEOLOGÍA DE LA ZONA. 16
5.1 GENERALIDADES 16
5.2 Estratigrafía 17
5.3 Geomorfología 18
5.4 Amenazas por sismicidad 19
5.5 Amenazas por inundaciones 20
5.6 Reconocimiento de Campo 21
5.7 Características Ambientales 22
5.8 Clima 23
5.9 Hidrografía 24
6. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO 24
6.1 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO 24
6.1.1 Exploración del Subsuelo 24
6.1.2 Metodología 25
6.1.3 Apiques 26
6.1.4 Localización de apiques o sondeos. 27
6.1.5 Ensayos De Laboratorio 29

7. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES 30
7.1 PROPIEDADES FÍSICAS 31
7.2 ANÁLISIS DE VARIABILIDAD DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS 37
7.3 ESTRATIGRAFÍA 40
7.4 POTENCIAL DE EXPANSIÓN 41
7.5 ACTIVIDAD DE LAS ARCILLAS 42
7.6 LICUACIÓN 44
7.7 NIVEL FREÁTICO 45
8. PARÁMETROS DE RESISTENCIA MEDIDOS EN CAMPO 45
8.1 SELECCIÓN DEL CBR DE DISEÑO 46
8.2 Ajuste del CBR de diseño mediante el método de Ivanov 48
8.2.1 Fundamento del método 49
8.2.2 Aplicación al proyecto 49
9. CONCLUSIONES 50
10. RECOMENDACIONES GENERALES 51
11. BIBLIOGRAFÍA 52
12. ANEXOS 52

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen No. 1– Localización del proyecto vial Tame – Puerto Rondón, sector Caño El Plato, Departamento de Arauca. 13
Imagen No. 2– Geología General del Departamento de Arauca. 17
Imagen No. 3 Mapa geológico del Departamento de Arauca (2023). 18
Imagen No. 4 Polígonos morfológicos del Departamento de Arauca. 19
Imagen No. 5 Mapa de sismos que ocurridos en el Departamento de Arauca. 20
Imagen No. 6 Mapa de amenazas por inundación del Departamento de Arauca. 21
Imagen No. 7 Sondeos de Reconocimiento de Campo. 22
Imagen No. 8 Caracterización del territorio del Departamento de Arauca. 23
Imagen No. 9 Localización de Apiques. 29
Imagen No. 10 Estados de un suelo de acuerdo a la cantidad de agua presente 31
Imagen No. 11 Rangos del índice de liquidez. 32
Imagen No. 12 Curvas de humedad natural para cada uno de los Apiques realizados. 34
Imagen No. 13 Curvas de Índice de Plasticidad para cada uno de los Apiques realizados. 35
Imagen No. 14 Índice de liquidez para cada uno de los Apiques realizados. 36
Imagen No. 15 Valores de humedad, LI, Lp 37
Imagen No. 16 Granulometría de suelos susceptibles al agrietamiento. 44
Imagen No. 17 Valores de CBR. 46
Imagen No. 18 CBR representativo de la subrasante 48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – Estaciones activas IDEAM cerca de la zona de estudio. 23
Tabla 2 – Localización y profundidad de los Apiques. 28
Tabla 3 – Cantidad total de ensayos ejecutados en campo y laboratorio. 30
Tabla 4 porcentaje USCS en el proyecto. 33
Tabla 5 Comportamiento del Suelo. 36
Tabla 6 Características físicas del estudio geotécnico. 38
Tabla 7 – Clasificación de suelo expansivos según NSR-10. 41
Tabla 8 – Numero de actividad de la Arcilla. 42
Tabla 9 – Clasificación potencial de la actividad de las Arcillas para los valores máximos encontrados en todos los apiques ejecutados. 42
Tabla 10 – Clasificación potencial de contracción para los valores más críticos encontrados en todos los apiques analizados. 43
Tabla 11 Capacidad de Soporte del Suelo (CBR). 45
Tabla 12 – Límites para selección de resistencia 47
Tabla 13 – Valores de CBR ordenados 47
Tabla 14 – Determinación del CBR equivalente de la subrasante mediante el método de Ivanov considerando el mejoramiento existente 50

ÍNDICE DE ANEXOS

LISTA DE SIGLAS

ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
CBR: Californian Bearing Ratio (Razón de Soporte de California)
DNP: Departamento Nacional de Planeación
EOT: Esquema de Ordenamiento Territorial
IL: Índice de liquidez
IP: Índice de Plasticidad.
LC: Limite de contracción
LL: Limite liquido
LP: Limite plástico
Mr: Módulo resiliente
NSR-10: Norma Sismo Resistente
SGC: Servicio Geológico Colombiano
SN: Suelo natural o subrasante
USCS: Unified Soil Classification System (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)
W: Humedad natural

LISTA DE ACRÓNIMOS

AASTHO: American Association of State Highway Officials (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes)
IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi
INGEOMINAS: Instituto Colombiano de Geología y Minería
INVIAS: Instituto Nacional de Vías.

GLOSARIO

AEROFOTOGRAFÍA: Fotografía de una parte de la Tierra tomada desde un avión u otro vehículo aéreo.
ARCILLA: Es una roca sedimentaria descompuesta constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura.
CENOZOICO: La Era Cenozoica o Cenozoico (antiguamente también Era Terciaria), una división de la escala temporal geológica, es la era geológica que se inició hace unos 65,5 ±0,3 millones de años y que se extiende hasta la actualidad. Es la tercera y última era del Eón Fanerozoico y sigue a la Era Mesozoica.
DIQUE: Es una estructura (de hormigón, piedra, tierra y otro material) que se construye con el objetivo de contener el agua, impidiendo su paso. Pueden construirse de manera perpendicular o paralela al curso de agua que se pretende contener.

ESTEROS: Zona geográfica plana, que a causa de la incapacidad del terreno de drenar el agua por completo, queda en parte empantanada. Sin embargo, también se le llama estero a las zonas pantanosas que se anegan a causa de lluvias o crecidas fluviales.

GEOLOGÍA: Ciencia de la tierra y tiene por objeto entender la evolución del planeta y sus habitantes, desde los tiempos más antiguos hasta la actualidad mediante el análisis de las rocas.

GEOMORFOLOGÍA: Estudio de las formas del relieve terrestre; estudio de las formas de la superficie de la tierra y su desarrollo geomorfológico. La meteorización, erosión y el transporte forman la superficie terrestre como nosotros conocemos. Por las fuerzas de agua viento y hielo se forman cerros, valles o llanuras.

GEOTECNIA: Aplicación de los principios geológicos en la investigación de los materiales naturales - como las rocas- que constituyen la corteza terrestre implicados en el diseño, la construcción y la explotación de proyectos de ingeniería civil.

HIDROGRAFÍA: Estudio de todas las masas de agua de la tierra y en un sentido más estricto a la medida, recopilación y representación de los datos relativos al fondo del océano, las costas, las mareas, las corrientes de agua, cuerpos de agua continentales, etc., de forma que puedan ser plasmados sobre un mapa, carta hidrográfica.

HOMOGENEIDAD: Característica de uniformidad de un material. Si las irregularidades se distribuyen en forma uniforme en una mezcla de material, el material es homogéneo.

LIMO: Es un sedimento clástico incoherente transportado en suspensión por los ríos y por el viento, que se deposita en el lecho de los cursos de agua o sobre los terrenos que han sido inundados. Para que se clasifique como tal, el diámetro de las partículas de limo debe encontrarse entre 0,0039 mm y 0,0625 mm.

MESOZOICO: Era Mesozoica se conoce como "la edad de los reptiles" por ser el grupo de vertebrados dominante en la tierra y los mares. El Mesozoico se extendió entre los 250 y los 66 millones de años.

PLASTICIDAD: Es un comportamiento mecánico característico de ciertos materiales anelásticos consistente en la capacidad de deformarse permanente e irreversiblemente cuando se encuentra sometido a tensiones por encima de su rango elástico, es decir, por encima de su límite elástico.

PLEISTOCENO: Es el período en la historia de la Tierra al que comúnmente nos referimos como la Era de Hielo. Durante gran parte de este período, las regiones que estaban ubicadas al norte y sur de la Tierra se encontraban totalmente cubiertas por glaciares de aproximadamente un kilómetro de espesor.

SISMO: Movimiento o vibración del suelo, generalmente producido por la liberación súbita de energía a causa del desplazamiento de masas rocosas en una falla tectónica.

SONDEO: Es una perforación, normalmente de pequeño diámetro, que se realiza en el terreno con objeto de identificar las distintas capas de terreno que podemos encontrarnos, que es lo que se conoce como columna litológica.

VÍA: Espacio donde se desarrolla el tránsito. Se denomina vía a toda calle, carretera o camino abierto al uso público

INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde a la actualización de los estudios geotécnicos para el proyecto "Actualización de los estudios técnicos y diseños para el mejoramiento de la infraestructura vial en la vía Tame – Puerto Rondón, departamento de Arauca", específicamente en un tramo pendiente de intervención con una longitud aproximada de 1.746,60m, dentro de este tramo se encuentra el puente sobre el Caño El Plato, de aproximadamente 20 m, por lo que la longitud efectiva de pavimento es de 1.726,60 m

Este estudio se desarrolla tomando como base la información geotécnica obtenida en el año 2013, mediante el contrato de consultoría No 121 de 2013 la cual fue analizada y contrastada mediante la ejecución de apiques y sondeos de verificación en campo, con el fin de evaluar las condiciones actuales del subsuelo y validar la aplicabilidad de los parámetros previamente establecidos.

Durante la campaña de exploración reciente, se identificó la presencia de una estructura de terraplén existente, con alturas variables entre 0,60 m y 2,00 m, asociada a intervenciones realizadas en el marco del Contrato No. 144 de 2018, cuyo objeto fue el mejoramiento y pavimentación de la vía Tame – Puerto Rondón. Dicho terraplén presenta capas de mejoramiento conformadas por materiales tipo pedraplén y material granular (tipo crudo), con tamaños máximos de partícula del orden de 4 pulgadas, y espesores que varían entre 0,50 m y 1,80 m.

Los apiques ejecutados permitieron observar la estratigrafía del sistema suelo–terraplén, así como verificar las condiciones de compactación, tipo de material y estado general de la estructura existente, información fundamental para la definición de criterios de diseño y rehabilitación de la vía.

Adicionalmente, se tomaron muestras representativas de los diferentes estratos identificados, las cuales fueron sometidas a ensayos de laboratorio con el propósito de determinar sus propiedades físicas y mecánicas, permitiendo así la estimación de parámetros geotécnicos requeridos para el análisis de capacidad portante, comportamiento de la subrasante y diseño de la estructura de pavimento.

El conocimiento actualizado de las condiciones del suelo resulta esencial para garantizar la estabilidad y funcionalidad de la infraestructura proyectada, así como para definir adecuadamente las intervenciones requeridas sobre el terraplén existente y los sistemas de drenaje asociados, minimizando riesgos durante la etapa constructiva y asegurando el desempeño a largo plazo de la vía.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 CONTEXTO DEL PROYECTO

La presente consultoría se enmarca en la actualización de los estudios técnicos y diseños para el mejoramiento de la infraestructura vial en la vía Tame -- Puerto Rondón, en el departamento de Arauca, corredor de carácter estratégico para la conectividad subregional del piedemonte y la sabana araucana.

Esta vía cumple una función esencial de articulación entre el municipio de Tame y el municipio de Puerto Rondón, facilitando la movilidad de población rural y urbana, el transporte de bienes y servicios, y el acceso a actividades productivas, institucionales y sociales en la región. Así mismo, el corredor permite la conexión con otros ejes viales de mayor jerarquía, consolidándose como parte fundamental de la red vial departamental.

Desde el punto de vista territorial, el corredor ha sido reconocido por la institucionalidad departamental y nacional como una vía de alto impacto para la integración regional, debido a su papel en la conectividad entre centros poblados, zonas productivas y áreas de desarrollo económico.

1.2 ANTECEDENTES DE ESTUDIOS TÉCNICOS

El corredor vial ha sido objeto de estudios técnicos previos que han permitido caracterizar sus condiciones de operación, demanda de tránsito, capacidad y nivel de servicio, constituyendo una base de referencia para las intervenciones adelantadas en el mismo.

Estos estudios identificaron el corredor como parte de la red vial departamental y definieron criterios técnicos para su mejoramiento, incluyendo análisis de tránsito, proyección de demanda y evaluación de la infraestructura existente. En particular, se estableció como tramo de estudio el sector comprendido entre el municipio de Tame y el municipio de Puerto Rondón, dentro del cual se incluyen zonas críticas que condicionan el comportamiento funcional de la vía.

1.3 ANTECEDENTES DE INTERVENCIÓN DEL CORREDOR

Como resultado de los estudios previos y de la priorización del corredor, se han adelantado intervenciones orientadas al mejoramiento y pavimentación de la vía, mediante contratos de obra que incluyeron actividades de adecuación de la subrasante, construcción de estructuras de soporte, capas granulares y pavimentación en distintos sectores.

La ejecución de dichas intervenciones presentó avances importantes, pero también evidenció la existencia de sectores con condiciones particulares que requieren tratamientos específicos, especialmente en zonas donde las características geotécnicas, hidráulicas y geomorfológicas generan afectaciones recurrentes en la estabilidad y funcionalidad de la vía.

En este contexto, el sector de Caño El Plato se identifica como un tramo crítico dentro del corredor, en el cual se presentan condiciones especiales que demandan un análisis detallado y soluciones técnicas específicas para garantizar la estabilidad de la infraestructura vial y su adecuada operación a largo plazo.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA ACTUALIZACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS

La existencia de estudios previos y de intervenciones parciales en el corredor hace necesaria una actualización integral de los estudios y diseños, con el fin de armonizar la información disponible y ajustarla a las condiciones actuales de la vía.

Esta actualización permitirá verificar el estado real de la infraestructura, identificar cambios en las condiciones de tránsito, drenaje, suelos, geometría y estructura del pavimento, y definir soluciones técnicas acordes con las necesidades actuales y futuras del corredor.

Particularmente, la consultoría se orienta a profundizar el análisis en sectores críticos, destacándose el tramo correspondiente a Caño El Plato, donde se requiere evaluar de manera integral las condiciones de estabilidad, drenaje y comportamiento estructural de la vía, con el propósito de plantear alternativas de intervención técnicamente viables y sostenibles.

1.5 IMPORTANCIA ESTRATÉGICA DEL CORREDOR

La vía Tame – Puerto Rondón tiene una alta importancia estratégica para el departamento de Arauca, al contribuir a la integración territorial, la reducción de tiempos de viaje y costos de transporte, y el fortalecimiento de las dinámicas económicas y sociales de la región.

El mejoramiento de este corredor favorece la conectividad entre áreas rurales y centros urbanos, facilita el acceso a servicios básicos y promueve el desarrollo de sectores productivos como la ganadería, la agricultura y el comercio, consolidándose como un eje fundamental para el desarrollo regional.

2. GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se localiza en el departamento de Arauca, en el oriente de Colombia, y corresponde al corredor vial que comunica el municipio de Tame con el municipio de Puerto Rondón. Este tramo hace parte de la red vial departamental y se desarrolla en la región de la Orinoquía, caracterizada por zonas de sabana con predominio de actividades agropecuarias.

El corredor se extiende entre las abscisas K27+240 y K41+640; sin embargo, la pavimentación se realizará entre K27+620 y K29+366,60, para una longitud de 1.746,60 m. Dentro de este tramo se encuentra el puente sobre el Caño El Plato, de aproximadamente 20 m, por lo que la longitud efectiva de pavimento es de 1.726,60 m, aunque para el diseño geométrico se considera la totalidad del tramo.

En el resto del corredor, que ya se encuentra pavimentado, se ejecutarán actividades de señalización vial y rocería lateral, con el fin de mejorar la seguridad y visibilidad de la vía.

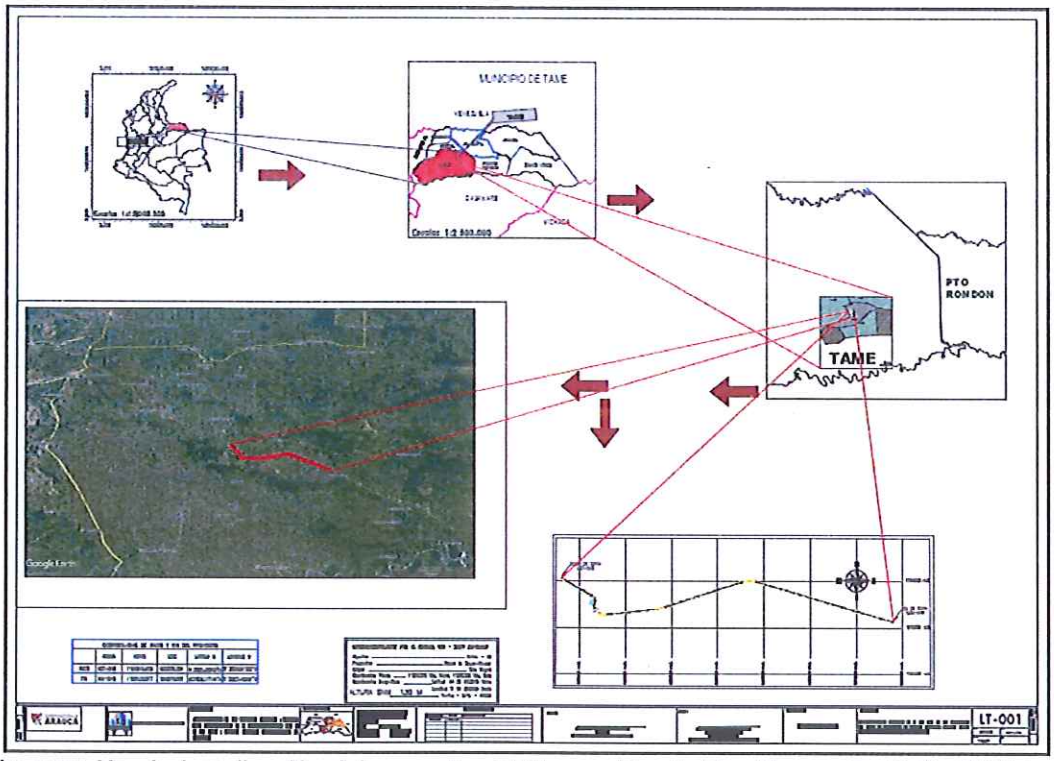


Imagen No. 1– Localización del proyecto vial Tame – Puerto Rondón, sector Caño El Plato, Departamento de Arauca.
Fuente: Equipo consultor.

3. ALCANCE

3.1 ALCANCE DE LA CONSULTORÍA

La presente consultoría tiene como objeto la actualización de los estudios técnicos y diseños para el mejoramiento de la infraestructura vial en la vía Tame – Puerto Rondón, departamento de Arauca, con énfasis en el sector correspondiente a Caño El Plato.

El alcance comprende la revisión, validación y actualización de la información técnica existente, así como la generación de nuevos estudios y diseños necesarios para definir soluciones integrales que permitan garantizar condiciones adecuadas de funcionalidad, estabilidad, seguridad y servicio del corredor vial.

3.2 COMPONENTES TÉCNICOS

La consultoría incluye el desarrollo y/o actualización de los siguientes componentes técnicos:

- **Topografía:** levantamiento y/o validación de información planimétrica y altimétrica del corredor vial.
- **Geotecnia:** caracterización de suelos, análisis de estabilidad y definición de parámetros para diseño.
- **Hidrología e hidráulica:** evaluación de escorrentías, drenaje superficial y estructuras hidráulicas.
- **Tránsito:** actualización de volúmenes de tránsito, composición vehicular y proyecciones.
- **Diseño geométrico:** revisión y ajuste del trazado en planta, perfil y sección transversal.
- **Diseño de pavimentos:** definición de la estructura de pavimento acorde con las condiciones de tránsito y subrasante.
- **Señalización y seguridad vial:** diseño de señalización horizontal, vertical y elementos de seguridad.
- **PMT (Plan de Manejo de Tránsito):** formulación de estrategias para la regulación del tránsito durante la ejecución de las obras.
- **Presupuesto y programación:** cuantificación de cantidades de obra, costos y programación de ejecución.
- **Gestión ambiental:** identificación de condicionantes y requerimientos asociados al proyecto.

3.3 ACTIVIDADES PRINCIPALES

Para el cumplimiento del objeto, se desarrollarán, entre otras, las siguientes actividades:

- Revisión y análisis de información secundaria disponible.
- Reconocimiento de campo y diagnóstico del estado actual del corredor.
- Levantamiento de información primaria en las diferentes disciplinas.
- Evaluación de condiciones existentes de la infraestructura vial.
- Identificación de sectores críticos y necesidades de intervención.
- Formulación y evaluación de alternativas de solución.
- Desarrollo de diseños a nivel de detalle requerido.
- Elaboración de memorias de cálculo, planos, especificaciones y documentos técnicos.
- Integración de los diferentes componentes en una solución coherente y ejecutable.

3.4 ALCANCE ESPECÍFICO EN EL SECTOR CAÑO EL PLATO

Dentro del corredor objeto de estudio, la consultoría se enfoca de manera particular en el sector de Caño El Plato, en el cual se desarrollará un análisis detallado de las condiciones existentes y se formularán soluciones técnicas orientadas al mejoramiento de la infraestructura vial en dicho tramo.

Este análisis incluirá la evaluación integral de las condiciones geométricas, geotécnicas, hidráulicas y estructurales, con el fin de garantizar la viabilidad técnica de las intervenciones propuestas.

3.5 PRODUCTOS DE LA CONSULTORÍA

Como resultado del desarrollo de la consultoría, se entregarán los siguientes productos:

- Informes técnicos por cada componente del proyecto.
- Planos de diseño en planta, perfil y secciones transversales.
- Memorias de cálculo y soporte técnico de los diseños.
- Especificaciones técnicas de construcción.
- Presupuesto detallado y análisis de precios unitarios.
- Cronograma de ejecución del proyecto.

3.6 ALCANCE DEL PROYECTO

El alcance del proyecto se orienta a contar con estudios y diseños actualizados que permitan adelantar las obras de mejoramiento del corredor vial, garantizando su funcionalidad, durabilidad y seguridad, así como la adecuada articulación con la red vial existente.

4. DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE ESTUDIOS.

El presente informe se realiza con el fin de dar a conocer las características físicas y mecánicas del suelo de fundación para el proyecto ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑOS PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LA VÍA TAME – PUERTO RONDÓN, DEPARTAMENTO DE ARAUCA, dentro de la localización y alcance señalados en los capítulos anteriores.

En el siguiente documento se observan las investigaciones geotécnicas, análisis de capacidad portante y recomendaciones de los suelos para la posterior construcción.

Se describe la caracterización de materiales en lo referente a las propiedades físicas y mecánicas de los suelos existentes y se evalúan algunos fenómenos asociados con los parámetros sísmicos locales.

Adicionalmente antes de realizar la investigación, se recopilaron y evaluaron todos los datos disponibles sobre las condiciones del sitio y las características del proyecto. Para tal efecto se realizó una inspección de campo, se estudiaron las características del proyecto en documentos tales como Estudios Previos, Especificaciones técnicas, Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT), etc., para así poder evaluar todos parámetros concernientes y posibles variables que intervienen en la consecución del proyecto mencionado.

4.1 OBJETIVOS

4.1.1 Objetivo general

Determinar con la información recopilada en campo y analizada en el laboratorio, el tipo de suelo y sus características geomecánicas evaluando el comportamiento del mismo y su capacidad de soporte

frente a una carga de diseño, para las respectivas estructuras analizadas en la presente consultoría (infraestructura vial, drenaje y urbanismo), estableciendo en cada caso la clase de cimentación más adecuada para una posterior construcción.

4.1.2 Objetivos específicos

- Describir las características principales del área de estudio.
- Realizar la identificación del suelo, tomando muestras e información necesaria para la realización de ensayos de laboratorio.
- Caracterizar el estado actual en campo de los suelos, evaluando puntos como expansividad y contracción.
- Determinar los parámetros de diseño que gobiernan la capacidad de carga de los suelos.
- Reconocer los aspectos y parámetros sísmicos del área de estudio y la clasificación del tipo de suelo según las normativas vigentes.
- Evaluar las condiciones de terreno y definir la capacidad de soporte del mismo.
- Generar recomendaciones de diseño y construcción.

5. GEOLOGÍA DE LA ZONA.

5.1 GENERALIDADES

El área objeto del presente estudio se localiza en jurisdicción del municipio de Tame, departamento de Arauca, en la región de la Orinoquía colombiana, específicamente en la zona de transición entre el piedemonte de la Cordillera Oriental y la llanura aluvial de los Llanos Orientales.

Desde el punto de vista geológico regional, el área se encuentra en el ámbito de la Plancha 138 – Tame del Servicio Geológico Colombiano (SGC), la cual comprende unidades geológicas que abarcan desde el Cretácico inferior hasta depósitos cuaternarios recientes, evidenciando una evolución geológica asociada a procesos de sedimentación marina, continental y fluvial.

El relieve del área es predominantemente plano a suavemente ondulado, con influencia directa de procesos fluviales activos, lo cual condiciona la distribución de los materiales superficiales y el comportamiento geotécnico del terreno.

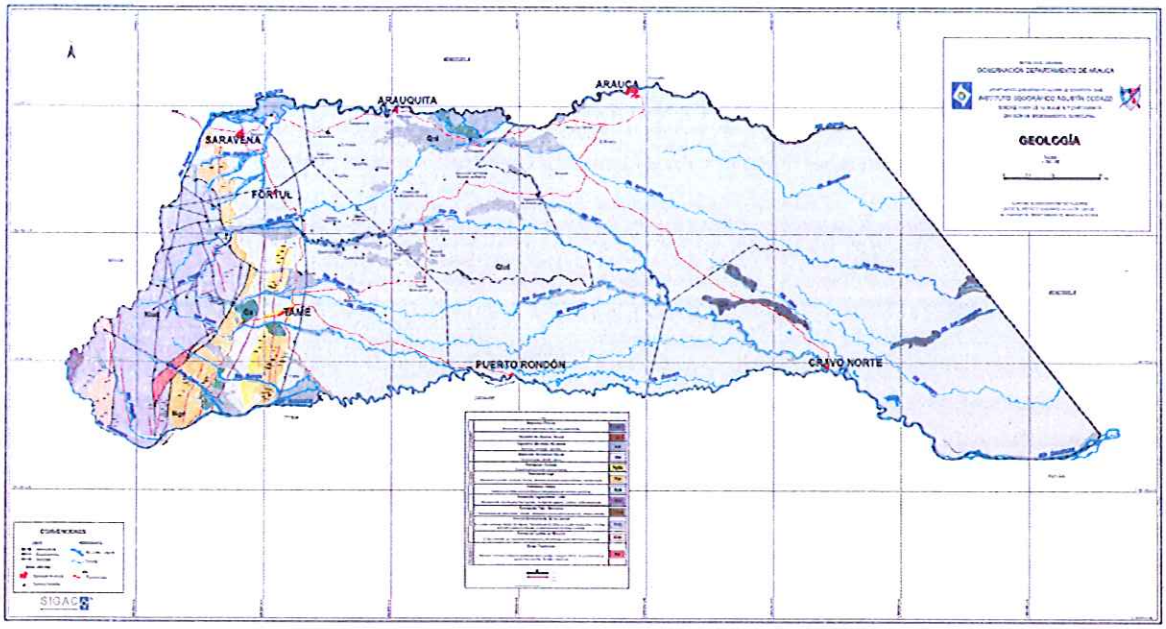


Imagen No. 2– Geología General del Departamento de Arauca.
Fuente: SIGAC.

5.2 ESTRATIGRAFÍA

En el área de estudio predominan los depósitos cuaternarios no consolidados, asociados principalmente a ambientes continentales recientes.

Se identifican las siguientes clases de depósitos:

Depósitos aluviales (Qal):

Asociados a cauces activos y zonas de inundación. Están constituidos por mezclas de arenas, limos y arcillas, con presencia variable de gravas y cantos rodados. Presentan alta heterogeneidad lateral y variabilidad en su grado de compactación.

Depósitos de llanura de inundación (Qf):

Conformados principalmente por limos y arcillas de baja permeabilidad, producto de sedimentación en ambientes de baja energía. Son suelos generalmente blandos, con alta susceptibilidad a saturación.

Depósitos coluvio–aluviales (Qca):

Ubicados en zonas de transición hacia el piedemonte. Corresponden a materiales heterogéneos compuestos por fragmentos gruesos (gravas y bloques) inmersos en una matriz fina (limosa o arcillosa), producto de transporte gravitacional y fluvial.

Depósitos de terraza aluvial (Qt):

Materiales relativamente más consolidados que los depósitos recientes, ubicados en niveles ligeramente elevados respecto a los cauces actuales. Están constituidos por arenas, limos y gravas, con mejores condiciones de drenaje.

Depósitos antrópicos (Qa):

Asociados a intervenciones humanas, principalmente terraplenes y mejoramientos viales. En el área de estudio corresponden a materiales tipo pedraplén y material granular (crudo), con tamaños máximos del orden de 4", utilizados en la conformación de la estructura vial existente.

Con base en los apiques ejecutados, se identificó una secuencia típica compuesta por:

- Capa vegetal superficial.
- Horizontes de suelos finos (limos y arcillas).
- Capas de mejoramiento granular (rellenos antrópicos).

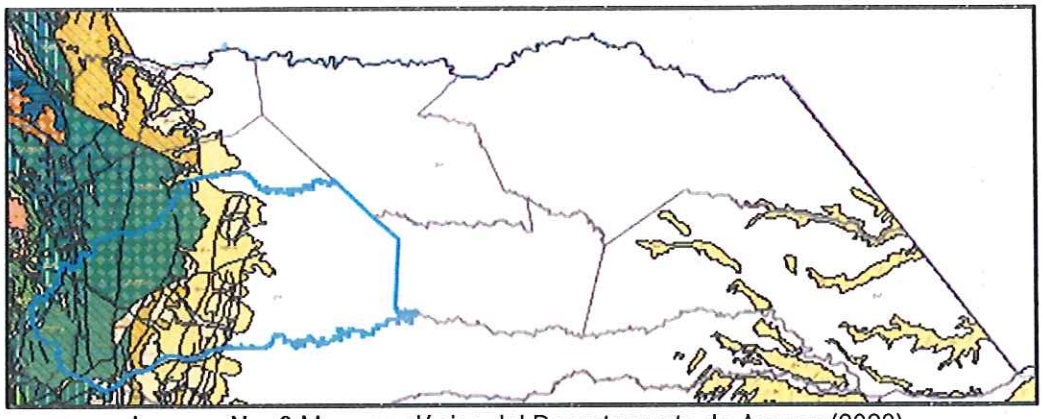


Imagen No. 3 Mapa geológico del Departamento de Arauca (2023).
Fuente: IGAC

5.3 GEOMORFOLOGÍA

Geomorfológicamente, el área corresponde a una llanura aluvial activa, modelada por la dinámica de sistemas fluviales de baja pendiente.

Se identifican las siguientes unidades geomorfológicas:

Llanuras de inundación:

Asociadas a depósitos finos recientes (Qf), con alta susceptibilidad a encharcamiento y saturación.

Terrazas aluviales:

Correspondientes a antiguos niveles de sedimentación fluvial (Qt), con mejores condiciones de estabilidad relativa.

Zonas de depósitos aluviales activos:

Relacionadas con cauces actuales (Qal), donde predominan materiales granulares y heterogéneos.

Zonas de transición coluvial:

Asociadas al piedemonte, donde se presentan depósitos coluvio–aluviales (Qca).

La baja pendiente del terreno favorece procesos de acumulación de sedimentos finos y limita el drenaje natural, lo cual incide en el comportamiento geotécnico del suelo.

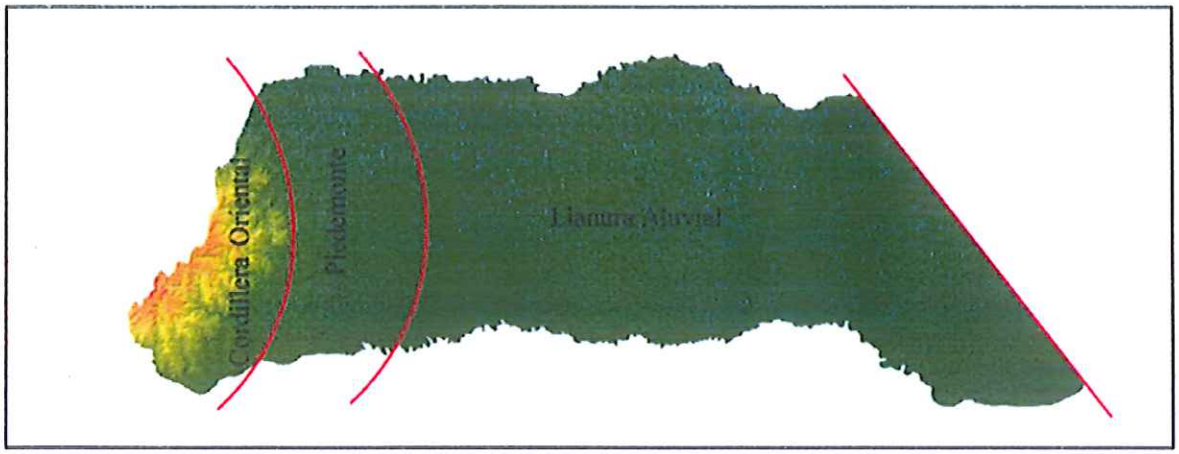


Imagen No. 4 Polígonos morfológicos del Departamento de Arauca.
Fuente: Ingeominas. Mapa geológico generalizado del Departamento de Arauca.

5.4 AMENAZAS POR SISMICIDAD

De acuerdo con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), el municipio de Tame se clasifica en zona de amenaza sísmica alta, con valores de:

- Aa = 0.25
- Av = 0.20

Esta condición implica la consideración de efectos sísmicos significativos en el diseño, especialmente en suelos no consolidados.

Desde el punto de vista geotécnico, pueden presentarse:

- Amplificación de ondas sísmicas en suelos blandos.
- Reducción de resistencia en suelos saturados.
- Posible susceptibilidad a licuación en materiales granulares sueltos.

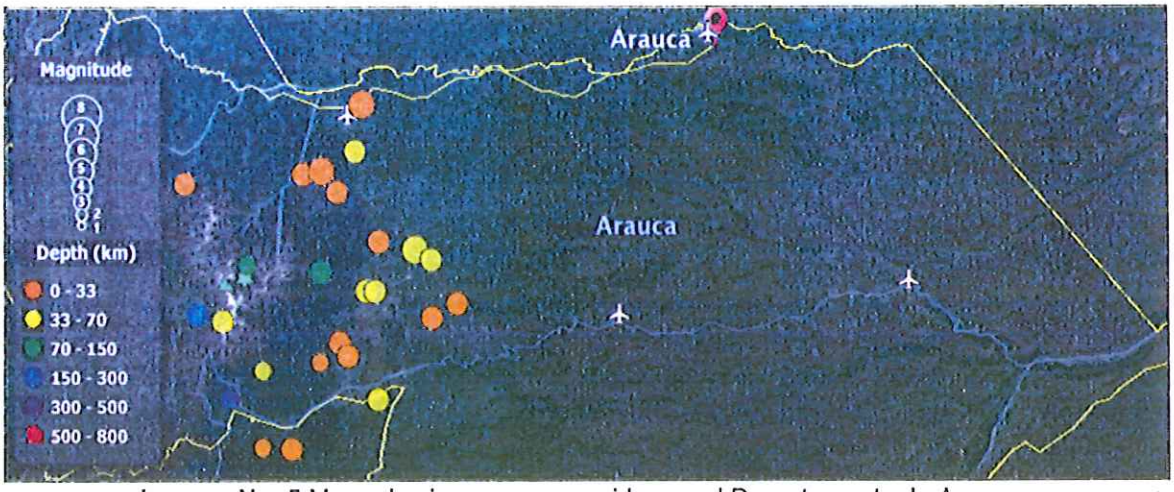


Imagen No. 5 Mapa de sismos que ocurridos en el Departamento de Arauca.
Fuente: http://earthquake.usgs.gov

5.5 AMENAZAS POR INUNDACIONES

La zona presenta alta susceptibilidad a inundaciones, debido a:

- La topografía plana.
- La cercanía a drenajes naturales y caños.
- La presencia de suelos de baja permeabilidad.
- Regímenes de precipitación estacional intensos.

Durante temporadas de lluvia, es común la saturación del suelo y la elevación del nivel freático, lo cual puede afectar:

- La estabilidad de terraplenes.
- La capacidad portante de la subrasante.
- El desempeño de las estructuras de drenaje.

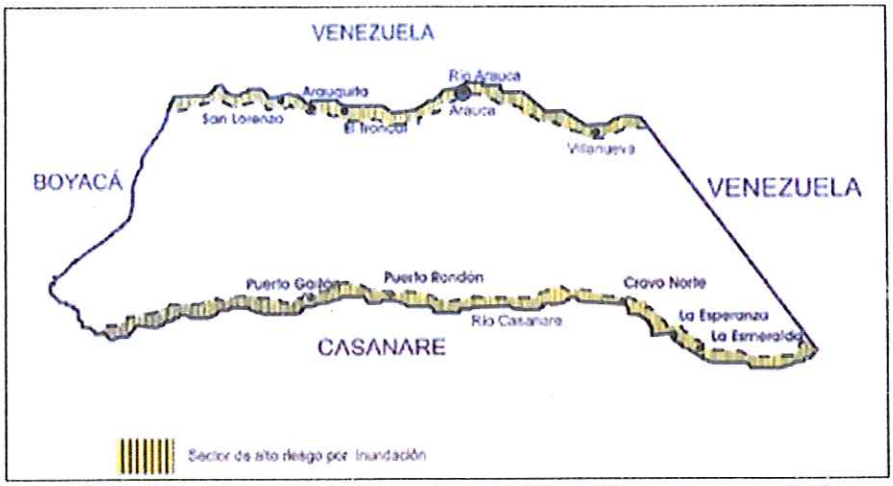


Imagen No. 6 Mapa de amenazas por inundación del Departamento de Arauca.
Fuente: Ingeominas. Mapa geológico generalizado del Departamento de Arauca.

5.6 RECONOCIMIENTO DE CAMPO

El reconocimiento de campo realizado mediante apiques permitió identificar:

- La existencia de un terraplén previamente construido, con alturas entre 0,60 m y 2,00 m.
- Capas de mejoramiento conformadas por:
- Pedraplén (material grueso con cantos y gravas).
- Material tipo crudo granular, con tamaño máximo aproximado de 4".
- Espesores de mejoramiento entre 0,50 m y 1,80 m.

Se observó que estos materiales presentan una estructura relativamente densa, aunque con heterogeneidad en su compactación, lo cual es típico de rellenos ejecutados en proyectos viales en zonas rurales.

Asimismo, se identificaron suelos naturales subyacentes de tipo:

- Limos arcillosos.
- Arenas finas con contenido de finos.

Subyacente a estos materiales se encuentran suelos naturales finos, con contenidos de humedad variables.

Los apiques de verificación permitieron identificar la presencia de una estructura de terraplén existente, asociada al Contrato No. 144 de 2018.



Imagen No. 7 Sondeos de Reconocimiento de Campo.
Fuente: Equipo Consultor.

5.7 CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES

La zona presenta condiciones ambientales propias del ecosistema de sabana tropical de la Orinoquía, con vegetación de tipo:

- Pastizales naturales.
- Arbustos dispersos.
- Bosques de galería asociados a cuerpos de agua.

Estas condiciones influyen directamente en:

- La cobertura superficial del suelo.
- Los procesos de erosión.
- La infiltración y escorrentía.

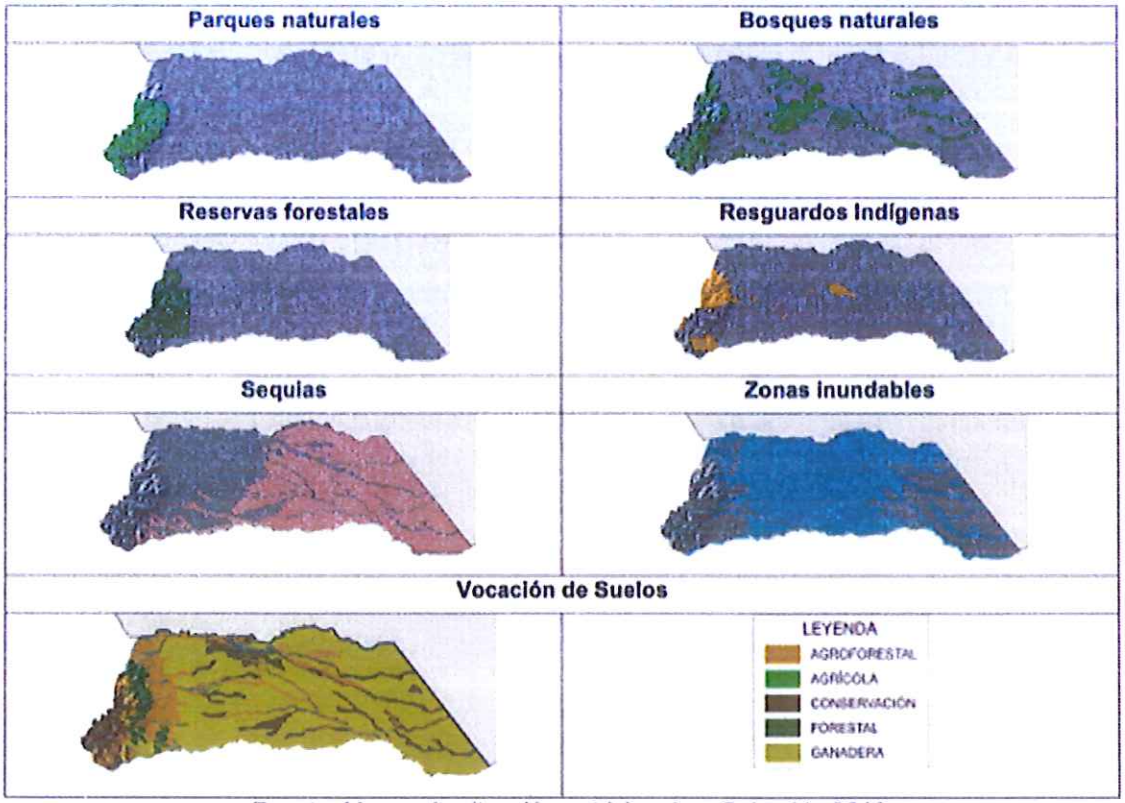


Imagen No. 8 Caracterización del territorio del Departamento de Arauca.
Fuente: Mapas de situación nutricional en Colombia 2010.

5.8 CLIMA

El clima en el municipio de Tame es de tipo tropical húmedo, con las siguientes características:

- Temperatura media anual: entre 26°C y 28°C.
- Precipitación anual: entre 2.000 y 3.000 mm.
- Régimen bimodal o monomodal con:
- Temporada lluviosa marcada (aprox. abril a noviembre).
- Temporada seca (diciembre a marzo).

Tabla 1 – Estaciones activas IDEAM cerca de la zona de estudio.

Código	Nombre	Clase	Categoría	Municipio	Ubicación
36025010	Tame	Metereológica	Climatológica ordinaria	Tame	6.4561944444°, -71.7450277778°
36030030	Morichal	Meteorológica	Pluviométrica	Tame	6.5706388889°, -71.7076388889°
37050010	Arauquita	Metereologica	Pluviométrica	Araruquita	7.0372222222°, -71.4197222222°

Código	Nombre	Clase	Categoría	Municipio	Ubicación
37050040	Matezamuro	Meteorológica	Pluviométrica	Arauca	6.9741666667°, -70.8516666667°
37057020	Alcaravan AUT	Hidrometeorologica	Limnigrafica	Araruquita	7.035°, -71.4163888889°

Fuente: Catalogo estaciones IDEAM

Las lluvias intensas generan:

- Saturación de suelos.
- Reducción de la capacidad portante.
- Incremento del riesgo de inestabilidad en taludes y terraplenes.

5.9 HIDROGRAFÍA

El área de estudio hace parte de la cuenca hidrográfica del río Arauca, con presencia de:

- Caños y drenajes menores intermitentes.
- Canales naturales de escorrentía.
- Zonas de acumulación superficial de agua.

El comportamiento hidrológico está fuertemente influenciado por la estacionalidad climática, generando:

- Flujos bajos en época seca.
- Aumentos significativos de caudal en temporada de lluvias.

Esto implica la necesidad de un adecuado diseño de:

- Obras de drenaje longitudinal.
- Alcantarillas.
- Sistemas de control de escorrentía.

6. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

6.1 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

6.1.1 Exploración del Subsuelo

La exploración del subsuelo se define como la actividad dentro de la práctica de la ingeniería geotécnica, que busca establecer las características de disposición espacial y propiedades físicas de un medio geológico que tienen influencia en la respuesta de éste a las solicitaciones planteadas por un proyecto específico en sus diferentes instancias de desarrollo: diseño, construcción y operación. Para el cumplimiento de esta definición es posible la realización de diferentes actividades de

exploración entre las que se cuentan los apiques y los sondeos, complementados con las labores de correlación geomorfológica realizada a través de las visitas de campo.

Los objetivos específicos que comprende un programa de exploración del subsuelo son:

- Evaluar la viabilidad general del sitio propuesto para el proyecto.
- Fundamentar las bases de un diseño económico y adecuado.
- Describir de manera detallada los diferentes estratos geológicos que conforman la rasante del proyecto.
- Observar y analizar las dificultades que pueden surgir durante la construcción debido al terreno o a otra condición local.

Para el caso que ocupa al presente informe se tuvo en cuenta en primera instancia para la Infraestructura vial y el Urbanismo excavación de apiques para recuperar muestras en condición inalterada. Las labores de perforación involucraron la realización de 9 apiques de verificación, llegando a una profundidad promedio de 1.5 m. La cantidad de perforaciones y su profundidad se basa en criterios mínimos definidos en la Normativa INVIAS y del criterio propio del consultor.

6.1.2 Metodología

a) Traslado al sitio: El personal y equipo se trasladó a la vía que conduce del municipio de Tame al Municipio de Puerto Rondón, en el sector conocido como El Plato para desarrollar esta actividad.

b) Perforación: Se realizan dos perforaciones por el método de percusión y calicata o apique a cielo abierto, se hizo la extracción de los diferentes núcleos del material. Las perforaciones se ubicaron estratégicamente dentro del terreno.

c) El número y espaciamiento de las exploraciones en el subsuelo fueron determinados, conforme a las características propias del lugar y las posibles cargas transmitidas por la estructura al suelo.

d) La profundidad de los sondeos se estimó a partir de las condiciones del terreno detectadas durante el proceso de perforación.

e) Análisis de la estratigrafía presentada: A medida que se extraen las diferentes muestras de material, el Laboratorista se encarga de hacer la respectiva estratigrafía, analizando color textura y consistencia del material, al igual que el nivel freático.

f) Toma de muestras: De acuerdo con los parámetros anteriormente mencionados se recogen las muestras para hacer los diferentes ensayos y se tiene el mayor cuidado durante el almacenamiento y transporte de las muestras que se deban realizar los ensayos de resistencia (CBR, corte directo, compresión inconfinada, triaxial, etc.).

g) Ensayos de laboratorio: Mediante los diferentes equipos de laboratorio y las muestra tomadas en campo se realizan los ensayos de Clasificación del suelo (Granulometrías, límites de consistencia), humedad, pesos Unitarios.

h) Digitalización de la información arrojada por los ensayos de laboratorio: La información anteriormente conseguida con los equipos de laboratorio es digitalizada y consecutivamente graficada con el fin de hacer los respectivos análisis.

i) Informe técnico: Conseguidos los anteriores parámetros, logramos desarrollar las bases para hacer el informe técnico que nos dará el mayor soporte del estudio.

6.1.3 Apiques

Los apiques consisten en excavaciones de 0.4mx0.4m, de profundidades de 1.50, los cuales se ejecutan con herramientas manuales sobre el área destinada como uso vial y/o uso peatonal.

6.1.3.1 Procedimiento de ejecución de los apiques

- La actividad inicia con la identificación de la localización del apique, referenciando con GPS la ubicación del apique.
- Medición del área a excavar por medio de un flexómetro.
- Extracción de la capa vegetal (cuando es terreno natural) o de la carpeta asfáltica o en concreto (cuando es vía existente), mediante barras, picas o martillo neumático.
- Realización de una descripción general de la capa vegetal o carpeta asfáltica o en concreto en el formato de registro de apiques.
- Excavación con palas, picas y ahoyador, hasta una profundidad de 1.50m verificando con flexómetro y tomando las precauciones necesarias para evitar el desprendimiento de material de las paredes que pueda afectar la seguridad del trabajador o contaminar la muestra que se espera obtener, así como el daño de tubería de gas o de agua.
- Realización del análisis visual del suelo perforado, diligenciando el registro de campo, y anotando las características a las profundidades en las cuales se observen cambios en el tipo de material.
- Recuperación de muestras representativas para caracterización en laboratorio.
- Extracción de la muestra del material natural de subrasante, con molde de CBR, aplicando presión para penetrar el molde, posteriormente se enrasa la muestra para obtener una superficie relativamente lisa. Si debido a la dureza del material natural, no es posible obtener muestras con el molde de CBR, se deben tomar muestras en lonas.
- En todas las capas en las cuales se toman muestras en lonas, se realiza el ensayo de densidad de campo por el método del cono y arena.
- Para poder restaurar el terreno se completa el volumen faltante con material similar al extraído.
- Para la descripción, identificación y rotulación de la muestra se da cumplimiento al protocolo de conservación y transporte de muestras, el cual se describe en el siguiente numeral.

6.1.3.2 Protocolo de manejo, transporte, ensayo, transporte y conservación de muestras

Durante la realización de los apiques, se toma una muestra en cada cambio de material, posteriormente, se rotulan de acuerdo a los puntos mencionado a continuación. Las muestras se empacan y se colocan en cajas con los nombres del proyecto y en las cuales se indica el nombre del apique. Las cajas son puestas en un vehículo aprobado previamente por interventoría, en el cual

también se transportan las herramientas necesarias para la realización de los apiques.

Una vez ha finalizado la ejecución del apique, se procede al transporte de estas en el vehículo y se llevan hacia el laboratorio en donde se reciben y se conservan para realizarse los ensayos de laboratorio solicitados.

- Tipo: limo, arcilla, arena, grava, carpeta asfáltica, concreto, capa vegetal u otro.

- Color: se describe el color de la muestra.

- Tamaño: se describe entre fino, grueso o medio.

- Humedad: se describe entre seca, húmeda o saturada.

- Consistencia: se describe entre blanda, firme o dura.

- Para la Identificación y rotulación: Cada costal se marca con número de código del proyecto, ubicación (coordenadas), No. de apique y descripción general de muestra.

En la **Tabla 2** se presentan las profundidades de las perforaciones finalmente ejecutadas y su ubicación geográfica. En la **Imagen No. 9**, se muestran la ubicación de las perforaciones ejecutadas.

6.1.4 Localización de apiques o sondeos.

Se ejecutaron apiques de exploración a lo largo del tramo objeto de estudio, los cuales fueron ubicados de manera estratégica con el fin de obtener una adecuada representación del perfil estratigráfico y de las características físico–mecánicas de los suelos presentes en la subrasante.

Tomando como base la información del estudio geotécnico realizado en el año 2013, se desarrolló una campaña de apiques de verificación con una separación aproximada de 250 m, permitiendo contrastar las condiciones actuales del terreno con las previamente reportadas. Esta distribución responde a la longitud del tramo evaluado (aproximadamente 1.869 m) y a la relativa homogeneidad geológica de la zona.

Durante la ejecución de cada apique se realizó el correspondiente registro de campo, en el cual se consignaron las principales características de los materiales encontrados, tales como espesor de los estratos, condiciones de humedad, color, consistencia y grado de plasticidad. Así mismo, se efectuó la toma de muestras representativas para su análisis posterior.

La información obtenida permitió establecer una caracterización confiable del subsuelo y evaluar las condiciones de resistencia de los materiales, constituyendo un insumo fundamental para la definición de criterios de diseño de la estructura de pavimento y las obras asociadas.

En la siguiente tabla se muestra un listado con coordenadas de cada uno de los apiques realizados y

en la Imagen No. 9, se muestra una localización detallada de estos

Tabla 2 – Localización y profundidad de los Apiques.

Apique	Muestras	Coordenadas		Profundidad (m)
		N	W	
A-01	M1	6° 22' 26.554"N	71° 30' 28.259"W	1,50
	M2			
A-02	M1	6° 22' 22.167"N	71° 30' 21.109"W	1,50
	M2			
A-03	M1	6° 22' 17.647"N	71° 30' 14.364"W	1,50
	M2			
A-04	M1	6° 22' 13.459"N	71° 30' 07.149"W	1,50
	M2			
A-05	M1	6° 22' 08.653"N	71° 29' 59.969"W	1,50
	M2			
A-06	M1	6° 22' 04.162"N	71° 29' 55.807"W	1,50
	M2			
A-07	M1	6° 21' 56.507"N	71° 29' 57.386"W	1,50
	M2			
A-08	M1	6° 21' 50.981"N	71° 29' 55.928"W	1,50
	M2			
A-09	M1	6° 21' 48.352"N	71° 29' 54.331"W	1,50
	M2			

Fuente: Equipo consultor.

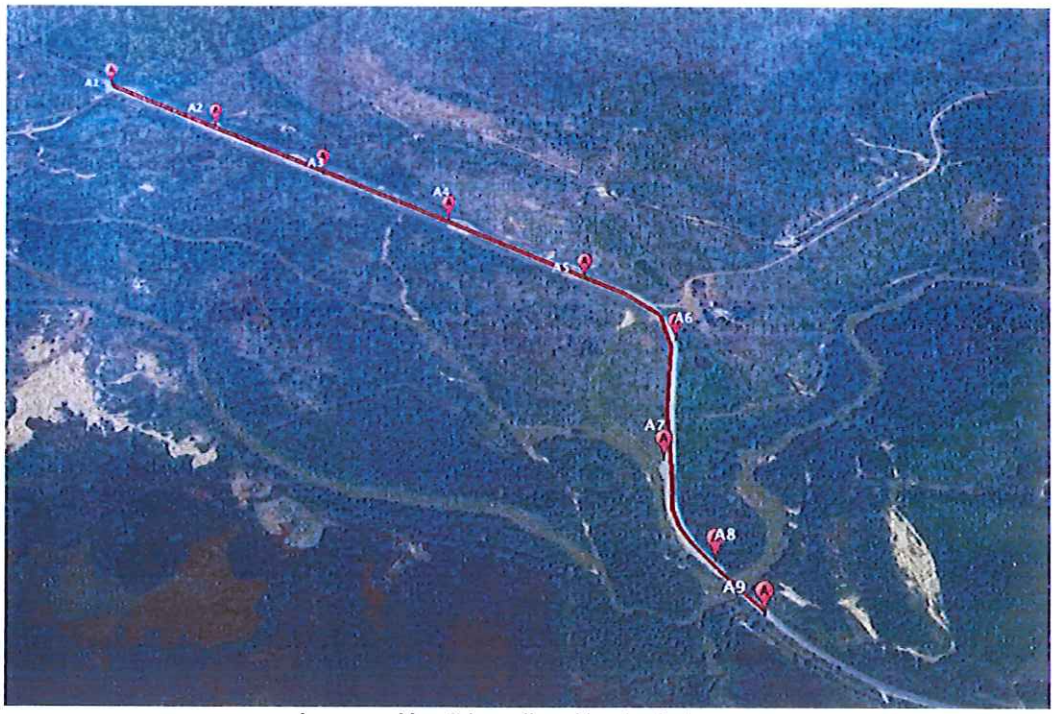


Imagen No. 9 Localización de Apiques.
Fuente: Google Earth editado por Equipo Consultor.

6.1.5 Ensayos De Laboratorio

Con el fin de establecer las propiedades geomecanicas de los materiales representativos del perfil del suelo, se llevó a cabo un programa de ensayos de laboratorio sobre muestras obtenidas en el trabajo de exploración. Estos ensayos se realizaron teniendo en cuenta los fines específicos de este estudio. Por medio de los ensayos de laboratorio pertinentes para cada caso, se establecieron características particulares de clasificación y se calcularon parámetros de resistencia.

De las exploraciones efectuadas se tomaron muestras para realizar los siguientes ensayos de laboratorio:

- Contenido de humedad.
- Granulometría.
- Límites de consistencia
- CBR

La exploración de campo y los ensayos de laboratorio se realizaron con el propósito de determinar las características y propiedades de los suelos que componen la zona de fundación de la obra mencionada.

La cantidad de ensayos ejecutados se relaciona en la **Tabla 3.**

Tabla 3 – Cantidad total de ensayos ejecutados en campo y laboratorio.

Ensayo	Cantidad	Norma
Ensayos de Laboratorio		
Contenido de humedad.	18	INV E-122-13
Granulometría.	18	INV E-213-13
Limites	9	INV E-125-13
CBR (Inalterado y Sumergido)	9	INV E-148-13

Fuente: Equipo consultor.

Para mayor información de los procedimientos de ensayos, por favor remitirse a las normas INVIAS respectivas dadas en la **Tabla 3.**

7. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Con el fin de realizar la evaluación geotécnica del tramo en estudio correspondiente al proyecto de actualización de los diseños para el mejoramiento de la vía Tame – Puerto Rondón, se llevó a cabo la caracterización de los materiales que conforman la subrasante, a partir de la información obtenida en campo y los ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras recuperadas.

Esta caracterización se fundamenta en los resultados de los apiques ejecutados durante la campaña de verificación, los cuales permitieron identificar los diferentes estratos presentes y obtener muestras representativas para su análisis en condiciones controladas. La información recopilada se complementa con los resultados del estudio geotécnico realizado en el año 2013, permitiendo establecer una comparación y validación de las condiciones actuales del subsuelo.

Los ensayos realizados se clasifican en ensayos físicos y mecánicos. Los ensayos físicos tienen como finalidad la clasificación del suelo, determinando propiedades como granulometría, límites de consistencia, humedad natural y peso específico, las cuales permiten evaluar la homogeneidad de los depósitos y su comportamiento general. Por su parte, los ensayos mecánicos proporcionan parámetros que permiten estimar la resistencia y deformabilidad de los materiales, siendo fundamentales para el análisis del comportamiento del suelo frente a las solicitaciones generadas por la infraestructura vial proyectada.

A partir del análisis de los perfiles estratigráficos obtenidos en los apiques, se identificaron estratos con características similares a lo largo del tramo evaluado, los cuales pueden agruparse en unidades geotécnicas representativas. Esta generalización permite definir perfiles de análisis que facilitan la interpretación del comportamiento del suelo y la toma de decisiones en el diseño de la estructura de pavimento y demás obras asociadas.

En los apartados siguientes se presentan las propiedades y características de los estratos identificados, con base en la información obtenida en campo y laboratorio.

7.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas permiten ubicar el suelo dentro de sistemas de clasificación comúnmente empleados en la práctica ingenieril, así como determinar ciertos parámetros numéricos que permiten inferir el comportamiento geotécnico del material.

Para clasificar los materiales encontrados según el sistema USC, es necesario llevar a cabo ensayos de lavado sobre el tamiz No. 200 y límites de consistencia.

Si bien, la proporción de partículas finas (pasa Tamiz No. 200) entrega una primera aproximación a la identificación del suelo, se hace necesario conocer la susceptibilidad al cambio volumétrico del material en presencia de agua y de cierta manera aproximarse al cambio de propiedades mecánicas también en presencia de agua. Es posible aproximarse a esa susceptibilidad al emplear unos índices derivados de la agronomía por Atterberg, y cuyos métodos de ejecución y de interpretación fueron mejorados por Casagrande, que definen la consistencia del suelo en función del contenido de agua, a través de la determinación de humedad, lo que permite identificar la denominada plasticidad del suelo.

A este respecto, Atterberg definió tres límites:

- Límite de contracción, LC: que separa el estado de sólido seco a semisólido.
- Límite plástico, LP: que separa el estado semisólido del plástico.
- Límite líquido, LL: que separa el estado plástico del semilíquido.

En los suelos finos, su comportamiento está asociado a la cantidad de agua presente en los vacíos del mismo, para tal fin y como valores empíricos se han aceptado ciertos valores frontera donde estos cambian de comportamiento al cambiar la cantidad de agua presente en la muestra. Estos valores frontera son conocidos como límites, y son muy utilizados para caracterizar los conjuntos de partículas de suelo, agua, aire y se basan en el concepto de que un suelo fino de acuerdo a su contenido de humedad puede presentar cuatro estados de consistencia como se muestra en el diagrama. El primer estado es seco, y a partir de este la humedad va aumentando hasta alcanzar el estado viscoso, como se muestra en la Figura así:

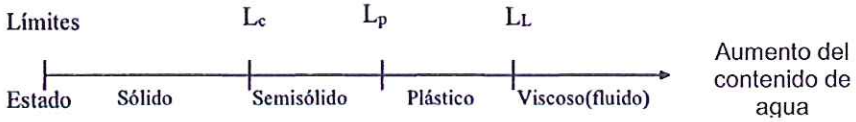


Imagen No. 10 Estados de un suelo de acuerdo a la cantidad de agua presente.
Fuente: Equipo consultor

Los contenidos de humedad y los puntos de transición de uno a otro estado se denominan: Límite de contracción LC, Límite de plástico LP y Límite de Líquido LL.

De los valores numéricos de estos límites se derivan algunas relaciones matemáticas denominadas Índices, entre los cuales se encuentran el Índice de Plasticidad, IP, y el Índice de Liquidez, IL. El

primero de los anteriores corresponde al intervalo de humedades en el cual el material se comporta como un material plástico, su fórmula de cálculo es:

$$IP=LL-LP.$$

Terzaghi en 1936 propuso una útil relación entre la humedad natural y los límites de Atterberg (líquido y plástico) para determinar el comportamiento de un suelo al remoldeo, la cual se denominó Índice de Liquidez.

$$IL = \frac{W - LP}{IP};$$

IL: Índice de liquidez, W: Humedad natural, IP: Índice de Plasticidad.

En la expresión aparece el límite plástico del material y la humedad natural. De acuerdo al valor que alcance este índice se tiene un estado de comportamiento del material como se muestra en la Imagen No.11, estados de un suelo de acuerdo a la cantidad de agua presente.

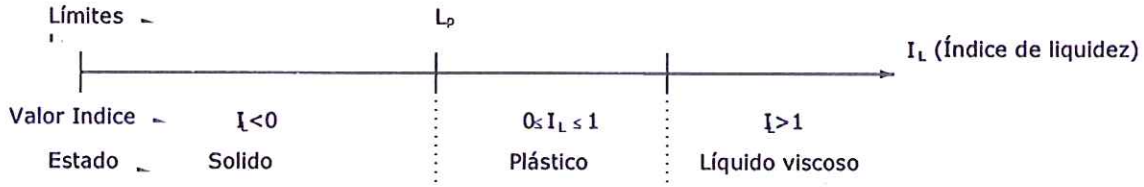


Imagen No. 11 Rangos del índice de liquidez.
Fuente: Equipo consultor

El índice de liquidez indica el potencial de consistencia de un suelo de acuerdo al valor de la humedad natural.

Según la fórmula anterior puede anotarse que para un suelo que tiene la humedad natural igual a su límite plástico el índice de liquidez es cero y para un contenido de humedad igual al límite líquido el índice es igual a 1. Con esto se puede concluir que:

IL < 0,	el suelo tendrá un comportamiento no plástico
0 < IL <1,	el suelo se comportará como un material plástico
IL > 1,	el suelo se convertirá en un líquido muy viscoso

La plasticidad del suelo, es una consecuencia de los componentes minerales del suelo, esto es, en los suelos fino granulares su comportamiento físico se encuentra gobernado por su mineralogía, entre otros factores adicionales como su historia geológica, características de depositación y estructuras heredadas.

Ahora bien, para el desarrollo de este informe se ha buscado caracterizar los estratos del subsuelo con las siguientes propiedades físicas: humedad natural, peso unitario, porosidad, relación de vacíos, peso específico de sólidos, límites de consistencia, porcentaje de partículas con tamaño menor a 0.075 mm, entre otros valores que se indican en los perfiles geotécnicos reportados. Los valores reportados en dichos perfiles obedecen a la caracterización física de los materiales recuperados en los apiques, adicionalmente se presentan otros parámetros deducidos por medio de las expresiones matemáticas que vinculan las relaciones de fase y que provienen de la mecánica de suelos tradicional.

Las muestras ensayadas se han clasificado de acuerdo al American Association of State Highway Officials (AASHTO) y al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Además de pruebas sencillas de campo, observaciones y comparaciones con las muestras representativas.

En la **Tabla 4** se presenta la distribución porcentual de los suelos clasificados según el sistema USCS, con base en las muestras obtenidas durante la campaña de exploración correspondiente al tramo en estudio. A partir de esta información, se evidencia un claro predominio de suelos finos, los cuales representan aproximadamente el 94% del total de muestras, mientras que los suelos gruesos corresponden a cerca del 6%, lo cual es consistente con las condiciones geológicas y geomorfológicas de la zona.

De acuerdo a los resultados obtenidos en laboratorio, se anexan los resultados de los ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 4 porcentaje USCS en el proyecto.

TIPO SUELO	USCS	CANTIDAD DE MUESTRAS EN LOS APIQUES	PORCENTAJE
Suelo Fino	CL	11	61%
Suelo Fino	ML	4	22%
Suelo Fino	CL-ML	2	11%
Suelo Grueso	SM	1	6%
TOTAL		18	100%

Fuente: Equipo consultor

De acuerdo con los resultados de laboratorio, predominan las arcillas inorgánicas de baja plasticidad (CL), seguidas por limos inorgánicos (ML) y en menor proporción materiales de transición CL-ML, evidenciando un comportamiento típico de depósitos aluviales finos. La presencia de suelos granulares tipo SM es puntual y se asocia principalmente a lentes o inclusiones dentro del perfil.

Es importante precisar que, para efectos de la presente caracterización geotécnica de la subrasante, se descartó el espesor correspondiente a los materiales de mejoramiento (material tipo crudo y pedraplén) ejecutados en el marco del Contrato No. 144 de 2018, con el fin de evaluar únicamente las condiciones del suelo natural. No obstante, dichos materiales deberán ser considerados en el análisis y diseño de la estructura de pavimento, dado que hacen parte del sistema actual de soporte de la vía.

La Imagen No. 12 presenta el comportamiento de la humedad natural de los suelos evaluados a lo largo del tramo, donde se observa que los valores oscilan entre aproximadamente 9,9% y 38,2%, indicando condiciones de humedad media a alta. En términos generales, el perfil muestra un comportamiento relativamente homogéneo, con un incremento de la humedad hacia los estratos más

profundos, especialmente por debajo de 1,0 m de profundidad.

Dado que los suelos predominantes corresponden a materiales finos, estos presentan una mayor capacidad de retención de humedad, lo que influye directamente en su comportamiento mecánico. En general, el depósito puede caracterizarse como homogéneo, de naturaleza fina y con condiciones de humedad media, aspectos que deben ser considerados en el análisis de la subrasante y en el diseño de la estructura de pavimento.

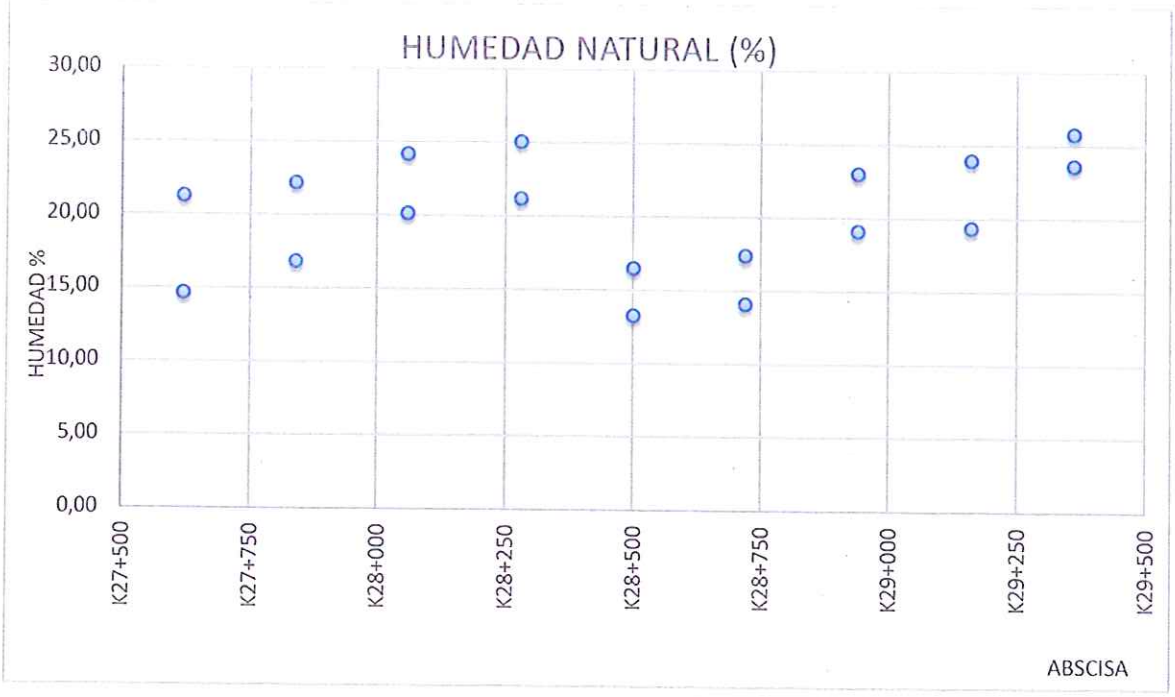


Imagen No. 12 Curvas de humedad natural para cada uno de los Apiques realizados.
Fuente: Equipo consultor

La gráfica del Índice de Plasticidad (IP%) muestra la variación de este parámetro a lo largo de las abscisas evaluadas en el tramo de estudio. Se observa que los valores de IP oscilan aproximadamente entre valores bajos cercanos a 0% hasta valores cercanos al 20–22%, evidenciando una variabilidad moderada del comportamiento plástico del suelo. Sin embargo, la mayoría de los puntos se concentran en un rango entre 5% y 15%, lo cual es característico de suelos de baja a media plasticidad, coherente con la clasificación predominante tipo CL, ML y CL-ML identificada previamente.

Adicionalmente, no se aprecia una tendencia clara de incremento o disminución del IP con la abscisa, lo que sugiere que el depósito presenta un comportamiento relativamente homogéneo a lo largo del tramo, con algunas variaciones puntuales que pueden estar asociadas a cambios locales en la composición del suelo o a la influencia de condiciones de humedad. En general, los valores registrados indican que la subrasante posee una plasticidad moderada, lo cual influye en su capacidad de retención de agua y en su comportamiento mecánico bajo condiciones de carga y variaciones de humedad.

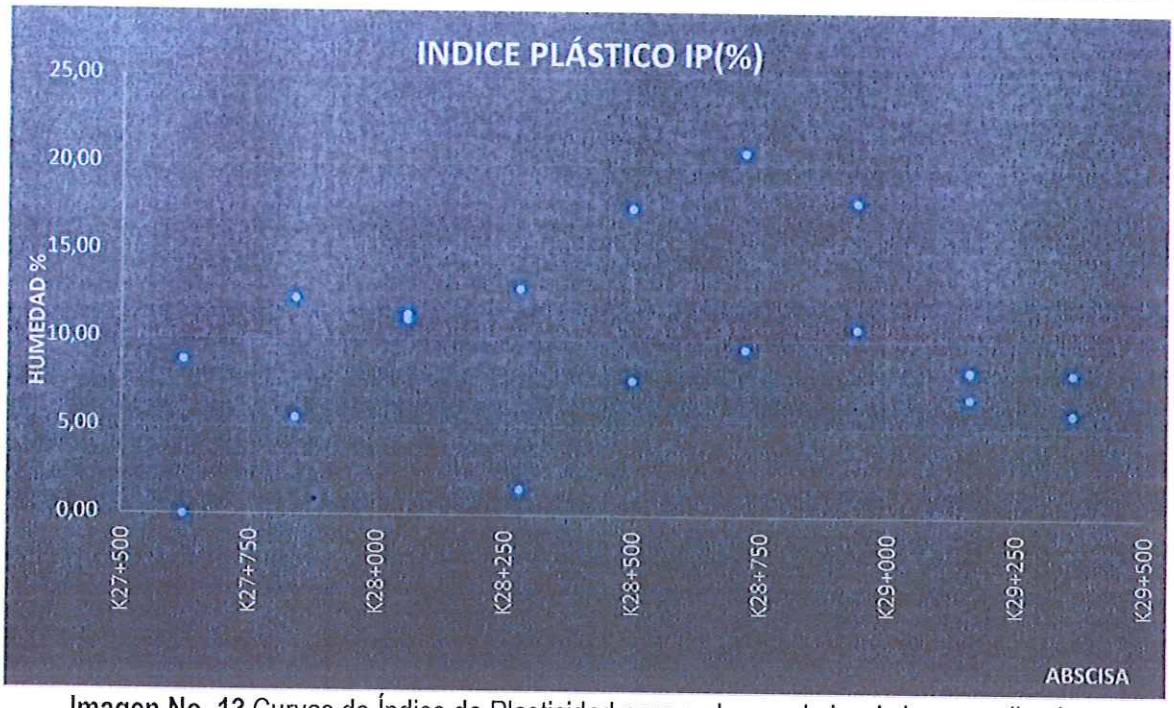


Imagen No. 13 Curvas de Índice de Plasticidad para cada uno de los Apiques realizados.
Fuente: Equipo consultor

La gráfica de valores del índice de liquidez (IL) muestra que la mayoría de los datos se ubican en un rango comprendido aproximadamente entre -1,0 y 0,5, con un valor puntual cercano a 3,5 que se comporta como un dato atípico frente al resto del conjunto.

En términos generales, el hecho de que la mayoría de los valores de IL sean negativos o cercanos a cero indica que los suelos se encuentran en un estado consistente a semisólido, es decir, con contenidos de humedad por debajo o cercanos al límite plástico. Esto es característico de suelos finos tipo CL y ML, los cuales presentan una estructura relativamente estable en condiciones naturales, sin evidenciar comportamientos plásticos excesivos en el estado actual.

El valor atípico alto (IL > 1) podría asociarse a una condición local particular, posiblemente relacionada con una mayor saturación o variabilidad puntual del material, por lo que debe analizarse con precaución y no considerarse representativo del comportamiento general del depósito.

En conjunto, la gráfica evidencia un comportamiento predominantemente homogéneo y estable del suelo en estado natural, coherente con los resultados de humedad y plasticidad previamente analizados, donde la subrasante se caracteriza por presentar condiciones de humedad media y plasticidad baja a moderada. Esto sugiere que, aunque los suelos tienen capacidad de retención de agua, no se encuentran en estados críticos de fluidez bajo las condiciones actuales.

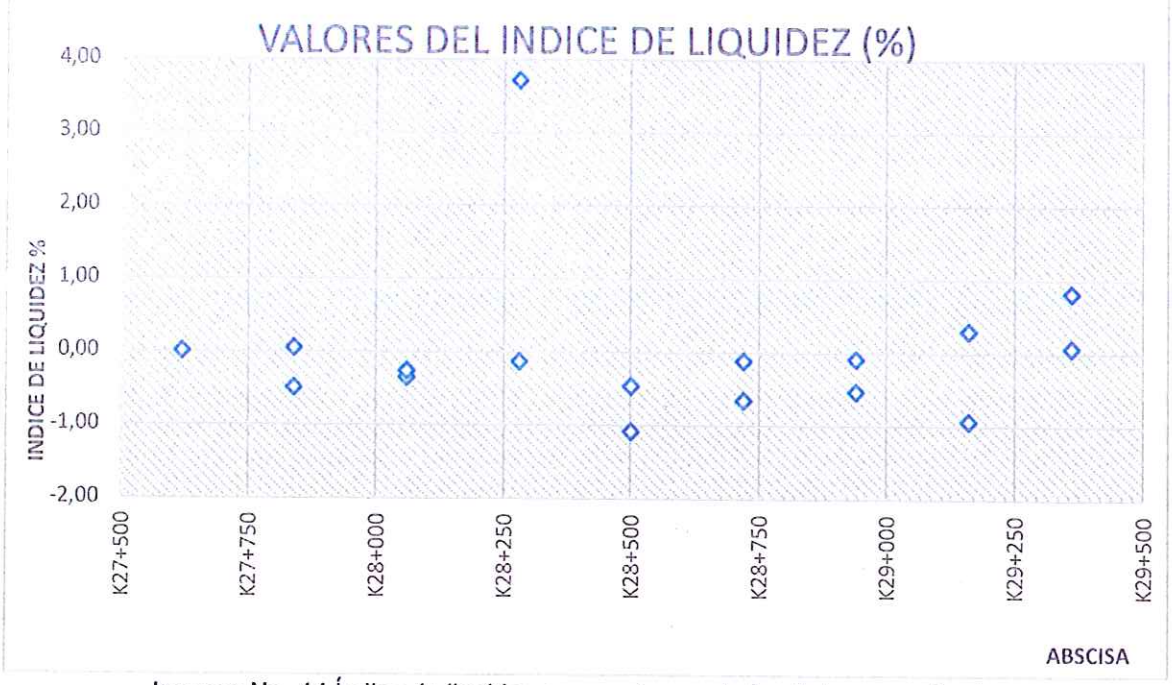


Imagen No. 14 Índice de liquidez para cada uno de los Apiques realizados.
Fuente: Equipo consultor

Tabla 5 Comportamiento del Suelo.

IL	COMPORTAMIENTO DEL SUELO
< 0.0	Demostrará fractura rígida al ser sometido a corte, porque el contenido natural de humedad Wn es menor que el límite plástico LP. En este caso el suelo estará en estado sólido a semi-sólido.
0.0 - 1.0	Como un plástico. Rango que comprende la mayoría de las arcillas en estado natural.
> 1.0	Será esencialmente un líquido muy viscoso cuando se somete a corte, porque el contenido natural de humedad Wn es mayor que el límite líquido LL. Tales suelos pueden ser extremadamente sensibles al colapso de la estructura del suelo. Mientras no sean alterados de manera alguna pueden ser relativamente fuertes, pero si por alguna razón son sometidos a corte (remoldeo) y la estructura del suelo colapsa, entonces literalmente pueden fluir como un líquido viscoso.

Fuente: Equipo consultor

El IL en suelos plásticos indica la historia de esfuerzos a que ha estado sometido el suelo.

Un IL cercano a 0 Significa que es un Suelo preconsolidado (suelo que ha soportado presiones efectivas mayores a las encontradas al momento de la prueba por los estratos en estado natural). Por ejemplo, suelos que en superficie han estado sometidos a la acción de la erosión (remoción de estratos superficiales).

Ahora un IL cercano a 1 Significa que es un Suelo normalmente consolidado (suelo que nunca ha estado sometido a presiones efectivas mayores que las encontradas al momento de la prueba en estado natural). En estos suelos Wn cercana a LL.

7.2 ANÁLISIS DE VARIABILIDAD DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS

A partir de la gráfica de los límites líquido, plástico y humedad natural, se realizó el análisis de los resultados encontrados en los apiques.

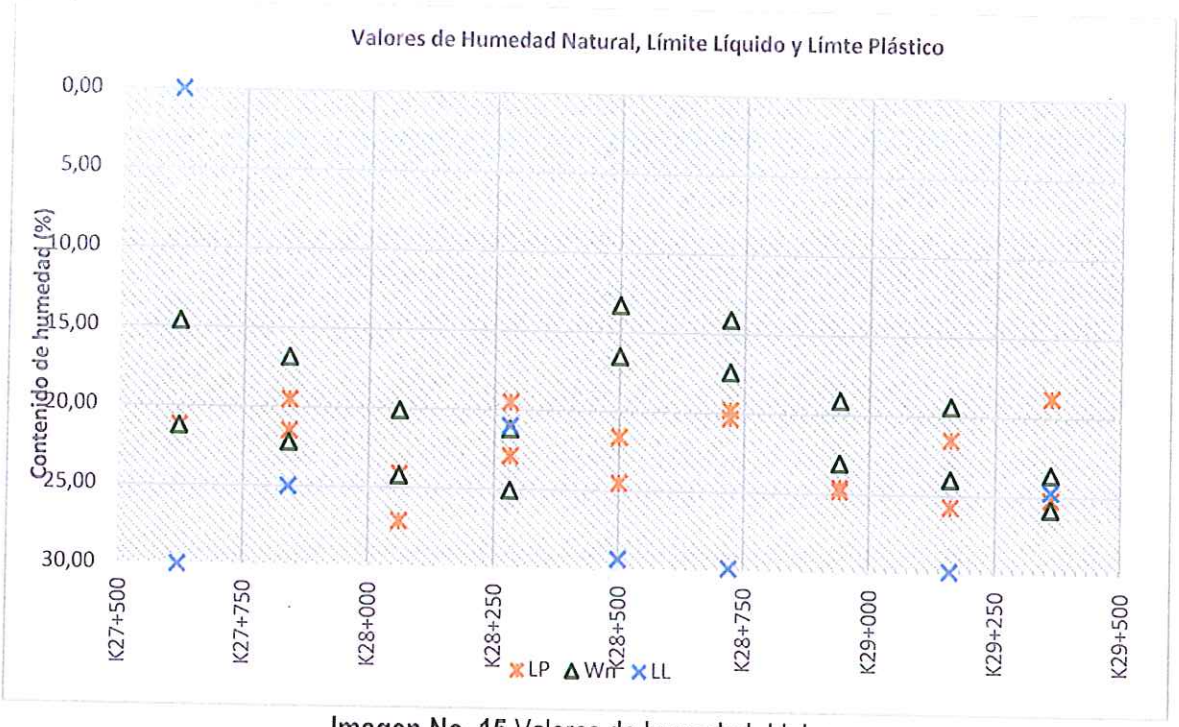


Imagen No. 15 Valores de humedad, Ll, Lp.
Fuente: Equipo consultor

Esta gráfica integra el contenido de humedad natural (Wn), el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP) a lo largo del tramo evaluado, permitiendo analizar el estado del suelo respecto a sus límites de consistencia.

Se observa que, en la mayoría de los puntos, la humedad natural (Wn) se ubica entre el límite plástico (LP) y el límite líquido (LL), lo que indica que los suelos se encuentran en un estado plástico, es decir, con capacidad de deformarse sin perder cohesión. En algunos casos puntuales, la humedad natural se aproxima al límite plástico o incluso se ubica ligeramente por debajo, lo que sugiere condiciones más consistentes o semisólidas en ciertos estratos.

Los valores de LL presentan cierta dispersión pero se mantienen dentro de un rango moderado, mientras que el LP muestra menor variabilidad, lo cual es coherente con suelos finos de baja a media plasticidad. Esta relación entre Wn, LL y LP confirma el predominio de suelos tipo CL, ML y CL-ML, con comportamiento plástico moderado.

En términos generales, el perfil presenta un comportamiento relativamente homogéneo a lo largo del tramo, sin cambios bruscos en los parámetros de consistencia, lo cual es característico de depósitos aluviales finos. No obstante, la cercanía de la humedad natural a los límites de consistencia indica que

el suelo es sensible a variaciones de humedad, lo que puede influir en su resistencia y deformabilidad.

En conclusión, la gráfica evidencia que la subrasante presenta un comportamiento plástico con humedad media a alta, aspecto que debe ser considerado en el diseño geotécnico y estructural del pavimento, particularmente en lo relacionado con la capacidad portante y el control de drenaje.

Tabla 6 Características físicas del estudio geotécnico.

Apique No.	Mtra. No.	Litología	Hum. a la Prof.		L.L. %	I.P. %	Granulometría % pasa				Indice de grupo	Clasificacion	
			%	Mts			No. 4	No. 10	No. 40	No. 200		AASHTO	USC
A-01	-		-	0,00 - 0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1		14,64	0,30 - 1,10	-	-	100,00	100,00	98,12	17,85	0	A-2-4	SM
	2		21,26	1,10 - 1,50	30,0	8,8	100,00	100,00	97,41	81,07	6	A-4	CL
A-02	-		-	0,00 - 0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1		16,84	0,10 - 0,90	25,0	5,5	100,00	100,00	96,65	60,33	1	A-4	CL-ML
	2		22,20	0,90 - 1,50	33,8	12,3	100,00	100,00	97,23	80,06	9	A-6	CL
A-03	-		-	0,00 - 0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1		20,13	0,25 - 1,00	35,5	11,4	100,00	100,00	98,79	82,45	9	A-6	CL
	2		24,22	1,00 - 1,50	38,2	11,1	100,00	100,00	97,70	91,32	12	A-6	ML
A-04	-		-	0,00 - 0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1		21,21	0,20 - 1,00	35,8	12,9	100,00	100,00	98,52	84,05	11	A-6	CL
	2		25,08	1,00 - 1,50	21,0	1,5	100,00	100,00	99,74	90,64	0	A-4	ML
A-05	-		-	0,00 - 0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Apique No.	Mtra. No.	Litolo-gia	Hum. a la Prof.		L.L. %	I.P. %	Granulometría % pasa				Indice de grupo	Clasificacion	
			%	Mts			No. 4	No. 10	No. 40	No. 200		AASHTO	USC
	1		13,28	0,15 - 1,00	29,3	7,7	100,00	100,00	99,35	84,28	6	A-4	CL
	2		16,51	1,00 - 1,50	42,0	17,5	100,00	100,00	99,83	92,48	6	A-7-6	CL
A-06	-		-	0,00 - 0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1		14,09	0,20 - 1,00	29,8	9,5	100,00	100,00	98,82	82,13	7	A-4	CL
	2		17,41	1,00 - 1,50	40,5	20,7	100,00	100,00	99,43	95,79	21	A-7-6	CL
A-07	-		-	0,00 - 0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1		19,09	0,20 - 0,70	35,5	10,7	100,00	100,00	99,06	90,20	10	A-4	CL
	2		23,04	0,70 - 1,50	42,5	17,9	100,00	100,00	99,67	90,97	18	A-7-6	CL
A-08	-		-	0,00 - 0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1		19,38	0,20 - 0,70	32,5	6,8	100,00	100,00	98,31	88,24	6	A-4	ML
	2		23,98	0,70 - 1,50	29,8	8,3	100,00	100,00	99,34	88,53	7	A-6	CL
A-09	-		-	0,00 - 0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1		23,62	0,25 - 1,20	24,7	5,9	100,00	100,00	98,86	96,83	4	A-4	CL-ML
	2		25,81	1,20 - 1,50	33,4	8,2	100,00	100,00	100,00	99,62	9	A-4	ML

Fuente: Equipo consultor

7.3 ESTRATIGRAFÍA

Con base en los apiques ejecutados a lo largo del tramo en estudio, se estableció que la exploración fue realizada en los hombros y taludes del terraplén existente, con el propósito de verificar la conformación actual de la estructura de soporte de la vía y caracterizar el suelo natural subyacente.

Durante la exploración se identificó, en primer término, una capa de mejoramiento antrópico correspondiente a materiales colocados en intervenciones previas, asociados al Contrato No. 144 de 2018. Esta capa está conformada por material tipo crudo con tamaño máximo de 4" y pedraplén, con espesores variables entre aproximadamente 0,20 m y 1,80 m. Para efectos de la caracterización de la subrasante, este espesor de mejoramiento fue descartado, toda vez que no corresponde al suelo natural del sitio; sin embargo, deberá ser considerado posteriormente en los análisis y cálculos de la estructura de pavimento, dado que hace parte del sistema actual de soporte de la vía.

Una vez descontado dicho espesor de mejoramiento, la estratigrafía natural observada en los apiques muestra un perfil relativamente homogéneo, conformado predominantemente por suelos finos de origen aluvial, con variaciones locales en su composición y propiedades físicas.

En términos generales, el perfil típico del terreno natural presenta:

- una capa superficial delgada de suelo orgánico o material con raíces, de espesor reducido;
- un estrato predominante de suelos finos, compuesto principalmente por arcillas inorgánicas de baja plasticidad (CL) y, en menor proporción, limos (ML) y suelos de transición CL-ML;
- localmente, lentes o intercalaciones de material más granular fino tipo SM, asociados a variaciones deposicionales propias del medio aluvial.

Desde el punto de vista granulométrico, los suelos naturales presentan un alto contenido de finos, con porcentajes de material que pasa el tamiz No. 200 generalmente superiores al 80%, e incluso cercanos al 100% en varios estratos, lo cual confirma el predominio de materiales cohesivos y limosos.

En cuanto a las propiedades de consistencia, los valores de límite líquido y índice de plasticidad indican que se trata mayoritariamente de suelos de baja a media plasticidad, coherentes con las clasificaciones CL, ML y CL-ML obtenidas en laboratorio. De igual forma, el contenido de humedad natural muestra valores medios, con ligeros incrementos hacia profundidad, conservando en general una distribución uniforme a lo largo del tramo.

Bajo la clasificación AASHTO, los materiales se ubican principalmente en los grupos A-4, A-6 y A-7-6, lo cual es indicativo de subrasantes de baja a media capacidad portante, con comportamiento sensible a las variaciones de humedad.

En síntesis, una vez descartada la capa de mejoramiento existente conformada por crudo y pedraplén, el terreno natural subyacente corresponde a un depósito aluvial fino, homogéneo y continuo, dominado por arcillas y limos de baja a media plasticidad. Estas características deben ser tenidas en cuenta para la evaluación geotécnica de la subrasante y para la definición de las medidas de mejoramiento y diseño de la estructura de pavimento.

7.4 POTENCIAL DE EXPANSIÓN

Con base en los resultados de laboratorio obtenidos para los suelos de subrasante y tomando como referencia los criterios de evaluación del potencial expansivo establecidos en el Título H de la NSR-10, se considera que los materiales presentes en el tramo evaluado presentan, en términos generales, un potencial de expansión bajo.

Esta apreciación se fundamenta principalmente en los valores de límite líquido (LL) e índice de plasticidad (IP) obtenidos en las muestras analizadas. Los valores de LL se encuentran aproximadamente entre 24,7% y 42,5%, mientras que los valores de IP oscilan entre 1,5% y 20,7%. De acuerdo con la tabla de clasificación del Título H de la NSR-10, la mayor parte de estos resultados se ubica dentro del rango correspondiente a potencial expansivo bajo, aunque algunos estratos puntuales, por presentar valores de límite líquido cercanos o ligeramente superiores al umbral de 39% e índices de plasticidad próximos a 20%, pueden ubicarse en una condición baja a media.

No obstante, el comportamiento general del depósito no permite clasificar la subrasante como un suelo de potencial expansivo medio o alto, ya que predominan materiales clasificados como CL, con presencia subordinada de ML y CL-ML, correspondientes a suelos finos de baja a media plasticidad, típicos de depósitos aluviales de la zona.

Debe precisarse que esta evaluación se realizó con base en los parámetros disponibles de consistencia, toda vez que no se cuenta con ensayos específicos de expansión en consolidómetro, límite de contracción, porcentaje de partículas menores a 1 micra o expansión libre en probeta, los cuales permitirían una valoración más completa conforme a los criterios integrales de la NSR-10.

En consecuencia, se concluye que la subrasante natural del tramo presenta un potencial de expansión predominantemente bajo, por lo que el principal aspecto de atención geotécnica no está asociado a fenómenos expansivos severos, sino a la sensibilidad del material frente a cambios de humedad, condición que puede afectar su capacidad de soporte y comportamiento bajo carga.

Tabla 7 – Clasificación de suelo expansivos según NSR-10.

Potencial de expansión	Expansión Consolidómetro (%)	LL (%)	LC (%)	IP (%)	Partículas menores 1µ (%)	Expansión libre 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 - 37.	50 – 100
Bajo	< 10	< 39	> 13	< 20	< 17	< 50

Fuente: Tomado del Título H de la NSR-10.

7.5 ACTIVIDAD DE LAS ARCILLAS

Es un indicador indirecto de la capacidad de la arcilla para interactuar con el agua; La plasticidad se atribuye a la deformación de la capa de agua adsorbida alrededor de las partículas de mineral de arcilla. Por lo tanto, el grado de plasticidad que presenta un suelo está relacionado con el tipo y cantidad de minerales arcillosos presentes. Como guía, entonces, el agua absorbida por un suelo brinda algún estimativo de la cantidad de arcilla presente en dicho suelo. En 1953, Skempton definió la actividad A de una arcilla como:

$$A = \frac{I.P}{\%Pasa\ Tamiz\ \#200}$$

Donde la fracción de arcilla usualmente se toma como el porcentaje en peso del suelo menor de 2 mm.

La información proveniente de la actividad de la arcilla puede proveer una cierta inclinación al tipo de arcilla presente y en consecuencia el comportamiento natural del suelo. Por ejemplo, el nivel relativo de actividad esperado es bajo para la caolinita, medio para la ilita y alto para la montmorillonita.

Según el grado de actividad, las arcillas se clasifican así:

Tabla 8 – Numero de actividad de la Arcilla.

Actividad	Clasificación	Tipo de Arcilla	Potencial de cambio de volumen
<0,75	Inactiva	Caolinita	Bajo
0-75-1,25	Normal	Ilita	Medio
1,25-2,0	Activa	Atalpuguita	Alto
>2	Muy activa	Montmorillonita	Alto

Fuente: Tomado del Título H de la NSR-10.

Tabla 9 – Clasificación potencial de la actividad de las Arcillas para los valores máximos encontrados en todos los apiques ejecutados.

Parámetros	Valores obtenidos	Valores referencia
IP%	29,50	0,75
%T200	63,17	
Nº Actividad		**0,46**

Fuente: Tomado del Título H de la NSR-10.

Con base en los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y aplicando la metodología establecida en el Título H de la NSR-10, se determinó la actividad de las arcillas presentes en la subrasante mediante la relación entre el índice de plasticidad (IP) y el porcentaje de material que pasa el tamiz No. 200. Considerando como condición representativa el valor máximo de IP = 20,7% y un contenido de finos de 95,79%, se obtuvo un número de actividad aproximado de 0,22. De acuerdo con los criterios de clasificación, este valor corresponde a una arcilla inactiva, asociada generalmente a materiales de tipo caolinítico, con un bajo potencial de cambio de volumen. Este resultado es coherente con la caracterización geotécnica previamente establecida, donde predominan suelos finos de baja a media plasticidad (CL, ML y CL-ML), indicando que el comportamiento del suelo no está gobernado por fenómenos expansivos significativos, sino principalmente por su sensibilidad a las variaciones de humedad.

Tabla 10 – Clasificación potencial de contracción para los valores más críticos encontrados en todos los apiques analizados.

Parámetros	Valores obtenidos	Valores referencia
LC %	22.17	8 - 18
IP %	11.53	<15*
Potencial de Contracción		**MEDIO**

Nota: *Valores susceptibles a la contracción a partir del Índice de Plasticidad (Rico-Del Castillo, 2005, Pág. 299)

Fuente: Equipo consultor.

Los suelos de subrasante encontrados clasificados como arcillas limosas de baja plasticidad (CL-ML), arcillas de baja plasticidad (CL), limos de baja (ML) y alta plasticidad (MH) no son susceptibles a la expansión por aumentos de humedad, sin embargo, el potencial a contracción encontrado es medio pues autores como Rico Rodríguez – Del Castillo referencian lo siguiente, *"...Es indudable que la naturaleza de los materiales que forman el terraplén y sus condiciones de compactación deben tener enorme influencia en el desarrollo de las grietas. La Fig. VI-13 (Ref. 21) muestra la zona en que caen las curvas granulométricas de los suelos aparentemente más susceptibles al agrietamiento; aunque la evidencia de que se dispone dista de ser completa, parece que las arcillas inorgánicas con índice de plasticidad menor que 15 y con graduación dentro de la zona marcada en la Fig. VI-13 son más susceptibles el agrietamiento sobre todo cuando se compactan del lado seco, que otros suelos más finos o más gruesos. Las arcillas con índice de plasticidad mayor que 20, aunque sean más finas que las anteriores, aguantan mucha más deformación sin agrietarse..."*, por lo tanto, y conociendo de antemano que las características de las vías a diseñarse son urbanas, las cuales deben respetar una cota de construcción dados los paramentos y niveles obligados de las vías y urbanismos existes, el efecto de contracción de este tipo de suelos se disipa por el confinamiento lateral ya existente en la actualidad.

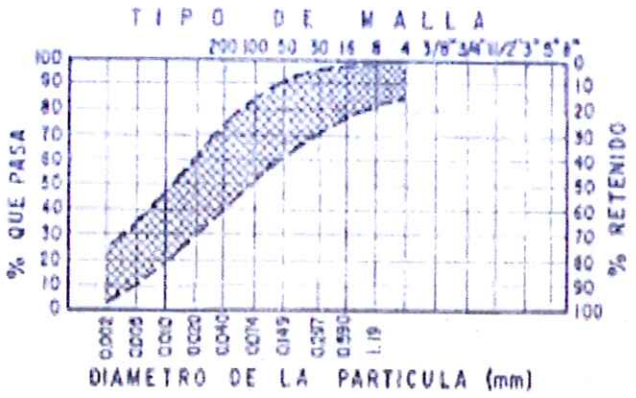


Figura VI-11. Granulometría de los suelos más susceptibles de agrietamiento.

Imagen No. 16 Granulometría de suelos susceptibles al agrietamiento.
Fuente: La Ingeniería de Suelos en Vías Terrestres, Rico-Del Castillo, 2005, Pág. 299.

7.6 LICUACIÓN

Los principales métodos para evaluar el potencial de licuación son los métodos simplificados (ensayos de laboratorio), análisis de respuesta del terreno, métodos basados en comportamientos pasados (método empírico). Este último nos da una idea a priori que en la zona no se han registrado daños debido a esta particularidad de daño.

Los materiales susceptibles a licuación presentan las siguientes características, tomado de la NSR-10:

- Depósitos fluviales, coluviales, granulares, eólicos, cuando están saturados son susceptibles de licuación.
- Depósitos de abanicos aluviales, planicies aluviales, playas, terrazas y estuarios.
- Arenas finas y arenas limosas relativamente uniformes con densidad suelta y media
- Los limos, limos arcillosos, arcillas limosas de baja plasticidad y con humedad natural cercana al límite líquido.

Los autores indican que para efectos de aplicación en la práctica se contempla un límite determinado por el índice de plasticidad IP: Si IP<7 el suelo se comporta como una arena ("sand-like behavior"). Caso análogo, si IP≥7, el suelo se comporta como una arcilla ("clay-like behavior"). Los suelos que se comportan como arcillas se eximen de evaluación de potencial de licuación, al igual que si clasifica como gravas.

Teniendo en cuenta que los materiales encontrados en el corredor corresponden a limo arcillosos arcillas limosas de alta y baja plasticidad, se considera que los suelos existentes en el corredor no presentan susceptibilidad a presentar licuación.

7.7 NIVEL FREÁTICO

Es importante tener en cuenta que corresponde a un valor puntual en el tiempo y puede variar según las condiciones de lluvia, a las profundidades exploradas NO se halló nivel freático.

8. PARÁMETROS DE RESISTENCIA MEDIDOS EN CAMPO

La evaluación de los parámetros de resistencia se realiza a partir de los resultados del ensayo CBR, con el cual se determina la capacidad de soporte del material de subrasante, remoldeando material alterado en el laboratorio y/o tomando muestras inalteradas en campo este último con la ayuda de un molde de compactación y anillo corte, se saca la muestra totalmente inalterada, y luego de ser enrasada se lleva a la máquina de compresión, equipada con pistón de penetración CBR (diámetro de 4.953cm con sección transversal de 19.4cm2) y capaz de penetrar a una tasa de 1.27mm /min. Obteniendo de esta manera el esfuerzo del material a una penetración máxima de 0.5 pulgadas.

A partir de los resultados de CBR, se realiza la siguiente gráfica de los valores de CBR en condición inalterada y en condición sumergida, con la cual se analiza la capacidad de soporte de la subrasante.

Tabla 11 Capacidad de Soporte del Suelo (CBR).

Apique	Muestras	Profundidad (m)	CBR Inalterado	CBR Sumergido	Indice PDC (mm/golpe)	CBR (PDC) (%)
A-01	M1	1,50	6,30	4,49	27,10	5,59
	M2					
A-02	M1	1,50	5,80	3,69	24,60	6,40
	M2					
A-03	M1	1,50	5,75	3,23	24,88	6,30
	M2					
A-04	M1	1,50	5,43	3,30	24,83	6,32
	M2					
A-05	M1	1,50	5,86	3,70	23,44	6,85
	M2					
A-06	M1	1,50	5,24	3,10	22,87	7,09
	M2					
A-07	M1	1,50	6,37	4,41	23,05	7,01
	M2					
A-08	M1	1,50	6,92	4,64	25,20	6,19
	M2					
A-09	M1	1,50	5,80	3,15	24,12	6,58
	M2					

Fuente: Equipo consultor

La gráfica de Capacidad de Soporte del Suelo (CBR) permite comparar el comportamiento de la subrasante a partir de tres condiciones: CBR inalterado, CBR sumergido y CBR estimado mediante Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC).

Los valores de CBR inalterado se ubican aproximadamente entre 5,2% y 6,9%, indicando una capacidad de soporte baja a media, coherente con la presencia predominante de suelos finos tipo CL y ML. Estos valores presentan una variabilidad moderada, lo que confirma la relativa homogeneidad del depósito.

El CBR sumergido presenta una reducción significativa, con valores entre 3,1% y 4,6%, evidenciando la sensibilidad del suelo frente al incremento de humedad, característica típica de materiales finos donde la resistencia disminuye al aumentar el contenido de agua.

Por su parte, los valores de CBR (PDC), obtenidos mediante ensayos in situ, oscilan entre 5,6% y 7,1%, mostrando una tendencia similar al CBR inalterado. Esto indica que la resistencia medida directamente en campo es consistente con la obtenida en laboratorio bajo condiciones naturales.

Sin embargo, es importante resaltar que el CBR (PDC) corresponde a un valor estimado a partir de correlaciones con la penetración del cono, por lo cual su interpretación debe hacerse como un indicador de la resistencia in situ del material bajo las condiciones existentes en el momento del ensayo, y no como un valor equivalente al CBR de laboratorio.

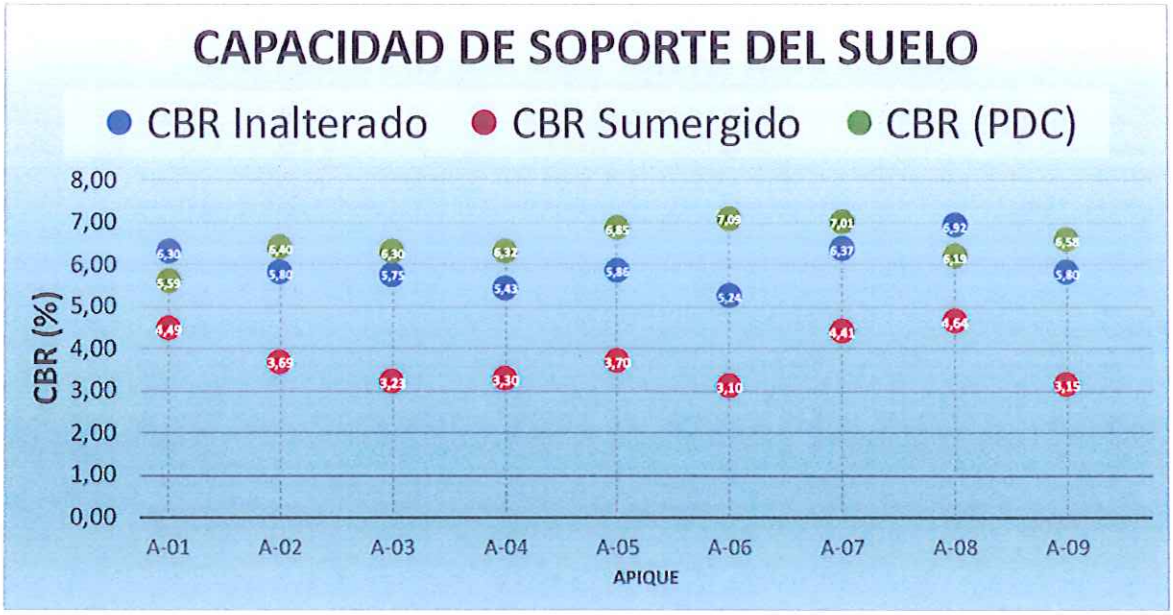


Imagen No. 17 Valores de CBR.
Fuente: Equipo consultor

8.1 SELECCIÓN DEL CBR DE DISEÑO.

El criterio más difundido para la determinación de valores de la resistencia de diseño es el propuesto por el Instituto del Asfalto, el cual recomienda tomar un valor total, que el 60, el 75 o el 87.2% de los valores individuales sea igual o mayor que él, de acuerdo con el tránsito que se espera circule sobre el pavimento, como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12 – Límites para selección de resistencia

Numero de ejes de 8.2 Toneladas en el carril de diseño (N)	Percentil a seleccionar para hallar la resistencia
$<10^{\wedge}4$	60
$10^{\wedge}4 - 10^{\wedge}6$	75
$>10^{\wedge}6$	87.5

(**Fuente**: MS-1 Asphalt Institute, Thickness Dessing, 1981).

Definidos los valores de CBR, determinados mediante penetración CBR de laboratorio en muestras inalteradas, se organiza los valores de menor a mayor y analizarlos en conjunto para elegir un valor representativo de la capacidad de soporte de la unidad definitiva de diseño.

Tabla 13 – Valores de CBR ordenados

CBR (%)	Frecuencia	Número de valores mayores o iguales	% de valores iguales o mayores
3,1	1	11	100,0
3,15	1	10	90,9
3,23	1	9	81,8
3,3	1	8	72,7
3,69	1	7	63,6
3,7	2	6	54,5
4,41	1	4	36,4
4,49	1	3	27,3
4,64	2	2	18,2

Fuente: Equipo consultor

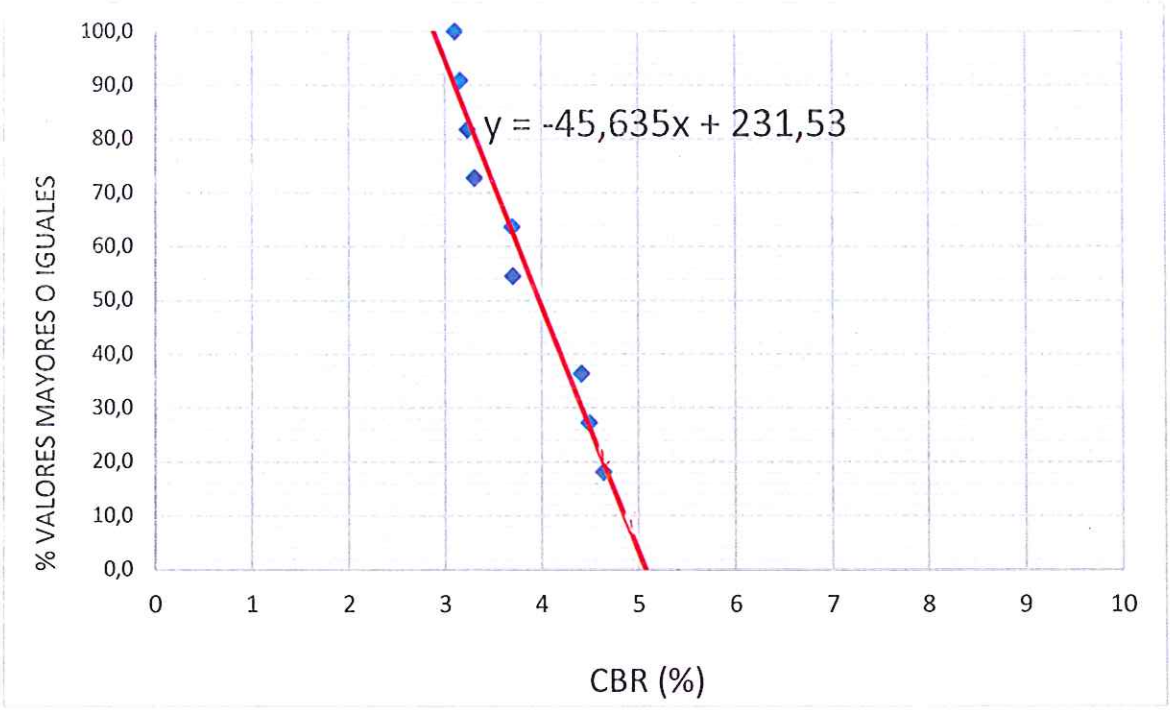


Imagen No. 18 CBR representativo de la subrasante.
Fuente: Equipo consultor

ECUACIÓN DE COMPORTAMIENTO	***Y=***	**-45,635**	***X ±***	**231,53**
PERCENTIL SELECCIONADO		**75%**		
CBR DE DISEÑO		**3,43%**	***Mr***	**5623**

8.2 AJUSTE DEL CBR DE DISEÑO MEDIANTE EL MÉTODO DE IVANOV

En el análisis de la capacidad de soporte de la subrasante, es importante considerar que el comportamiento estructural real del sistema no depende únicamente del suelo natural, sino también de las capas de mejoramiento existentes, como es el caso del terraplén conformado por material tipo crudo y pedraplén.

Para este propósito, se empleó el método de Ivanov, el cual permite determinar un CBR equivalente de un sistema multicapa (subrasante + material de mejoramiento), a partir del concepto de módulo equivalente, basado en la teoría elástica de Boussinesq.

Este método es ampliamente utilizado en el diseño de pavimentos para evaluar el efecto de una capa granular sobre una subrasante de baja capacidad portante, permitiendo cuantificar el incremento en

la resistencia del sistema debido al espesor y calidad del material de mejoramiento.

8.2.1 Fundamento del método

El método de Ivanov considera que:

El sistema está compuesto por:

- una capa inferior (subrasante) con módulo E_0
- una capa superior (mejoramiento) con módulo E_1

Existe una relación entre módulos:

$$n = \frac{E_1}{E_0}$$

A partir del espesor de la capa de mejoramiento (h), se calcula un módulo equivalente E_e del sistema, que posteriormente se puede convertir a un CBR equivalente.

Este enfoque permite evaluar cómo una capa granular distribuye esfuerzos y reduce deformaciones en la subrasante, incrementando su capacidad estructural.

8.2.2 Aplicación al proyecto

Para el tramo en estudio se tienen los siguientes parámetros:

CBR subrasante (diseño, método Instituto del Asfalto):

CBR=3,43%

Material de mejoramiento (crudo/pedraplén):

CBR=10%

Espesor de mejoramiento existente:

h= 50 cm

Módulos estimados:

Subrasante: E_{sr}=343 kg/cm^2

Mejoramiento: E_{ge}=1000 kg/cm^2

Relación de módulos:

n=1,53

Tabla 14 – Determinación del CBR equivalente de la subrasante mediante el método de Ivanov considerando el mejoramiento existente

Tipo de material	CBR promedio del material (%)	Esr (kg/cm2)	CBR material mejoramiento (%)	Ege (kg/cm2)	Hge (cm)	n	Eeq (Kg/cm2)	CBR (%)
CL	3,43	343	10	1000	50	1,53	836,0	**8,36**

Fuente: Equipo consultor

Aplicando la formulación de Ivanov, se obtiene un:

Módulo equivalente del sistema:

$$Eeq=836\ kg/cm^2$$

CBR equivalente:

$$\mathbf{CBR_{eq}=8,36\%}$$

9. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en la campaña de exploración geotécnica, los ensayos de laboratorio y los análisis realizados, se concluye lo siguiente:

La subrasante del tramo evaluado presenta un comportamiento relativamente homogéneo, caracterizado por la predominancia de suelos finos de origen aluvial, clasificados principalmente como arcillas inorgánicas de baja plasticidad (CL), con presencia secundaria de limos (ML) y materiales de transición CL-ML.

Los valores de límites de consistencia y contenido de humedad natural indican que los suelos presentan una plasticidad baja a media y condiciones de humedad media a alta, lo cual influye directamente en su comportamiento mecánico. En general, el material muestra una adecuada cohesión, pero es sensible a las variaciones de humedad, lo que puede generar disminuciones en su capacidad de soporte.

El análisis del índice de liquidez evidencia que la mayoría de los suelos se encuentran en un estado consistente a plástico, lo cual confirma que, bajo condiciones naturales, el material no presenta comportamiento crítico de fluidez.

En cuanto al potencial de expansión, y de acuerdo con los criterios del Título H de la NSR-10, se determinó que la subrasante presenta un potencial de expansión bajo, con algunos estratos puntuales de comportamiento bajo a medio, descartándose la presencia de suelos altamente expansivos.

El cálculo de la actividad de las arcillas arrojó un valor aproximado de 0,22, clasificando el material como arcilla inactiva, asociada a un bajo potencial de cambio de volumen, lo cual es consistente con la clasificación USCS obtenida.

El análisis de la capacidad de soporte mediante ensayos CBR indica que:

- El CBR inalterado presenta valores entre aproximadamente 5% y 7%
- El CBR sumergido, considerado como condición crítica, se ubica entre 3% y 4,6%

Aplicando el criterio del Instituto del Asfalto, se determinó un **CBR de diseño de 3,2%,** representativo de la subrasante en condiciones desfavorables.

No obstante, al considerar la presencia de una capa de mejoramiento existente, conformada por material tipo crudo y pedraplén con espesores variables, y aplicando el método de Ivanov, se obtuvo un **CBR equivalente del sistema de 8,36%,** evidenciando un incremento significativo en la capacidad estructural de la subrasante.

10. RECOMENDACIONES GENERALES

Con base en los resultados obtenidos y el análisis realizado, se formulan las siguientes recomendaciones:

Se recomienda adoptar como valor de diseño para la subrasante el CBR equivalente de 8,36%, siempre y cuando se garantice la conservación del espesor y las condiciones del material de mejoramiento existente. En caso de alteraciones o remoción de esta capa, deberá considerarse el CBR natural de la subrasante.

Es fundamental asegurar un adecuado control de drenaje superficial y subsuperficial, dado que el comportamiento del suelo es altamente dependiente del contenido de humedad. La acumulación de agua puede generar pérdidas significativas de capacidad portante.

Durante la etapa constructiva, se debe evitar la sobrehumectación del terreno y garantizar condiciones óptimas de compactación, especialmente en zonas donde el suelo natural quede expuesto.

Se recomienda realizar un control estricto sobre la uniformidad del mejoramiento existente, verificando espesores, calidad del material y grado de compactación, con el fin de asegurar que el comportamiento estructural del sistema sea consistente con el considerado en el diseño.

En caso de identificarse sectores con condiciones más desfavorables o con pérdida del material de mejoramiento, se deberá considerar la implementación de mejoramientos adicionales, tales como estabilización con materiales granulares o técnicas de mejoramiento del suelo.

Finalmente, se recomienda que el diseño de la estructura de pavimento considere la condición real del sistema suelo–mejoramiento, así como la variabilidad de los materiales, adoptando criterios conservadores que garanticen la durabilidad y el desempeño adecuado de la vía en el tiempo.

11. BIBLIOGRAFÍA

BRAJA M. DAS. (2008). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, CENGAGE Learning, México

BOWLES, JOSEPH E. (1981). Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. México: Editorial McGraw-Hill.

JUÁREZ BADILLO, EULALIO Y RICO RODRÍGUEZ, ALFONSO. (2005) Mecánica de Suelos, Tomo 1. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Tercera Edición. México. Editorial Limusa.

MONTEJO FONSECA, A. (2010). Ingeniería de Pavimentos Fundamentos, Estudios Básicos y Diseño Tercera Edición. Bogotá, Colombia.

ALCALDÍA MUNICIPAL DE PUERTO RONDÓN. (2010). Esquema de Ordenamiento Territorial de Puerto Rondón. Esquema de Ordenamiento Territorial de Puerto Rondón. Puerto Rondón, Arauca, Colombia.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington: AASHTO, 1986.1993. 1998. 2 vol.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. Design and construction of joints for concrete streets. Skokie: PCA, 1992.

12. ANEXOS

Anexo No. 1 – Registro Fotográfico
Anexo No. 2 – Documentos Profesional

Anexo No. 1 – Registro de Ensayos de Laboratorios

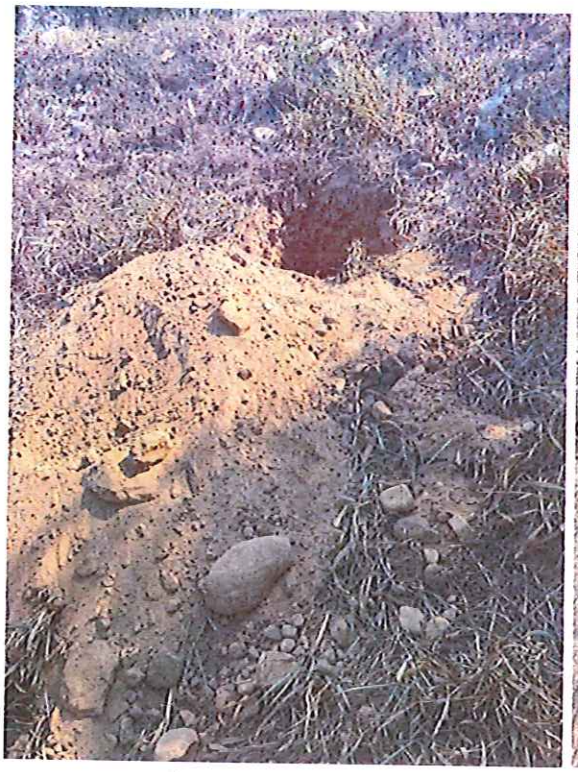
Calle 16 No. 26-31 Barrio Guarataros
Teléfonos: 314 483 0796
E-mail: smsolucionesprofesionales@gmail.com

Abscisa	Apique No.	Mtra. No.	Litología	Hum. a la Prof.		L.L. %	I.P. %	Granulometria % pasa				Indice de grupo	Clasificacion		Nivel Freático Mts	CBR					Fecha: Marzo de 2026
				%	Mts			No. 4	No. 10	No. 40	No. 200		AASHTO	USC		CBR (%)			PDC	CBR	Hoja 1 de 1
																INALTERADO	SUMERGIDO	Exp %	mm/golpe	%	Descripción
K27+620	A-01	-		-	0,00 - 0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	MATERIAL CRUDO CON TAMAÑO MÁXIMO 4"
		1		14,64	0,30 - 1,10	-	-	100,00	100,00	98,12	17,85	0	A-2-4	SM	-	6,3	4,49	-	15,45	5,59	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ CLARO
		2		21,26	1,10 - 1,50	30,0	8,8	100,00	100,00	97,41	81,07	6	A-4	CL	-	-	-	-	-	-	ARCILLA DE MEDIANA PLASTICIDAD CON ARENA COLOR GRIS CLARO CON VETAS CAFÉ
K27+840	A-02	-		-	0,00 - 0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			MATERIAL CRUDO CON TAMAÑO MÁXIMO 4"
		1		16,84	0,10 - 0,90	25,0	5,5	100,00	100,00	96,65	60,33	1	A-4	CL-ML	-	5,8	3,69	0,10	12,42	6,40	ARCILLA LIMO-ARENOSA COLOR AMARILLO CLARO
		2		22,20	0,90 - 1,50	33,8	12,3	100,00	100,00	97,23	80,06	9	A-6	CL	-	-	-	-	-	-	ARCILLA DE MEDIANA PLASTICIDAD CON ARENA COLOR GRIS CLARO CON VETAS CAFÉ
K28+060	A-03	-		-	0,00 - 0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MATERIAL CRUDO CON TAMAÑO MÁXIMO 4"
		1		20,13	0,25 - 1,00	35,5	11,4	100,00	100,00	98,79	82,45	9	A-6	CL	-	5,75	3,23	0,07	12,74	6,30	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CON ARENA COLOR AMARILLO CLARO
		2		24,22	1,00 - 1,50	38,2	11,1	100,00	100,00	97,70	91,32	12	A-6	ML	-	-	-	-	-	-	LIMO BAJA PLASTICIDAD COLOR AMARILLO CLARO CON VETAS DE COLOR GRIS
K28+280	A-04	-		-	0,00 - 0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MATERIAL CRUDO CON TAMAÑO MÁXIMO 4"
		1		21,21	0,20 - 1,00	35,8	12,9	100,00	100,00	98,52	84,05	11	A-6	CL	-	5,43	3,30	0,12	12,68	6,32	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CON ARENA COLOR AMARILLO CLARO
		2		25,08	1,00 - 1,50	21,0	1,5	100,00	100,00	99,74	90,64	0	A-4	ML	-	-	-	-	-	-	LIMO BAJA PLASTICIDAD COLOR AMARILLO CLARO CON VETAS DE COLOR GRIS
K28+500	A-05	-		-	0,00 - 0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MATERIAL CRUDO CON TAMAÑO MÁXIMO 4"
		1		13,28	0,15 - 1,00	29,3	7,7	100,00	100,00	99,35	84,28	6	A-4	CL	-	5,86	3,70	0,06	11,13	6,85	ARCILLA BAJA PLASTICIDAD CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		2		16,51	1,00 - 1,50	42,0	17,5	100,00	100,00	99,83	92,48	6	A-7-6	CL	-	-	-	-	-	-	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO CON VETAS DE COLOR GRIS

Abscisa	Apique No.	Mtra. No.	Litolo-gía	Hum. a la Prof.		L.L. %	I.P. %	Granulometría % pasa				Indice de grupo	Clasificacion		Nivel Freático Mts	CBR					Fecha: Marzo de 2026
				%	Mts			No. 4	No. 10	No. 40	No. 200		AASHTO	USC		CBR (%)			PDC	CBR	Hoja 1 de 1
																INALTERADO	SUMERGIDO	Exp %	mm/golpe	%	Descripción
K28+720	A-06	-		-	0,00 - 0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MATERIAL CRUDO CON TAMAÑO MÁXIMO 4"
		1		14,09	0,20 - 1,00	29,8	9,5	100,00	100,00	98,82	82,13	7	A-4	CL	-	5,24	3,10	0,05	10,53	7,09	ARCILLA BAJA PLASTICIDAD CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		2		17,41	1,00 - 1,50	40,5	20,7	100,00	100,00	99,43	95,79	21	A-7-6	CL	-	-	-	-	-	-	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO CON VETAS DE COLOR GRIS
K28+940	A-07	-		-	0,00 - 0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MATERIAL CRUDO CON TAMAÑO MÁXIMO 4"
		1		19,09	0,20 - 0,70	35,5	10,7	100,00	100,00	99,06	90,20	10	A-4	CL	-	6,37	4,41	0,05	10,73	7,01	ARCILLA BAJA PLASTICIDAD CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		2		23,04	0,70 - 1,50	42,5	17,9	100,00	100,00	99,67	90,97	18	A-7-6	CL	-	-	-	-	-	-	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO CON VETAS DE COLOR GRIS
K29+160	A-08	-		-	0,00 - 0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MATERIAL CRUDO CON TAMAÑO MÁXIMO 4"
		1		19,38	0,20 - 0,70	32,5	6,8	100,00	100,00	98,31	88,24	6	A-4	ML	-	6,92	4,64	-	13,11	6,19	LIMO BAJA PLASTICIDAD COLOR GRIS CLARO
		2		23,98	0,70 - 1,50	29,8	8,3	100,00	100,00	99,34	88,53	7	A-6	CL	-	-	-	-	-	-	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO CON VETAS DE COLOR GRIS
K29+360	A-09	-		-	0,00 - 0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MATERIAL CRUDO CON TAMAÑO MÁXIMO 4"
		1		23,62	0,25 - 1,20	24,7	5,9	100,00	100,00	98,86	96,83	4	A-4	CL-ML	-	5,80	3,15	0,10	11,88	6,58	ARCILLA LIMO-ARENOSA COLOR GRIS CLARO
		2		25,81	1,20 - 1,50	33,4	8,2	100,00	100,00	100,00	99,62	9	A-4	ML	-	-	-	-	-	-	LIMO BAJA PLASTICIDAD COLOR CAFE CLARO CON VETAS DE COLOR GRIS

Anexo No. 2 – Registro Fotográfico

Calle 16 No. 26-31 Barrio Guarataros
Teléfonos: 314 483 0796
E-mail: smsolucionesprofesionales@gmail.com







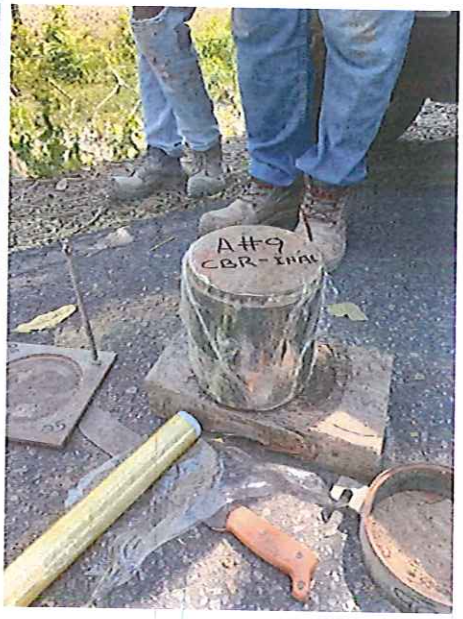


Calle 16 No. 26-31 Barrio Guarataros
Teléfonos: 314 483 0796
E-mail: smsolucionesprofesionales@gmail.com








A#9
CBR-INAL











Anexo No. 3 – Documentos Profesional

Calle 16 No. 26-31 Barrio Guarataros
Teléfonos: 314 483 0796
E-mail: smsolucionesprofesionales@gmail.com

CARTA DE CESION DE DERECHOS

Yo **SERGIO ANDRÉS CLARO LÓPEZ**, identificado con CC 5.468.552 de Ocaña, en calidad de Ingeniero Civil, Magister en Ingeniería Vial y Especialista en Gerencia de Proyectos con matrícula profesional No. 54202-106833 NTS, certifico que realicé el **ESTUDIO DE GEOTECNÍA Y SUELOS** para el proyecto producto de la "**ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑOS PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LA VÍA TAME – PUERTO RONDÓN, DEPARTAMENTO DE ARAUCA**".

Por lo anterior, manifiesto ceder plenamente los derechos al Departamento de Arauca.

La duración de los derechos cedidos será por término indefinido a partir de la fecha de la firma de la presente carta de cesión de derechos.

Para los fines pertinentes, anexo:

- Copia de mi Tarjeta o Matrícula Profesional
- Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios (profesionales)
- Copia de la cédula de ciudadanía.

Se expide a los veinte (20) días del mes de marzo de 2026.

Atentamente,

Nombre: **SERGIO ANDRÉS CLARO LÓPEZ.** Firma:

Profesión: Ingeniero Civil, C.c.: 5.468.552

Título de post-grado: Magister en Ingeniería Vial Matrícula Profesional No. 54202-106833 NTS

MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Yo **SERGIO ANDRÉS CLARO LÓPEZ**, identificado con CC 5.468.552 de Ocaña, en calidad de Ingeniero Civil, Magister en Ingeniería Vial y Especialista en Gerencia de Proyectos con matrícula profesional No. 54202-106833 NTS, certifico que realicé el **ESTUDIO DE GEOTECNÍA Y SUELOS** para el proyecto producto de la "**ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑOS PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LA VÍA TAME – PUERTO RONDÓN, DEPARTAMENTO DE ARAUCA**".

En consecuencia, asumo toda la responsabilidad referente al **ESTUDIO DE GEOTECNÍA Y SUELOS**, y exonero al Departamento de Arauca, de cualquier responsabilidad, civil, penal o administrativa, por cualquier falta u omisión del presente ESTUDIO.

Declaro así mismo, que asumo la responsabilidad por los perjuicios que por causa de ellos pueda deducirse, exonerando al Departamento de Arauca de cualquier responsabilidad.

Acepto y reconozco que la revisión efectuada por el departamento no constituye una aprobación al estudio y/o diseño, sino una verificación del cumplimiento de las normas aplicables.

Se expide a los veinte (20) días del mes de marzo de 2026.

Atentamente,

Nombre: **SERGIO ANDRÉS CLARO LÓPEZ.** Firma:

Profesión: Ingeniero Civil, C.c.: 5.468.552

Título de post-grado: Magister en Ingeniería Vial Matrícula Profesional No. 54202-106833 NTS

REPÚBLICA DE COLOMBIA

COPNIA

Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Matrícula Profesional No.

54202-106833 NTS

Fecha de Expedición: 22/[illegible]/2004

Nombre:

SERGIO ANDRES

CLARO LOPEZ

Identificación:

C.C. 5468552

Profesión:

INGENIERO CIVIL

Institución:

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER



VALIDO SOLO PARA EL PROYECTO ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑOS PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LA VÍA TAME - PUERTO RONDÓN, DEPARTAMENTO DE ARAUCA



REPUBLICA DE COLOMBIA
IDENTIFICACION PERSONAL
CEDULA DE CIUDADANIA

NUMERO 5.468.552
CLARO LOPEZ
APELLIDOS
SERGIO [illegible]
NOMBRES
FIRMA

VALIDO SOLO PARA EL PROYECTO ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑOS PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LA VIA TAME – PUERTO RONDÓN, DEPARTAMENTO DE ARAUCA



INDICE DERECHO

FECHA DE NACIMIENTO 18-SEP-1980
OCAÑA
(NORTE DE SANTANDER)
LUGAR DE NACIMIENTO
1.70
ESTATURA
O+
M
23-
[illegible] JUAN
FECHA Y LUGAR DE EXPEDICIÓN

REGISTRADOR NACIONAL
CARLOS ARIEL SÁNCHEZ TORRES

VALIDO SOLO PARA EL PROYECTO ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑOS PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN LA VIA TAME – PUERTO RONDÓN, DEPARTAMENTO DE ARAUCA

A-2505400-00189720-M-0005468552-20091023 0017414516A 1 7600105208

REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2026-4427209

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que SERGIO ANDRES CLARO LOPEZ, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 5468552, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 54202-106833 desde el 22 de Abril de 2004, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 161.

2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.

3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**

4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.

5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los veinticuatro (24) días del mes de Abril del año dos mil veintiseis (2026).

Rubén Dario Ochoa Arbeláez

Firmal del titular (*)

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado
El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.
Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.