



## **ESTUDIO DE POSIBLES RIESGOS GEOTÉCNICOS – CORREDOR VÍA 40 ENTRE SECTOR BARRANQUILLITA Y PUERTA DE ORO**

---

**INE-ES-024-020**

**CLIENTE:** PUERTA DE ORO      **UBICACIÓN:** Barranquilla,

## ***ESTUDIO DE POSIBLES RIESGOS GEOTÉCNICOS***

***INE-ES-024-020***

***PUERTA DE ORO***

***ESTUDIO DE POSIBLES RIESGOS GEOTÉCNICOS – CORREDOR  
VÍA 40 ENTRE SECTOR BARRANQUILLITA Y PUERTA DE ORO  
BARRANQUILLA – ATLÁNTICO V01***

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	11
1. MARCO TEÓRICO .....	13
1.1. RIESGO .....	13
1.2. VULNERABILIDAD.....	14
1.3. AMENAZA.....	15
1.4. RESISTENCIA.....	16
1.5. COMPRESIBILIDAD.....	17
1.6. SISMICIDAD.....	18
1.7. EXPANSIVIDAD .....	20
1.8. DISPERSIVIDAD .....	21
1.9. COLAPSABILIDAD.....	21
1.10. LICUACIÓN .....	22
1.11. REMOCIÓN EN MASA.....	24
2. GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO.....	27
2.2. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	28
2.3. GEOGRAFÍA .....	29
2.4. GEOLOGÍA .....	31
2.5. GEOMORFOLOGÍA .....	37
2.6. CLIMA .....	40
3. CARACTERIZACIÓN DEL SITIO.....	42
4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	46

---

4.1.	RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE .....	46
4.2.	INVESTIGACIÓN DEL SUB-SUELO .....	47
4.2.1.	Exploración con sondeos .....	48
4.2.2.	Ensayos de Laboratorio .....	56
4.3.	ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES RIESGOS.....	57
5.	ESTRATIGRAFÍA Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA .....	58
5.1.	ESTRATIGRAFÍA - Perforaciones propuestas .....	59
5.2.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA - PERFORACIONES PROPUESTAS .....	65
5.3.	ESTRATIGRAFÍA - Lote calle 78a con Vía 40 .....	73
5.4.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA - Lote calle 78a con Vía 40 79	
5.5.	ESTRATIGRAFÍA - Complejo industrial Vía 40 # 77B - 20 ...	84
5.6.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA - Complejo industrial Vía 40 # 77B - 20 .....	90
5.7.	ESTRATIGRAFÍA - Box Calle 72 .....	94
5.8.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA - Box Calle 72 .....	102
5.9.	ESTRATIGRAFÍA - Intersección entre Cll 72 y Vía 40 .....	105
5.10.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA - Intersección Cll 72 con Vía 40 .....	109
5.11.	ESTRATIGRAFÍA - Puente Cra 54 con vía 40 .....	113
5.12.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA - Puente Cra 54 con vía 40 122	
5.13.	ESTRATIGRAFÍA - Lote Vía 40 # 50B - 54.....	126

---

---

5.14.	CARACTERIZACIÓN GEOTECNICA - Lote Vía 40 # 50B - 54	132
5.15.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA - ZONA ENTRE COMPLEJO INDUSTRIAL VIA 40 # 77B - 20 Y CALLE 72.....	136
5.16.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA - ZONAS ENTRE CALLE 72 Y LOTE VÍA 40 # 50B - 54.....	137
5.17.	ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE RIESGO.....	138
5.17.1.	Licuación.....	139
5.17.2.	Análisis de expansividad.....	146
5.17.3.	Análisis de colapsabilidad.....	153
5.17.4.	Sismicidad.....	157
5.17.5.	Resistencia.....	163
5.17.6.	Dispersividad.....	163
5.17.7.	Remoción en masa.....	164
6.	ANÁLISIS DE INGENIERÍA GEOTECNICA.....	166
6.1.	CONCLUSIONES.....	166
6.2.	POTENCIALES RIESGOS GEOTÉCNICOS Y LOCALIZACIÓN APROXIMADA.....	168
7.	LIMITACIONES.....	175

## LISTA DE TABLAS

Tabla 4-1 Coordenadas, profundidades sondeos ejecutados y nivel de aguas subterráneas .....	50
Tabla 4-2 Normas utilizadas .....	57
Tabla 5-1 Compacidad del suelo con base en el ensayo SPT .....	68
Tabla 5-2 Consistencia evaluada con base en el ensayo de penetración normal para suelos cohesivos .....	69
Tabla 5-3 Potencial expansivo de suelos cohesivos .....	70
Tabla 5-4 Arenas limosas, arenas limosas bien gradadas, arenas limosas mal gradadas, arenas mal gradadas .....	71
Tabla 5-5 Arena limo arcillosa y arena arcillosa .....	72
Tabla 5-6 Arcillas y limos de alta compresibilidad .....	73
Tabla 5-7 Arenas arcillosas y limo-arcillosas .....	82
Tabla 5-8 Arena limosa, arenas limosas bien y mal gradadas, y arenas mal gradadas .....	83
Tabla 5-9 Arena limosas, arenas limosas mal y bien gradadas .....	93
Tabla 5-10 Arena arcillosas, arenas limo arcillosas y caliche limo arcilloso .....	94
Tabla 5-11 Arenas limosas, arenas limosas bien gradadas, arenas mal y bien gradadas .....	112
Tabla 5-12 Arenas arcillosas y limo arcillosas .....	113
Tabla 5-13 Caliches tipo Arenas Arcillosas mal y bien gradadas .....	124
Tabla 5-14 Caliches tipo Arenas Limosas y Arenas Limosas bien y mal gradadas .....	125
Tabla 5-15 Caliches tipo Arenas Limo-Arcillosas .....	126
Tabla 5-16 Arenas limosas, arenas limosas mal y bien gradadas y arenas pobremente gradadas .....	134

Tabla 5-17 Arenas arcillosas y arenas limo-arcillosas .....	135
Tabla 5-18 Análisis Presión de Expansión y Humedad de equilibrio	151
Tabla 5-19 Cálculo de colapsabilidad .....	154
Tabla 5-20 Valor de $A_a$ y $A_v$ para las ciudades capitales de departamento .....	161
Tabla 5-21 - Perfiles de suelos .....	162

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 Análisis de la capacidad de carga según Terzaghi .....	17
Figura 1-2 Principales sistemas de fallas geológicas activas en Colombia .....	19
Figura 2-1 Localización del proyecto .....	29
Figura 2-2 Mapa geológico de la ciudad de Barranquilla. ....	32
Figura 2-3 Depósitos de suelo en la zona de estudio .....	36
Figura 2-4 Morfología de la margen izquierda del río Magdalena sobre la ciudad de Barranquilla .....	38
Figura 3-1 Corredor de estudio.....	43
Figura 3-2 Zona sur del corredor de estudio .....	44
Figura 3-3 Corredor de estudio - Sector cercano a Puerta de Oro ....	45
Figura 4-1 Ubicación de los sondeos realizados.....	49
Figura 4-2 Ubicación de los sondeos realizados proyectos de la zona (entre Puerta de Oro y Quintal S.A.) .....	51
Figura 4-3 Ubicación de los sondeos realizados proyectos de la zona (entre la cll 72 y Cra 65) .....	52
Figura 4-4 Ubicación de los sondeos realizados proyectos de la zona (entre la cll 45 y el museo Gabriel García Márquez) .....	53
Figura 4-5 Esquema de cuchara partida (SPLIT SPOON) .....	54
Figura 4-6 Esquema ensayo SPT .....	55
Figura 5-1 Estratos rocosos tipo coralina color amarillo, identificados durante las exploraciones.....	60
Figura 5-2 Ubicación lote de estudio .....	74
Figura 5-3 Estudio en Complejo industrial Via 40 # 77B - 20 .....	85
Figura 5-4 Ubicación Estudio en Box Culvert.....	95
Figura 5-5 Diferencia de condiciones en la zona .....	101
Figura 5-6 Ubicación perforaciones Cll 72 con Vía 40 .....	105



Figura 5-7 Ubicación perforaciones para intersección Via 40 con Cll 54 .....	114
Figura 5-8 Ubicación estudio Lote Vía 40 # 50B - 54.....	127
Figura 5-9 Análisis de licuación - Sondeo 1 .....	140
Figura 5-10 Análisis de licuación - Sondeo 2 .....	141
Figura 5-11 Análisis de licuación - Sondeo 3 .....	142
Figura 5-12 Análisis de licuación - Sondeo 6 .....	143
Figura 5-13 Análisis de licuación - Sondeo 7 .....	144
Figura 5-14 Análisis de licuación - Sondeo 8 .....	145
Figura 5-15 Humedad de equilibrio vs Humedad natural en estratos cohesivos .....	148
Figura 5-16 Aceleración máxima del terreno para las capitales de los departamentos de Colombia, para un periodo de retorno de 475 años .....	158
Figura 5-17 Curva de amenaza sísmica ciudad de Barranquilla .....	159
Figura 6-1 Zonificación de suelos potencialmente licuables .....	171
Figura 6-2 Zonificación de suelos potencialmente expansivos .....	172
Figura 6-3 Zonificación de suelos potencialmente colapsables .....	173
Figura 6-4 Zonificación de suelos conformados por materiales inadecuados (basuras, escombros, etc.) .....	174

## INTRODUCCIÓN

Este documento registra información sobre la investigación realizada por Ineica Ltda, pertinente al análisis de potenciales riesgos geotécnicos en el corredor comprendido en longitud desde el centro de eventos Puerta de Oro y el sector de Barranquillita, y en la dirección transversal entre la Vía 40 y la Avenida Gran Malecón. El informe se presenta en junio del presente año, atendiendo la solicitud formulada por la empresa Puerta de Oro a través del ingeniero David Blanco.

Este informe incluye las generalidades del estudio, los objetivos y alcances que lo delimitaron y el marco teórico relevante para los análisis establecidos. Para esta entrega, fue empleada información obtenida por sondeos realizados en el sector objeto de estudio, complementado con prospecciones de otros proyectos llevadas a cabo por INEICA LTDA, con el fin de identificar potenciales riesgos geotécnicos.

En la parte final se realiza un análisis de ingeniería, donde se describen las conclusiones derivadas de los estudios recopilados, complementadas con lo estipulado en la norma NSR-10 en lo

pertinente a problemas geotécnicos relacionados con fenómenos de licuación y colapso.

## **1. MARCO TEÓRICO**

Considerando la tipología, objetivos y alcances de la investigación, resulta procedente definir algunos conceptos relevantes para la comprensión de los análisis desarrollados y los resultados obtenidos.

### **1.1. RIESGO**

El Riesgo se puede definir como una expresión de la severidad de un evento particular, generalmente medida en términos económicos, daño físico o vidas perdidas.

Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a eventos físicos peligrosos en un periodo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.

La cuantificación del riesgo es asociada a la probabilidad de ocurrencia de eventos negativos para los componentes materiales, sociales o ambientales, ya sea mediante el análisis de un escenario

determinado o múltiples escenarios con probabilidades de ocurrencia específicas. En términos cuantitativos el riesgo se define como el producto de la probabilidad de ocurrencia de un evento específico por la vulnerabilidad del elemento y el valor del elemento o elementos expuestos. Generalmente expresado en términos de pérdida anual esperada.

Resulta indispensable conocer el nivel de riesgo para un fenómeno y zona específica, con el fin de realizar una adecuada gestión del riesgo por medio de acciones de mitigación y designación de recursos.

## **1.2. VULNERABILIDAD**

Este concepto está estrechamente ligado a la susceptibilidad que presentan los elementos expuestos en desarrollar afectaciones ante la ocurrencia de un evento físico determinado. Siendo una medida de la facilidad en la generación de perjuicios de carácter económico, social, físico o ambiental.

Es necesario aclarar, que para este informe no serán definidos niveles de vulnerabilidad según lo demanda un estudio de riesgo (escala cualitativa con las categorías de alta, media o baja).

### 1.3. AMENAZA

La guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, define el concepto de amenaza como el peligro latente de la ocurrencia de un fenómeno físico, ya sea de origen natural o antrópico, cuya severidad sea tal que pueda causar daños o pérdidas, humanas, en infraestructura, en la prestación de servicios o en el medio ambiente.

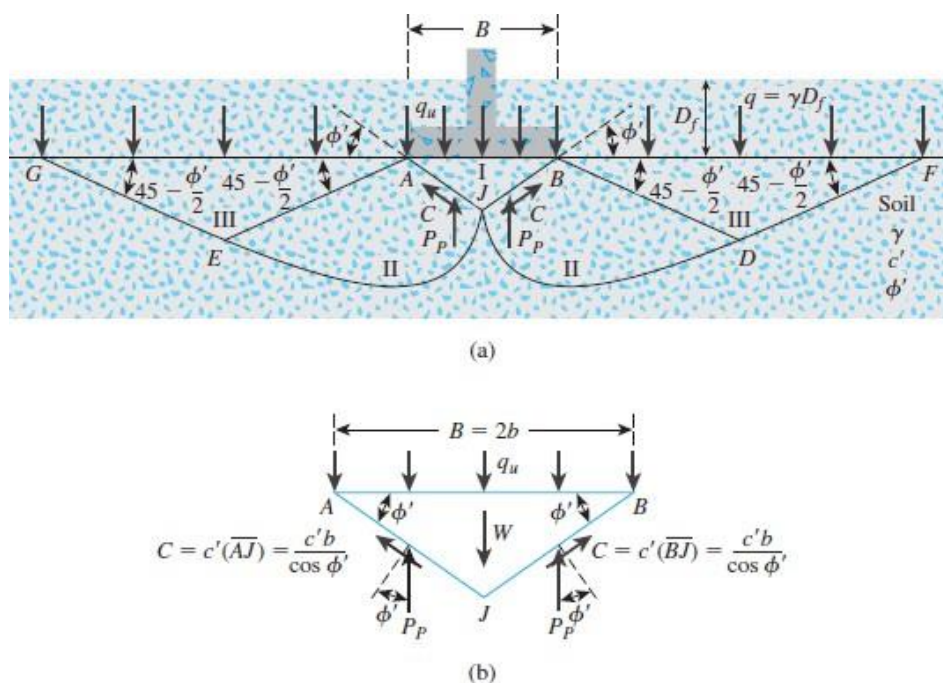
El nivel de amenaza se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno que presente las características descritas, considerando la distribución espacial, clasificación y magnitud de la amenaza. Se establecen tres categorías, de manera cualitativa, para definir el nivel de amenaza: bajo, medio y alto. Para este informe, por el alcance establecido, no serán estimados las categorías que corresponden a cada riesgo.

Los elementos que pueden ser afectados ante la ocurrencia de un fenómeno considerado en el análisis de amenaza, son identificados como elementos expuestos, incluyendo: personas, infraestructura, medios ambientales, económicos y sociales, cuya localización se encuentre en el área de efecto del fenómeno analizado.

## **1.4. RESISTENCIA**

Para la mayoría de los proyectos a realizar (vías, estructuras, puentes, etc), se considera una propiedad del suelo imperante a determinar con el fin de garantizar la estabilidad de los mismos.

En el ejercicio de la ingeniería, está ligado a las solicitaciones de carga que un suelo pueda soportar hasta alcanzar un estado límite, o una falla que provoque afectaciones al proyecto o elementos adyacentes. Esto, complementado con las deformaciones en el suelo generadas a causa de estas condiciones, permiten al ingeniero establecer las recomendaciones adecuadas para garantizar la estabilidad de una obra.



**Figura 1-1 Análisis de la capacidad de carga según Terzaghi**

**Fuente: Das, Braja.**

## 1.5. COMPRESIBILIDAD

Ligado al concepto anterior, nuevas solicitaciones de carga en un suelo (normalmente el incremento de estas) generan en la matriz del suelo, deformaciones. Según Braja, en el libro “Principles of Foundations Engineering”, la compresión es causada por (a)

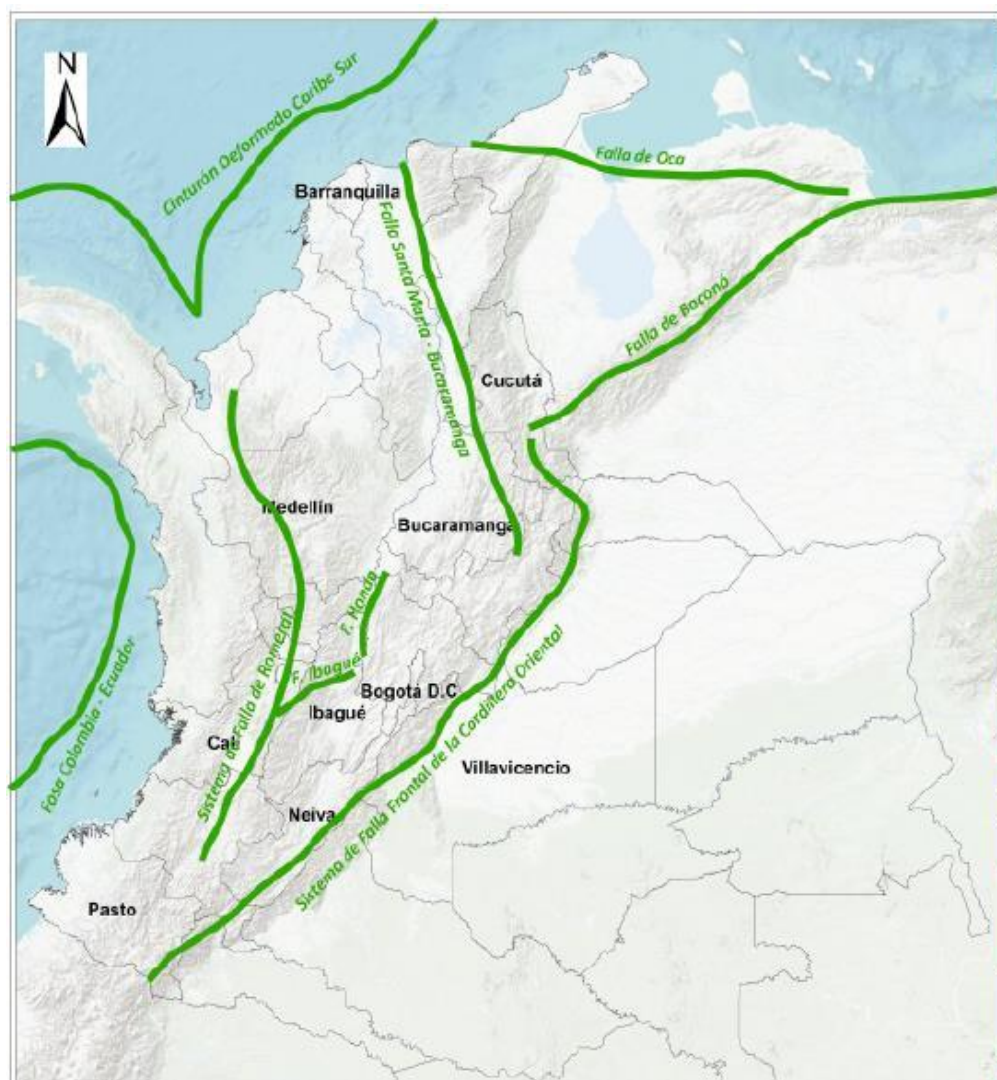


deformación de las partículas del suelo, (b) reubicación de las partículas del suelo, y (c) la expulsión del agua y aire de sus vacíos.

Es importante conocer en una matriz de suelos la magnitud de sus asentamientos ante sollicitaciones de carga, para determinar recomendaciones que las limiten a magnitudes admisibles para las estructuras.

## 1.6. SISMICIDAD

El concepto de sismicidad está estrechamente relacionado con la ubicación geográfica del lugar de estudio, debido a que se analiza la actividad de las placas tectónicas cercanas, las cuales se encuentran en constante interacción, liberando energía y provocando eventos de excitación sísmica denominados **sismos**.



**Figura 1-2 Principales sistemas de fallas geológicas activas en Colombia**

**Fuente: Sistema Geológico Colombiano.**

Sin embargo, de manera local, la propagación de los mismos y las posibles afectaciones a estructuras aledañas, depende de la naturaleza del suelo, y se analiza teniendo en cuenta diferentes factores del mismo, como su compacidad o consistencia (si se trata de un estrato granular o cohesivo respectivamente).

### **1.7. EXPANSIVIDAD**

Esta propiedad está ligada a estratos cohesivos, los cuales experimentan cambios de volumen a causa de variaciones en su contenido de humedad: se contraen con la pérdida de humedad y se expanden cuando esta aumenta.

Los cambios en el contenido de humedad se relacionan, además de la naturaleza del suelo, con los efectos externos de tipo climáticos, los cuales puedan generar flujos hacia el interior del suelo, o modificar la ubicación del nivel freático en la zona. La ganancia de agua en la matriz de suelo estará ligada a la denominada “humedad de equilibrio”, que, según la norma NSR-10, se define como aquella que corresponde a la aridez natural del suelo por agua.

## **1.8. DISPERSIVIDAD**

En el ejercicio de la ingeniería, la norma de diseño colombiana NSR-10 identifica los suelos erodables como arenas muy finas o limos no cohesivos que se ven afectados ante la presencia de agua.

A continuación, se enumeran los tipos de suelos sensibles a la presencia de agua:

- Suelos dispersivos: Arcillas cuya concentración de sales de sodio (Na) en el agua intersticial pasa de 40% a 60% del total de sales disueltas.
- Suelos erodables: Arenas finas, polvo de roca, limos no cohesivos y depósitos eólicos, propios de ambientes aluviales tranquilos y constantes que resultan en una granulometría relativamente homogénea.

## **1.9. COLAPSABILIDAD**

Acorde con la norma NSR-10, la condición de suelos colapsables se relaciona normalmente con depósitos formados por arenas y limos, algunos casos con presencia de acillas y sales (carbonato de calcio), que en estado seco pueden llegar a resistir grandes sollicitaciones de

carga, pero que puede verse disminuida por la ganancia de humedad o la saturación.

En el ejercicio de la ingeniería, es posible identificar cuatro tipos principales de suelos colapsables:

- Suelos aluviales y coluviales
- Suelos eólicos
- Cenizas volcánicas
- Suelos residuales

En la identificación de esta condición desfavorable, es pertinente estimar la severidad y la deformación del suelo por colapso (ver numeral H.9.3, capítulo H de la norma NSR-10).

## **1.10. LICUACIÓN**

Según la norma de diseño sísmo resistente, NSR-10, suelos granulares que soporten cargas externas y/o sufran de excitación a causa de eventos sísmicos son factibles de presentar licuación, en condiciones saturadas y con un lento proceso de drenaje. En este fenómeno el suelo sufre un aumento en la presión de poros y a la vez una disminución de su esfuerzo efectivo, lo que genera la flotación de las partículas del suelo.

La norma en mención elabora un listado de depósitos susceptibles a la licuación:

- Suelos del Holoceno son más susceptibles que los del Pleistoceno, y la licuación de depósitos de edades anteriores no es común.
- Suelos saturados, o cerca de la saturación.
- Depósitos fluviales, coluviales, granulares, eólicos.
- Depósitos de abanicos aluviales, planicies aluviales, playas, terrazas y estuarios.
- Arenas finas y arenas limosas, relativamente uniformes, con densidad entre suelta y media.
- Depósitos bien gradados con tamaños hasta de gravas, gravas arenosas y gravas areno-limosas. Para estos grupos, la norma considera que son menos susceptibles de presentar licuación, pero debe ser chequeado.
- Limos, limos arcillosos y arcillas limosas, de baja plasticidad y con la humedad natural cercana al límite líquido.
- Suelos con partículas redondas son más susceptibles que suelos con partículas angulares, Suelos con partículas micáceas, propios de suelos volcánicos, son más susceptibles.
- Cuando el depósito está en condición seca o con bajo grado de saturación, se genera un proceso de densificación con las

consecuentes deformaciones permanentes del terreno y estructuras apoyadas en él.

### 1.11. REMOCIÓN EN MASA

En lo concerniente a proyectos de ingeniería, son comúnmente aceptadas definiciones para el concepto de remoción en masa como **procesos y fenómenos de remoción en masa, deslizamientos o fallas de taludes y laderas. incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efecto de la gravedad.**

El fenómeno de remoción en masa está estrechamente ligado a la composición geológico-geotécnica del terreno, su configuración topográfica, fenómenos ambientales como lluvias o eventos sísmicos; sin embargo, puede ser causado por medios antrópicos, cuando estos afecten las características del terreno como puede ser durante un proceso de excavaciones o corte del terreno.

Terzaghi (1950) define dos tipos generales para las fallas de taludes o laderas, asociadas al fenómeno de remoción en masa.

- **Deslizamiento:** Son eventos de naturaleza relativamente rápida al momento que los esfuerzos en el sub-suelo superan la resistencia al corte de los materiales constituyentes del terreno. Son causados generalmente por acción de la gravedad y la ocurrencia de eventos sísmicos o hidrológicos severos. Este mecanismo de falla suele desarrollarse en masas de suelo relativamente pequeñas, sobre planos claramente definidos.
- **Creep:** Se refiere a procesos lentos, poco perceptibles al corto plazo, que abarcan grandes extensiones sin límites claros entre el material estático y aquel que se traslada. Suelen generarse por deformaciones excesivas en estratos blandos, producto de cargas permanentes o de efectos climáticos que generen expansiones y contracciones de los materiales del sub-suelo (lluvias intensas y sequías, respectivamente)

Por su parte, Varnes (1958) clasifica los movimientos en masa según su mecanismo de falla como: Caídas, desplazamientos y por incremento en el contenido de humedad. Los primeros corresponden a caídas de suelo o roca por aumentos de la presión hidrostática y/o socavación por corrientes superficiales.



Los desplazamientos, incluyen los hundimientos, deslizamientos de suelo o rocas y propagación lateral, producidos por flujo de tierras o detritos en profundidad, discontinuidades y fallas localizadas.

Aquellos movimientos derivados de incrementos en el contenido de humedad del suelo, suelen darse en materiales no consolidados y se registra en esta categoría el flujo superficial de suelo o rocas, avalanchas y corrimientos de arenas.

En este informe serán utilizadas, entre otras, las definiciones mencionadas en este aparte, para la descripción del fenómeno de remoción en masa y la categorización de este según las condiciones del terreno en estudio. Así mismo, serán definidos, entre otros, los aspectos considerados pertinentes en lo concerniente al fenómeno de remoción en masa: Formación geológica, Tectónica y fracturación, Topografía, Clima e hidrología, Sismicidad y Efectos antrópicos.

## **2. GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO**

El objetivo principal del estudio es identificar potenciales riesgos geotécnicos en el corredor, entre Puerta de Oro y el sector de Barranquillita, derivados de la naturaleza del suelo presente en la zona.

Para dar cumplimiento a este objetivo, se desarrollaron las siguientes actividades.

- Recopilar información disponible sobre estudios geotécnicos en la zona de interés, realizados por parte de Ineica Ltda y otras firmas locales o foráneas.
- Realizar una exploración complementaria de campo, (prospecciones y estudios geofísicos), para determinar la constitución geotécnica del terreno.
- Ejecutar las pruebas de laboratorio a las muestras recuperadas.
- Establecer las condiciones de las aguas libres subterráneas, incluyendo posibles fluctuaciones y su incidencia para que ocurran eventos desfavorables.

- Determinar la estratigrafía del terreno.
- Establecer propiedades geotécnicas de los suelos a partir de los ensayos de campo y laboratorio realizados, pertinentes para determinar posibles riesgos geotécnicos que puedan generar afectaciones en la zona.
- Identificar zonas de posibles riesgos a lo largo del corredor.

## **2.2. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO**

El área de estudio está ubicada en la zona oriental de la ciudad de Barranquilla, sobre el corredor Vía 40. El sector ha sido de gran importancia para el desarrollo de la ciudad, debido al uso del suelo al que se le ha destinado: Sobre todo el corredor vial, entre Barranquillita y Las Flores es posible observar grandes industrias, terminales marítimos, concesionarios, entre otros, que impulsan la economía de Barranquilla y la región. Además, en los últimos años ha tenido una importante valorización, dado que ha sido epicentro de importantes proyectos civiles como son el Malecón y el Centro de Convenciones Puerta de Oro, que engalanan y compensan la actividad industrial y comercial.



**Figura 2-1 Localización del proyecto.**

**Fuente: Elaboración propia en Google Earth ®.**

## **2.3. GEOGRAFÍA**

En un marco más general, Barranquilla está localizada en el vértice nororiental del departamento del Atlántico, sobre la orilla occidental del río Magdalena, a 7.5 km de su desembocadura en el mar Caribe.

Barranquilla se encuentra a una latitud 10° 59' 16" al norte de la línea ecuatorial y una longitud de 74° 47' 20" al occidente de Greenwich, tomando como referencia la plaza de la Paz, punto cero de la ciudad.

El área urbana está edificada sobre un plano ligeramente inclinado cuyas alturas extremas, según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, son 4 msnm al oriente y 98 msnm al occidente. Otras fuentes señalan alturas accidentales en las lomas, hasta de 120 metros fuera de la ciudad. La altura de la ciudad varía entre los 0 msnm en el tajamar occidental, hasta máximo 142 msnm en el barrio Los Nogales.

Barranquilla limita al este con el departamento del Magdalena (con el río Magdalena como límite natural), al norte con el municipio de Puerto Colombia y con el Mar Caribe (predios de la ciénaga de Mallorquín, tajamar occidental y Puerto Mocho), al occidente con los municipios de Puerto Colombia, Galapa y Tubará y al sur con el Municipio de Soledad.

## 2.4. GEOLOGÍA

### - Geología Regional

El Departamento del Atlántico se empezó a formar en la era terciaria, con una edad aproximada de 65 millones de años. Primero se formaron las cadenas de serranía de Luruaco y Tubará.

Los terrenos planos se modelaron en el cuaternario, hace entre 2 y 3 millones de años. En el Departamento afloran rocas sedimentarias que varían desde el paleoceno hasta el cuaternario reciente y fueron depositadas en ambientes de dominio marino de margen continental.

El área metropolitana de Barranquilla se localiza en el extremo norte del departamento del Atlántico, a orillas del Mar Caribe y el río Magdalena, dominada por un paisaje de laderas en la zona occidental y planicies inclinadas hacia el oriente. Barranquilla presenta una gran extensión de depósitos que datan del Pleistoceno, correspondientes a la Formación La Popa (Qpp). Estos se extienden aproximadamente desde la zona de colinas al occidente hasta el extremo oriental de la ciudad, limitando con una franja de depósitos de Llanura de Inundación (Qli), a orillas del río Magdalena.





Holoceno. En los alrededores de la ciénaga de Mallorquín, afloran depósitos de tipo Qli, aunque también son catalogados por algunos autores como depósitos fluviolacustres (Qfl), los cuales hacen parte de los sedimentos recientes.

### **Formación Las Perdices (PgNgp)**

Se ubica entre el Oligoceno superior y el Mioceno Inferior a Medio, con estratos de aproximadamente 400 metros de espesor. Consta de esquistos arcillosos, arenosos y capas delgadas de arenitas cuarzosas. En ella se encuentran fragmentos de fósiles marinos como algas, moluscos y esponjas.

### **Formación La Popa (Qpp)**

Constituyen calizas arrecifales terrígenas, con abundantes bioclastos de corales, algas y moluscos, en capas gruesas. También se encuentran areniscas friables y limolitas calcáreas. En su porción inferior está compuesta por 18 metros de calizas muy terrígenas color gris amarillento a amarillo grisáceo, bastante bioperturbadas y arenitas muy calcáreas de grano fino, con algunos granos gruesos y gránulos, muy deleznales (arenas), con abundante matriz calcárea y



ocasionalmente presenta fragmentos de moluscos pequeños (Barrera 2001).

El tiempo cronológico de esta formación ha sido motivo de controversia, desde Anderson (1926) quién la ubicó en la época del Plioceno. Posteriormente Link (1927) la ubicó en la edad Pleistoceno Inferior. Royo y Gómez (1942) concordaron en el período Mioceno Superior. Barrera establece que la formación la Popa está ubicada en la época del Pleistoceno con base en la posición estratigráfica y la microfauna analizada por el Ingeominas (A. Molina et al. 1999).

### **Depósitos coluvio-aluviales (Qcal)**

Depósitos de derrubios acumulados en los cauces de los actuales arroyos y los valles intermontanos estrechamente relacionados a dichos arroyos localizados entre las colinas. Estos valles pueden alcanzar en algunos casos hasta alcanzar en algunos casos hasta cinco kilómetros de longitud.

### **Depósitos eólicos (Qe)**

Sedimentos correspondientes a grandes cuerpos de dunas antiguas estabilizadas, adyacentes al margen occidental del río Magdalena. Están constituidos por arenas de grano fino a medio, constituidas

principalmente por cuarzo y feldespatos, de color blanco amarillento. Su espesor es inferior a 20 metros.

### **Depósitos fluviolacustres (Qfl)**

Estos tipos de depósitos ocurren en las márgenes del río Magdalena así como en sus orillales y en las ciénagas asociadas. En imágenes de satélite permiten apreciar geoformas tales como barras de meandros con su forma característica de media luna, islas interiores del cauce del río. Los sedimentos asociados al lecho actual del río Magdalena están constituidos por arenas de grano fino a medio, de color gris amarillento compuesta por fragmentos líticos de cuarzo, chert, entre otros, de forma subangular a subredondeada, con buena selección. Los sedimentos asociados a ciénagas tienden a ser más arcillosos con materia orgánica, ocasionalmente arenosas, de color gris parduscas a pardo rojizas.

## - Geología del Sector



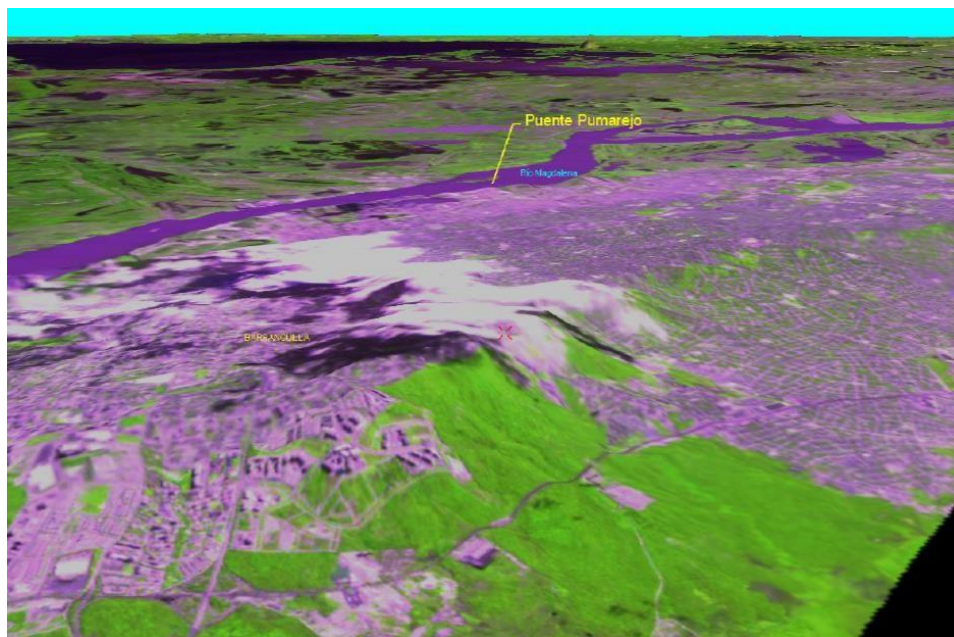
**Figura 2-3 Depósitos de suelo en la zona de estudio**

**Fuente: Servicio Geológico Colombiano**

Los depósitos de suelo existentes sobre el corredor de la vía 40 están conformados por depósitos paludales que datan del período Holoceno. Esta unidad se simboliza como **Q2-I**.

## 2.5. GEOMORFOLOGÍA

La morfología, composición, origen y estructura geológica de la margen izquierda y derecha del río Magdalena en los límites de la ciudad de Barranquilla, son diferentes. Por la margen izquierda sobre la cual se ubica la ciudad de Barranquilla, se presenta una morfología de laderas inclinadas hacia el Este de forma recta a suavemente ondulada, tal como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 2-4 Morfología de la margen izquierda del río Magdalena sobre la ciudad de Barranquilla**

Esta morfología está contralada estructuralmente por las rocas sedimentarias del Terciario de la Formación Hibacharo (N1h). La Formación Hibácharo está constituida por capas gruesas a muy gruesas de areniscas líticas, grano fino a conglomerático; interestratificadas con arcillolitas y lodolitas, dispuestas en capas gruesas a medias, color predominante verde oliva. Hacia el techo, suprayacen areniscas conglomeráticas con abundantes fragmentos fósiles de moluscos y algunas calizas (Ingeominas, 2004). El espesor máximo medido para la Formación Hibácharo es del orden de 400 m

en las cercanías a Hibácharo y su génesis se relaciona a un ambiente marino de plataforma.

La inclinación de las capas de esta formación hacia el Este es la que desarrolla la ladera inclinada de Barranquilla. Sobre estas rocas se presentan depósitos coluvio-aluviales (Qca) formados por procesos denudacionales de las rocas infrayacentes de la Formación Hibacháro. Se compone de fragmentos de areniscas calcáreas y calizas en una matriz limo arcillosa de color amarillento moderadamente compacta. Sobre estos materiales se presentan depósitos fluviotorrenciales particularmente sobre los caños, hoy en gran parte intervenidos por la ciudad. Se estima que el espesor de estos depósitos aumenta pendiente abajo y pueden alcanzar los 20 metros.

El río Magdalena, en su curso natural formado por un lecho mayor de unos 2 km de ancho y parcialmente intervenido por la ciudad, se componen de materiales de origen aluvial o fluvial recientes que cubren las anteriores litologías. Se componen de arenas y limos sueltos a poco compactos con niveles de arcillas amarillas. El espesor de estos materiales es variable, pero en sus zonas más espesas puede alcanzar los 12 metros. Sobre la margen derecha del río Magdalena se presentan materiales del cuaternario de origen lacustre marino y fluvial (Qfl) del antiguo delta del río Magdalena. Allí predominan la fracción más fina como lodos y arcillas ricas en materia



orgánica de consistencia plástica. De acuerdo a lo anterior en el lecho mayor del río Magdalena, bajo sus depósitos aluviales del lecho mayor existe dos escenarios geológicos: por su margen izquierda predominan los depósitos coluvio – aluviales con una matriz amarilla limo arcillosa y sobre su margen derecha los depósitos marino lacustres y fluviales lodosos.

## **2.6. CLIMA**

El clima es un factor que influye en gran medida en la formación del suelo, la cobertura vegetal y el paisaje. En Barranquilla, el clima es bastante homogéneo a lo largo de todo el año y está caracterizado como clima tropical seco. En este ambiente se desarrolla una vegetación propia de condiciones de mucha sequía y elevadas temperaturas.

La temperatura se mantiene más o menos constante durante el año y es bastante elevada, esta puede ser modificada por los vientos provenientes de territorio oceánico y continental. La temperatura media anual es de 24.7 °C, con medias mínimas de 26.6 °C y máximas de 28.1 °C. Sin embargo, se han registrado temperaturas máximas absolutas de 33.9 °C y mínimas absolutas de 17.7 °C. La humedad

relativa varía entre 77 % y 84 %, presentándose los mayores registros entre los meses de septiembre y noviembre.

Entre los meses de noviembre y abril, se presentan los vientos alisios del norte, los cuales coinciden con el invierno boreal. Este evento ayuda a mitigar en parte el intenso calor de la ciudad en este período del año. Hacia finales del mes de junio, tienen lugar los vientos alisios del sur, los cuales producen el Veranillo de San Juan, por lo cual se registran sensaciones térmicas bajas.

El promedio anual de precipitaciones en la ciudad es de 821 mm. El régimen de precipitaciones presenta dos períodos marcados: el período seco y el período húmedo. El primero comienza a partir de los primeros días de diciembre hasta mediados o finales de abril. El período húmedo, comienza a finales de abril y finaliza a principios de diciembre, con tendencia a disminuir en intensidad en los meses de junio, julio y mediados de agosto, denominado como el veranillo de San Juan. Los mayores valores de precipitación ocurren en los meses de septiembre y octubre, manifestándose en precipitaciones torrenciales, de corta duración.



### 3. CARACTERIZACIÓN DEL SITIO

El corredor objeto de estudio se ubica en la zona oriental de la ciudad de Barranquilla, y se caracteriza por presentar una topografía plana. Por este aspecto, gran parte del proceso de drenaje en la capital del departamento del Atlántico se realiza hacia esta zona, donde se encuentra el río Magdalena.

A lo largo del corredor es posible observar poca cobertura vegetal, dada la presencia de estructuras, complejos industriales y el corredor vial. Sin embargo, hacia el río y en cercanías al Malecón, se han llevado a cabo programas de reforestación, para el embellecimiento de esta, como zona turística.

Cabe resaltar la importancia del corredor en la ciudad, que, además de ser una importante arteria vial, sobre ella se ubica un importante sector industrial que ha impulsado el desarrollo en la economía de Barranquilla y la región caribe. Además, en los últimos años, se han presentado proyectos de mejoramiento en la margen izquierda del río, de los cuales destaca el Megaproyecto “Malecón de la Avenida del Río”.



*A la altura de La Base Naval*



*Vía 40 con Cra 53B*

### **Figura 3-1 Corredor de estudio**

**Fuente: Elaboración propia en Google Earth ®.**



*Sector cercano a la Intendencia Fluvial*



*Sector Barranquillita*

### **Figura 3-2 Zona sur del corredor de estudio**

**Fuente: Elaboración propia en Google Earth ®.**



*Acceso sobre la Cll 78a al Malecón*



*En cercanías a Puerta de Oro*

### **Figura 3-3 Corredor de estudio – Sector cercano a Puerta de Oro**

**Fuente: Elaboración propia en Google Earth ®.**



## **4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Para la investigación se utilizaron criterios generales de geología y geotecnia, según el estado del conocimiento de estas ciencias y los lineamientos establecidos por el solicitante.

Se realizaron tres actividades complementarias encaminadas a lograr los objetivos planteados, las cuales son: recopilación y análisis de la información disponible, exploración del sub-suelo y análisis geotécnico.

Para esta entrega, el análisis de potenciales riesgos geotécnicos será realizado con información de exploración pertinente recopilada, de estudios sobre el corredor, complementada con las exploraciones de campo realizadas.

### **4.1. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE**

En esta actividad fue llevada a cabo una recopilación de la información relevante para el presente informe de análisis de potenciales riesgos

geotécnicos. Para esta entrega fue tomada en cuenta la información de campo y laboratorio de los siguientes estudios, realizados sobre el corredor de interés:

- Lote CII 78a con Vía 40
- Complejo industrial Vía 40 # 77B - 20
- Box CII 72
- Intersección CII 72 con Vía 40
- Puente Cra 54 con Vía 40
- Lote Vía 40 # 50B - 54

Además, se ejecutó un reconocimiento al sitio del proyecto, en la que se determinaron mediante inspección visual, el estado de las construcciones adyacentes, drenaje y condiciones del terreno.

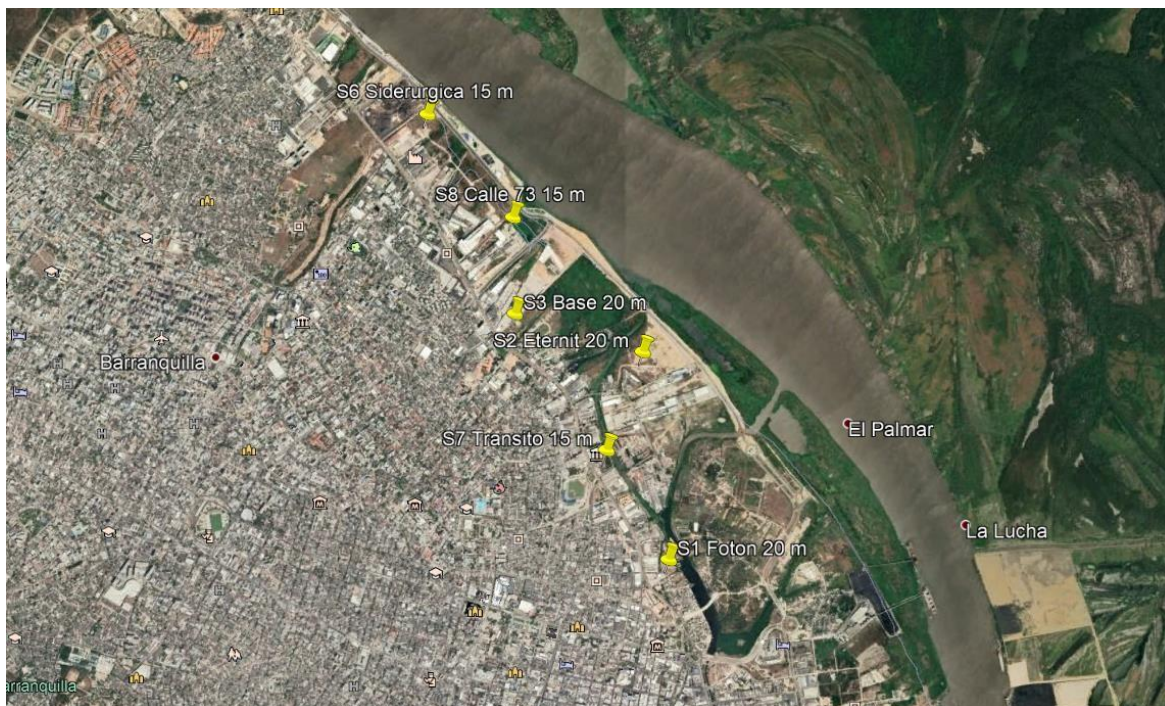
## **4.2. INVESTIGACIÓN DEL SUB-SUELO**

Para los fines pertinentes, fueron propuestas actividades de exploración, para corroborar la constitución del subsuelo en el área de estudio y determinar las propiedades relevantes para el análisis.

#### **4.2.1. Exploración con sondeos**

Para el presente estudio, fueron ejecutados seis (6) sondeos, con profundidades entre 15.0 y 20.0 metros de profundidad, mediante los métodos de percusión y rotación, con el fin de estudiar las características del sub-suelo presente y determinar sus propiedades geotécnicas.

Durante esta etapa, se detectó presencia de nivel freático entre 0.50 y 3.50 metros; destaca, que esto podrá presentar variaciones de acuerdo con la época del año.



**Figura 4-1 Ubicación de los sondeos realizados**

**Fuente: Elaboración propia en Gogle Earth.**

A continuación, se enlista la información de las prospecciones realizadas, con el dato nivel freático, profundidad y coordenadas en formato Magna Sirgas.



**Tabla 4-1 Coordenadas, profundidades sondeos ejecutados y nivel de aguas subterráneas.**

**Fuente: Elaboración propia**

Sondeo	Prof. (m)	Presencia de agua (m)	COORDENADAS	
			Norte	Este
S-1	20.0	3.00	1707190.16	923325.44
S-2	20.0	2.50	1708728,06	923226,12
S-3	20.0	3.50	1709059.48	922370.76
S-6	15.0	2.00	1710400,82	921711,52
S-7	15.0	0.50	1708046,48	922970,71
S-8	15.0	1.50	1709605.06	922309,51

*Por solicitud de la empresa contratante, los sondeos 4 y 5 no se realizaron.*

Además, en las siguientes figuras se ilustran las perforaciones complementarias para el proceso de zonificación del corredor:



**Figura 4-2 Ubicación de los sondeos realizados proyectos de la zona (entre Puerta de Oro y Quintal S.A.)**

**Fuente: Elaboración propia en Gogle Earth.**





**Figura 4-3 Ubicación de los sondeos realizados proyectos de la zona (entre la cll 72 y Cra 65)**

**Fuente: Elaboración propia en Gogle Earth.**



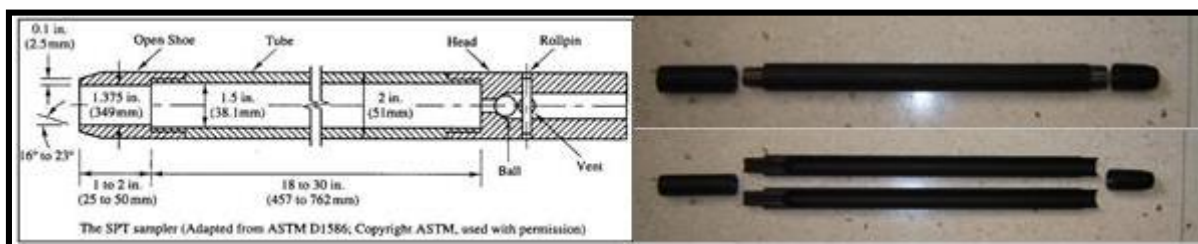


**Figura 4-4 Ubicación de los sondeos realizados proyectos de la zona (entre la cll 45 y el museo Gabriel García Márquez)**

**Fuente: Elaboración propia en Gogle Earth.**

La metodología empleada para la realización de la exploración del subsuelo es la prueba de penetración estándar -SPT-, (ASTM D1586-11). Se tomarán muestras a intervalos de máximo 1.0 m con el toma muestras tipo cuchara partida (Split Spoon, Fig. 3.2). Estas muestras son de naturaleza alterada, consideradas representativas del perfil natural del terreno. Las muestras serán usadas para la clasificación e

identificación de cada estrato de suelo y así obtener una guía de la resistencia in situ del suelo a lo largo de la profundidad explorada.



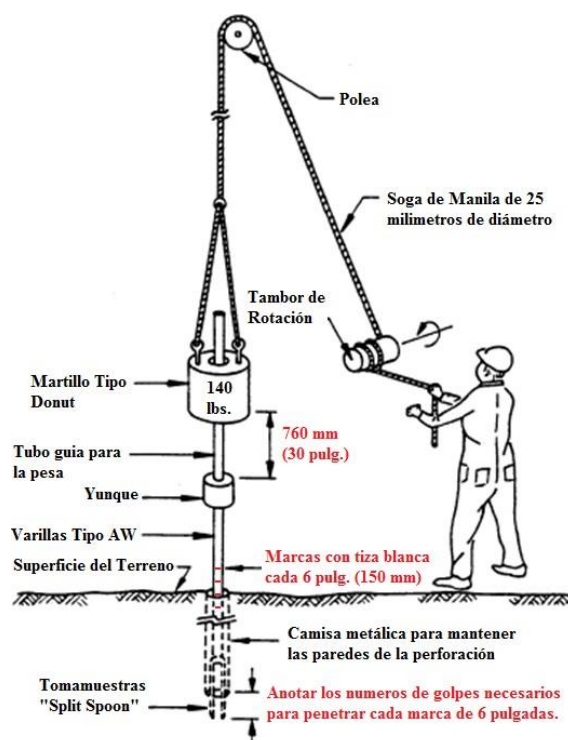
**Figura 4-5 Esquema de cuchara partida (SPLIT SPOON).**

**Fuente: Norma ASTM D 1586.**

Las muestras de suelo extraídas serán descritas en campo siguiendo el procedimiento visual-manual, teniendo en cuenta lo contemplado en la Norma ASTM D2488; para luego ser transportadas y almacenadas en el laboratorio siguiendo lo descrito en la Norma ASTM D 4220-95 (Prácticas estándar para la preservación y el transporte de muestras de suelo).

El método de la prueba SPT ha sido estandarizado desde 1958, con varias revisiones (ASTM D-1586) y consiste (p.ej. Bowles,1988) en hincar un toma muestras partido de 18" (» 45 cm) de largo (Figura N 3-3), colocado al extremo de una varilla AW. La percusión se aplica por medio de un peso (martillo) de 140 lb (» 63.5 kg) que se deja caer

libremente desde una altura de 30" (» 76 cm), anotando los golpes necesarios para penetrar cada 6" (» 15 cm).



**Figura 4-6 Esquema ensayo SPT**

**Fuente: Sísmica de Suelos (México).**

Los resultados obtenidos con la prueba SPT sirven para correlacionar algunas propiedades físicas de los suelos, tales como: peso unitario, densidad relativa, consistencia, ángulo de fricción interna, entre otros;

sin embargo, estas correlaciones se deben hacer con el número de golpes (N) corregido a una energía del 60% (N60) de la energía de la barra.

#### **4.2.2. Ensayos de Laboratorio**

Para la caracterización geotécnica de los materiales que conforman los diferentes estratos se realizarán ensayos de laboratorio sobre las muestras recuperadas: Ensayo de contenido de humedad natural, límites de Atterberg, peso unitario, análisis granulométrico por tamizado con lavado sobre el tamiz #200 y expansividad; según sea la muestra, remoldeada o “inalterada”, serán realizados ensayos de consolidación y compresiones inconfiadas a estratos cohesivos en condición de saturación.

Los resultados de los ensayos de laboratorio realizados serán registrados en tablas los cuales se encuentran en la parte final del presente informe (Ver anexos). Los ensayos realizados y las Normas ASTM bajo las cuales se ejecutaron, se relacionan a continuación:

**Tabla 4-2 Normas utilizadas.****Fuente: Elaboración propia**

<b>Ensayo</b>	<b>NTC</b>	<b>ASTM</b>
Contenido de Humedad natural	1495	D2216
Análisis Granulométrico con lavado	1522	D422
Límites de Atterberg (LL y LP)	4630	D4318
Peso Unitario	92	D7263
Gravedad Específica	-	D2166

#### **4.3. ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES RIESGOS**

Al determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos en estudio y establecer sus parámetros geotécnicos y estratigrafía, se constituye el análisis geotécnico. Su análisis es pertinente para evaluar zonas con posibles riesgos geotécnicos, que puedan afectar el desarrollo en la zona.



## **5. ESTRATIGRAFÍA Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA**

Con la información recopilada de los estudios de suelos realizados en la zona comprendida entre Puerta de Oro y el sector de Barranquillita, se pudo determinar la estratigrafía del subsuelo.

Luego al analizar los resultados de los ensayos (de campo y laboratorio), y utilizando modelos ampliamente aceptados, se definen las características físicas y mecánicas del suelo, pertinente para el análisis de los potenciales riesgos geotécnicos que puedan presentarse en el sector.

Con la información procesada de los estudios previos, en las zonas donde no se cuente con ensayos de campo y laboratorio, será extrapolados los resultados a dichos sectores para definir una gráfica donde se localicen puntos con posibles riesgos geotécnicos. Esto será corroborado con sondeos y los ensayos geofísicos establecidos en el proyecto.

## **5.1. ESTRATIGRAFÍA – Perforaciones propuestas**

Para este numeral, se tuvo en consideración la información de campo y los ensayos de laboratorio realizados, en las perforaciones definidas para el proyecto.

En general, se establece que el sector presenta una composición heterogénea; destaca un primer estrato (hasta 10.0 metros) compuesto en su mayoría por materiales granulares de poca o nula plasticidad (SP, SW-SM, SP-SM y SM) así como arenas arcillosas y limo-arcillosas, con ciertas intercalaciones de materiales cohesivos de baja compresibilidad.

A partir de esta profundidad, se identificaron estratos de roca de tipo coralina, color amarillo, con gran porosidad, con la presencia de estratos granulares.



**Figura 5-1 Estratos rocosos tipo coralina color amarillo, identificados durante las exploraciones**

**Fuente: Elaboración propia.**

### **Perforación N°1**

- 0.00 m - 1.50 m      Arena limosa mal gradada color marrón con presencia de gravas
- 1.50 m - 2.00 m      Caliche tipo arena arcillosa color amarillo con rastros de grava

- 2.00 m - 4.00 m Arena limosa color marrón con rastros de gravas
- 3.50 m - 4.00 m Arcilla de baja compresibilidad color gris
- 4.00 m - 5.50 m Arena limosa color gris
- 5.50 m - 6.00 m Caliche tipo arena arcillosa color blanco
- 6.00 m - 6.50 m Arena limosa bien gradada color gris
- 6.50 m - 8.00 m Caliche tipo arena arcillosa color blanco
- 8.00 m - 9.50 m Arena limosa bien gradada color gris
- 9.50 m - 10.00 m Caliche tipo arena limosa color blanco
- 10.00 m - 15.50 m Roca coralina de color amarillo
- 15.50 m - 17.00 m Arcilla de baja compresibilidad color amarillo
- 17.00 m - 18.50 m Roca coralina de color amarillo
- 18.50 m - 19.00 m Roca triturada tipo arena limosa bien gradada color blanco

## Perforación N°2

- 0.00 m - 0.50 m Caliche tipo arena limo arcillosa color blanco
- 0.50 m - 1.50 m Arena limosa bien gradada color gris
- 1.50 m - 3.00 m Limo de baja compresibilidad color gris

- 3.00 m - 6.00 m Arcilla de baja compresibilidad color gris
- 6.00 m - 10.00 m Arena limosa color gris
- 10.00 m - 14.50 m Formación rocosa color marrón
- 14.50 m - 15.00 m Caliche tipo arcilla de alta compresibilidad color gris
- 15.00 m - 20.00 m Roca coralina color marrón, en matriz de arena

### Perforación N°3

- 0.00 m - 2.00 m Caliche tipo arena limo arcillosa color amarillo con rastros de grava
- 2.00 m - 3.50 m Arena limo arcillosa color gris con presencia de gravas y presencia de humedad
- 3.50 m - 6.00 m Arena limosa bien gradada color gris con presencia de gravas
- 6.00 m - 6.50 m Arena limo arcillosa color gris
- 6.50 m - 10.00 m Arena limosa color gris con rastros de gravas y material orgánico
- 10.00 m - 12.00 m Grava limo arcillosa color amarillo
- 12.00 m - 15.00 m Caliche tipo arena limosa mal gradada

color gris con presencia de gravas

- 15.00 m - 20.00 m Arena limosa mal gradada color gris con presencia de gravas

### Perforación N°6

- 0.00 m - 1.00 m Relleno en arena limo arcillosa color blanco con presencia de gravas
- 1.00 m - 2.50 m Relleno en arena mal gradada color marrón con presencia de gravas
- 2.50 m - 4.00 m Arena arcillosa con presencia de gravas y material orgánico
- 4.00 m - 5.50 m Arcilla de baja compresibilidad color gris con presencia de gravas
- 5.50 m - 8.00 m Arena mal gradada color gris
- 8.00 m - 11.50 m Arena limosa color gris con rastros de gravas
- 11.50 m - 15.00 m Arena limosa color gris

### Perforación N°7

- 0.00 m - 0.10 m Carpeta de asfalto

- 0.10 m - 0.20 m Relleno en arena limosa mal gradada color marrón con presencia de gravas
- 0.20 m - 1.50 m Relleno en arena limosa bien gradada color marrón
- 1.50 m - 4.50 m Arena arcillosa color amarillo
- 4.50 m - 6.50 m Caliche tipo arena arcillosa color amarillo
- 6.50 m - 7.00 m Arena limosa color amarillo con presencia de gravas
- 7.00 m - 8.00 m Roca coralina color amarillo
- 8.00 m - 9.00 m Arena arcillosa color amarillo con presencia de gravas
- 9.00 m - 11.00 m Roca coralina color amarillo
- 11.00 m - 12.00 m Caliche tipo arena limo arcillosa color amarillo con presencia de gravas
- 12.00 m - 13.00 m Roca coralina de color amarillo
- 13.00 m - 15.00 m Caliche tipo arena limosa color amarillo con presencia de gravas

### Perforación N°8

- 0.00 m - 1.00 m Relleno en arena limosa color marrón con presencia de gravas y material orgánico

- 1.00 m - 2.50 m      Arena limosa bien gradada color marrón con presencia de gravas y material orgánico
- 2.50 m - 5.50 m      Arena limosa color marrón con presencia de gravas y material orgánico
- 5.50 m - 6.50 m      Arcilla de baja compresibilidad color gris con rastros de gravas
- 6.50 m - 9.50 m      Arena limosa color gris
- 9.50 m - 12.50 m      Grava limo arcillosa color amarillo
- 12.50 m - 15.00 m    Roca coralina de color amarillo

## 5.2. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA – PERFORACIONES PROPUESTAS

- **Arenas limosas, arenas limosas bien gradadas, arenas limosas mal gradadas, arenas mal gradadas**

Constituyen gran parte de los suelos identificados en las perforaciones realizadas, mayormente en los primeros diez metros y en



intercalaciones con las rocas identificadas posterior a dicha profundidad. Presentan un porcentaje de finos entre 4.8% y 27.9%.

Con los ensayos de laboratorio, se establecieron límites líquidos y límites plásticos de NL a 19% y de NP a 16% respectivamente, obteniendo valores de índice de plasticidad entre NP y 3%.

Acorde con el sistema unificado de clasificación de suelos, presentan las categorías de SP, SW-SM, SP-SM y SM, que corresponden a depósitos granulares de alta permeabilidad y estabilidad volumétrica; en ciertas zonas fueron identificados escombros y material orgánico.

Tomando en cuenta los resultados de número de golpes corregidos del ensayo SPT para este tipo de suelo y según la tabla 5.1, posee una compacidad entre suelta y muy densa.

#### **- Arenas limo arcillosas y arcillosas**

Son suelos de naturaleza friccionante con características plásticas aportada por su fracción de partículas finas. Poseen un contenido de humedad natural entre 3.03% y 56.32% (valores altos a causa de la presencia de nivel freático y, en algunos casos, materia orgánica), así como una cantidad de material fino de 22.80% a 47.80%.

Con base en los ensayos de clasificación realizados a las muestras recuperadas, se obtiene un límite líquido del 19% al 41% así mismo un valor de límite plástico entre 15% y 20%; resultando un índice de plasticidad situado en el rango entre 4% y 22%.

Destacan valores de estratos de arenas arcillosas con límites mayores a 30%, índices de plasticidad mayor a 10% y porcentajes que pasa el tamiz N°200 mayores a 30%. Estos serán considerados como estratos de naturaleza cohesiva, para los análisis de expansión y humedad de equilibrio, a partir de lo establecido en el numeral H.2.5. referente a suelos no cohesivos o granulares y suelos cohesivos, del reglamento NSR-10.

Según el sistema de clasificación de suelos (USCS) estos suelos se simbolizan como **SM-SC** y **SC**. Tomando en cuenta el número de golpes corregido del ensayo SPT realizado en campo, estos suelos presentan una compacidad entre suelta y muy densa, según lo establecido en la tabla 5.1.

**Tabla 5-1 Compacidad del suelo con base en el ensayo SPT****Fuente: Norma ASTM D 1586-84**

<b>NÚMERO DE GOLPES N<sub>160</sub></b>	<b>COMPACIDAD</b>
0 - 4	Muy suelta
4 - 10	Suelta
10 - 30	Mediana
30 - 50	Densa
Mayor que 50	Muy densa

**- Arcillas y limos de baja compresibilidad**

Los estratos identificados en este grupo fueron identificados, en mayor proporción, en los sondeos 1 y 2, mayormente en los primeros metros. Exhiben un contenido de partículas con tamaños inferiores a 0.075 milímetros, expresados en porcentaje del suelo seco, comprendido entre 50.5% y 96.0%. En cuanto a su humedad, esta se describe entre los valores de 21.0% a 59.61%.

Sus características plásticas se establecieron en el laboratorio para la fracción que pasa el tamiz 40, utilizando la metodología de Atterberg y

Casagrande. Se obtuvieron límites líquidos y límites plásticos comprendidos en los rangos de 35% a 45%, y 19% a 28% respectivamente. Su índice plástico alcanzó un valor mínimo de 12% y máximo de 24%.

Según la metodología unificada de clasificación de suelos, se le asignan símbolos de CL y ML. Son suelos poco permeables y generalmente inestables volumétricamente. Según la tabla H.9.1-1 de la NSR-10 su potencial de expansión se cataloga entre bajo y medio.

Su estado de consistencia se encuentra entre muy firme y dura, según la tabla 5.2.

**Tabla 5-2 Consistencia evaluada con base en el ensayo de penetración normal para suelos cohesivos**

**Fuente: Terzaghi, Peck, Mesri.**

No. de golpes, $N_{60}$	Resistencia a la compresión confinada, $q_u$ (kPa)	Consistencia
0 – 2	< 25	Muy blanda
2 – 4	25 – 50	Blanda
4 – 8	50 – 100	Media
8 – 15	100 – 200	Firme
15 – 30	200 – 400	Muy firme
Mayor que 30	>400	Dura

**Tabla 5-3 Potencial expansivo de suelos cohesivos.**

**Fuente: Reglamento NSR – 10.**

Potencial de Expansión	Expansión (%) medida en consolidómetro bajo presión vertical de 0,07 kgf/cm <sup>2</sup>	Límite líquido LL, en (%)	Límite de contracción en (%)	Índice de plasticidad IP, en (%)	Porcentaje de partículas menores de una micra (%)	Expansión libre EL en (%), medida en probeta
Muy alto	> 30	> 63	< 10	> 32	> 37	> 100
Alto	20 - 30	50 - 63	6 - 12	23 - 45	18 - 37	> 100
Medio	10 - 20	39 - 50	8 - 18	12 - 34	12 - 27	50 100
Bajo	< 10	< 39	> 13	< 20	< 17	< 50

A continuación, se presenta un resumen de las características descritas en cada grupo de estratos que conforman el suelo de la zona.

**Tabla 5-4 Arenas limosas, arenas limosas bien gradadas, arenas limosas mal gradadas, arenas mal gradadas**

**Fuente: Elaboración Propia**

PARÁMETRO	MÍNIMO	MÁXIMO
Contenido de humedad (%)	5.51	94.29**
Límite Líquido (%)	NL	19
Límite Plástico (%)	NP	16
Índice de Plasticidad (%)	NP	3
Pasa Tamiz 200 (%)	4.8	27.9
Clasificación U.S.C.S.	SM, SW-SM, SP-SM, SP	
Peso Unitario Húmedo (kN/m <sup>3</sup> )	17.0	19.4
Gravedad específica	2.65	
Angulo de fricción interna* (°)	29°	34°
Coeficiente de Poisson*	0.30	0.34
Módulo de esfuerzo - deformación* (MPa)	8.0	25.0

\*En correlación con el ensayo de penetración normal.

\*\*Presencia de material orgánico

**Tabla 5-5 Arena limo arcillosa y arena arcillosa**

**Fuente: Elaboración Propia**

PARÁMETRO	MÍNIMO	MÁXIMO
Contenido de humedad (%)	3.03	56.32
Límite Líquido (%)	19	41
Límite Plástico (%)	15	20
Índice de Plasticidad (%)	4	22
Pasa Tamiz 200 (%)	22.80	47.80
Clasificación U.S.C.S.	SM-SC, SC	
Peso Unitario Húmedo (kN/m <sup>3</sup> )	17.4	18.5
Gravedad específica	2.68	
Angulo de fricción interna* (°)	28	32
Coeficiente de Poisson*	0.29	0.34
Módulo de esfuerzo - deformación* (MPa)	12.0	26.0

\*En correlación con el ensayo de penetración normal.

**Tabla 5-6 Arcillas y limos de alta compresibilidad**

**Fuente: Elaboración propia.**

PARÁMETRO	MÍNIMO	MÁXIMO
Contenido de humedad (%)	21.0	59.61
Límite Líquido (%)	35	45
Límite Plástico (%)	19	28
Índice de Plasticidad (%)	12	24
Pasa Tamiz 200 (%)	50.5	96.0
Clasificación U.S.C.S.	CL, ML	
Peso Unitario Húmedo (kN/m <sup>3</sup> )	16.6	18.0
Gravedad específica	2.70	2.73
Resistencia a la compresión inconfiada (kPa)	12.50	120.0
Coeficiente de Poisson*	0.3	0.5
Módulo de esfuerzo - deformación* (MPa)	4.0	10.0

\*En correlación con el ensayo de penetración normal

### 5.3. ESTRATIGRAFÍA – Lote calle 78a con Vía 40

La información aquí presente se realizó en un lote en cercanía al Malecón Avenida del Río, a la altura de la calle 78a. Se analiza la



información de la exploración de campo, en el que se llevaron a cabo cuatro perforaciones, con profundidades entre 5.0 y 25.0 metros.



**Figura 5-2 Ubicación lote de estudio**

**Fuente: Elaboración propia en Google Earth ®**

Para esta zona, fueron identificados principalmente estratos granulares netamente friccionantes y otros con cierta plasticidad; se hace mención de estratigrafía de carácter rocoso presente en los sondeos donde se realizó rotación.

### - Perforación No. 1

- 0.00 m - 1.50 m Relleno en arena limosa color marrón con presencia de gravas
- 1.50 m - 3.00 m Relleno en arena limosa color marrón con presencia de gravas
- 3.00 m - 3.50 m Arena limosa color marrón con rastros de gravas
- 3.50 m - 4.00 m Arena arcillosa color gris
- 4.00 m - 4.50 m Arena limosa color gris con presencia de grava
- 4.50 m - 5.00 m Caliche tipo arena arcillosa color gris con rastros de grava
- 5.00 m - 6.00 m Caliche tipo arena limosa de color gris con rastros de grava

### - Perforación No. 2

- 0.00 m - 0.50 m Relleno caliche tipo arena limosa color amarillo con presencia de grava

- 0.50 m - 2.00 m Relleno en arena limosa color marrón con presencia de grava
- 2.00 m - 4.00 m Relleno en arena limosa color marrón con presencia de grava
- 4.00 m - 5.50 m Arena limosa bien gradada color gris con rastros de gravas
- 5.50 m - 6.00 m Arena limo-arcillosa color gris con rastros de grava
- 6.00 m - 9.00 m Caliche tipo arena limosa pobremente gradada color gris con rastros de grava
- 9.00 m - 9.50 m Caliche tipo grava limo arcillosos color amarillo con presencia de grava
- 9.50 m - 10.50 m Roca arenisca color amarillo
- 10.50 m - 11.00 m Caliche tipo arena arcillosa color amarillo con presencia de grava
- 11.00 m - 14.00 m Arena limosa color amarillo claro con presencia de grava
- 14.00 m - 15.00 m Roca arenisca color amarillo
- 15.00 m - 15.50 m Caliche tipo arena limosa color amarillo con presencia de grava
- 15.50 m - 16.50 m Roca arenisca color amarillo

- 16.50 m - 17.00 m Caliche tipo arena arcillosa color amarillo con rastros de grava
- 17.00 m - 18.00 m Roca arenisca color amarillo
- 18.00 m - 20.00 m Caliche tipo arena limosa color amarillo con rastros de grava

**- Perforación No. 3**

- 0.00 m - 1.50 m Relleno en arena limosa color marrón con rastros de grava
- 1.50 m - 2.50 m Relleno en arena limosa color marrón con presencia de gravas
- 2.50 m - 4.00 m Arena limo-arcillosa con materia orgánica color marrón con presencia de gravas
- 4.00 m - 4.50 m Relleno en arena limosa con materia orgánica color marrón con rastros de grava
- 4.50 m - 5.00 m Relleno en arena limosa color gris

#### - Perforación No. 4

- 0.00 m - 1.00 m Relleno en arena limosa color amarillo con presencia de grava y escombros
- 1.00 m - 2.50 m Relleno en arena limosa color habano con presencia de grava
- 2.50 m - 3.50 m Relleno en arena limosa pobremente gradada color rojizo con presencia de grava
- 3.50 m - 5.50 m Arena limo-arcillosa color negro con presencia de gravas y materia orgánica
- 5.50 m - 7.00 m Arena limosa color gris
- 7.00 m - 9.53 m Arena pobremente gradada color gris
- 9.53 m - 10.50 m Roca arenisca color gris
- 10.50 m - 12.00 m Arena arcillosa color amarillo con presencia de grava
- 12.00 m - 13.50 m Arena limo-arcillosa color amarillo con vetas blancas y presencia de grava
- 13.50 m - 15.50 m Roca arenisca color gris
- 15.50 m - 15.65 m Caliche tipo arena limosa color amarillo con presencia de grava
- 15.65 m - 17.50 m Roca arenisca color amarillo
- 17.50 m - 20.00 m Caliche tipo arcilla limosa color amarillo con

rastros de grava

- 20.00 m - 21.00 m Roca arenisca color amarillo
- 21.00 m - 23.00 m Caliche tipo arena limo arcillosa color amarillo con presencia de grava
- 23.00 m - 24.00 m Roca arenisca color amarillo
- 24.00 m - 25.00 m Caliche tipo arena arcillosa color amarillo con rastros de grava

#### **5.4. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA – Lote calle 78a con Vía 40**

- **Arenas arcillosas y limo-arcillosas**

De acuerdo con los registros de perforación, son suelos que predominan en las proximidades del sondeo #4, con características cohesivas otorgadas por el contenido de finos que posee. Por los ensayos de laboratorio se puede estimar que estos suelos poseen una humedad comprendida en el rango de 12.4% a 76.6%, y un contenido de material fino (pasa tamiz #200) de 12.6% a 39.2%. Cabe aclarar que en estos suelos las condiciones de humedad pueden ser altas debido a la presencia de agua dada la cercanía al río, así como la existencia de material orgánico.

Las características plásticas, definidas por los parámetros de límite líquido y límite plástico, se encuentran comprendidas en los rangos de 18% a 47% y 12% a 43%; de esta manera se obtiene un índice de plasticidad entre 4% y 16%.

A partir de lineamientos estipulados en el sistema unificado de clasificación de suelos (USCS en sus siglas en inglés), se les asigna la simbología SC y SM-SC. Son suelos de moderada permeabilidad y estabilidad volumétrica; su estado de densidad según el resultado de campo del ensayo de SPT, se clasifica entre suelta y densa.

- **Arena limosa, arenas limosas bien y mal gradadas, y arenas mal gradadas**

Estos suelos, a los cuales su resistencia se justifica a partir de la trabazón entre sus agregados, son los suelos predominantes en la estratigrafía de la zona de influencia del proyecto. Presentan un contenido de partículas finas entre 1.6% y 30.7%, así como un contenido de humedad entre 2.7% y 32.1%.

Según la metodología del sistema unificado de clasificación de suelos, se le asignan los símbolos SM, SP, SW-SM y SP-SM, en donde se

caracterizan suelos de baja o nula plasticidad, pero con variada granulometría.

En general, estos suelos permeables presentan elevada estabilidad volumétrica y por tanto baja susceptibilidad a experimentar cambios volumétricos ante eventos de pérdida o ganancia de humedad. Su compacidad relativa se define entre suelta y muy densa.

En las tablas siguientes se resumen los resultados de los ensayos de laboratorio.



**Tabla 5-7 Arenas arcillosas y limo-arcillosas**

**Fuente: Elaboración propia.**

PARÁMETRO	MÍNIMO	MÁXIMO
Contenido de humedad	12.35 %	76.6 %
Límite Líquido	18 %	47 %
Límite Plástico	12 %	43 %
Índice de Plasticidad	4 %	16 %
Pasa Tamiz 200	12.6 %	39.2 %
Clasificación U.S.C.S.	SC, SM-SC	
Peso Unitario Húmedo	17.5 kN/m <sup>3</sup>	18.2 kN/m <sup>3</sup>
Gravedad específica	2.64	2.66
Angulo de fricción interna*	28 °	33 °
Coeficiente de Poisson*	0.3	0.34
Módulo de esfuerzo - deformación*	6.0 MPa	24.0 MPa

\*En correlación con el ensayo de penetración normal.

**Tabla 5-8 Arena limosa, arenas limosas bien y mal gradadas, y arenas mal gradadas**

**Fuente: Elaboración propia.**

PARÁMETRO	MÍNIMO	MÁXIMO
Contenido de humedad	2.73 %	32.13 %
Límite Líquido	NL	
Límite Plástico	NP	
Índice de Plasticidad	NP	
Pasa Tamiz 200	1.6 %	30.7 %
Clasificación U.S.C.S	SM, SP, SW-SM, SP-SM	
Peso Unitario Húmedo	17.5 kN/m <sup>3</sup>	18.4 kN/m <sup>3</sup>
Gravedad específica	2.64	2.67
Angulo de fricción Interna*	27°	33°
Coeficiente de Poisson*	0.28	0.34
Módulo de esfuerzo - deformación*	8.0 MPa	41.0 MPa

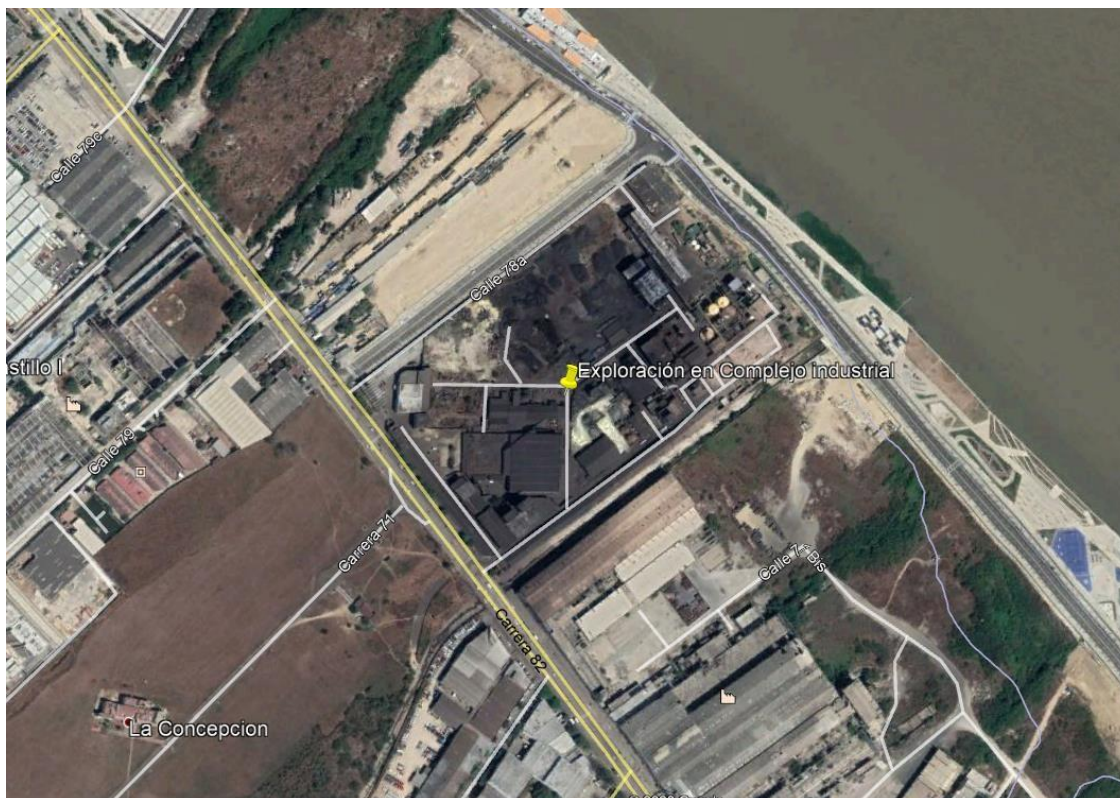
\*En correlación con el ensayo de penetración normal.

## **5.5. ESTRATIGRAFÍA – Complejo industrial Via 40 # 77B - 20**

Esta empresa, ubicada a la altura de la calle 77b, se dedica a la fabricación y distribución de productos químicos a base de manganeso, y la comercialización de insumos para fundición y siderurgia. A partir de lo anterior, se relaciona con sectores como el agrícola, construcción metalurgia y siderurgia. Dentro de sus instalaciones, sobre la vía 40, fueron realizados perforaciones entre 8.0 y 25.0 metros de profundidad.

Según los resultados de campo y laboratorio, sub-suelo presente se encuentra constituido inicialmente por rellenos heterogéneos con espesores hasta de 4.0 metros, compuestos por arenas limosas y arenas arcillosas, algunas con rastros de materia orgánica y contaminados con azufre.

Subyaciendo estos materiales se registran depósitos granulares variando entre arenas limosas y arenas arcillosas. hasta profundidades del orden de 10.0 metros. A partir de esta profundidad, se encontraron estratos rocosos, identificados como areniscas, calizas y coralinas, las dos últimas ligeramente fracturadas.



**Figura 5-3 Estudio en Complejo industrial Via 40 # 77B - 20**

**Fuente: Elaboración propia en Google Earth ®**

### **Sondeo No. 1**

- 0.00 m – 1.00 m → Relleno en arena limosa color amarillo
- 1.00 m – 4.00 m → Arena arcillosa color amarillo
- 4.00 m – 5.00 m → Arena limosa mal gradada color gris
- 5.00 m – 8.00 m → Arena limosa color gris

## Sondeo No. 2

- 0.00 m – 0.15m → Placa de concreto
- 0.15 m – 1.00 m → Relleno en arena limosa color marrón con rastros de gravas
- 1.00 m – 1.50 m → Arena limosa mal gradada color marrón con rastros de gravas
- 1.50 m – 4.00 m → Arena arcillosa color marrón con rastros de gravas
- 4.00 m – 10.00 m → Roca coralina
- 10.00 m – 12.00 m → Roca arenisca

## Sondeo No. 3

- 0.00 m – 2.00 m → Relleno en caliche tipo arena limosa color marrón
- 2.00 m – 2.50 m → Relleno en arena limosa bien gradada color gris con presencia de gravas
- 2.50 m – 5.00 m → Arena limosa color gris
- 5.00 m – 5.50 m → Arena limosa color gris con rastros de materia orgánica.
- 5.00 m – 9.50 m → Arena limosa color gris

- **9.50 m – 10.00 m** → Caliche tipo arena limo arcillosa color blanco
- **10.00 m – 12.00 m** → Roca caliza fracturada

#### **Sondeo No. 4**

- **0.00 m – 2.50 m** → Relleno en arena limosa contaminada con azufre
- **2.50 m – 4.50 m** → Arenas mal gradada color gris
- **4.50 m – 8.50 m** → Arena limosa mal gradada color gris
- **8.50 m – 9.00 m** → Caliche tipo arena limo arcillosa color amarillo
- **9.00 m – 13.50 m** → Roca coralina fragmentada
- **10.00 m – 12.00 m** → Roca caliza
- **15.00 m – 25.00 m** → Roca arenisca

#### **Sondeo No. 5**

- **0.00 m – 0.50 m** → Relleno en arena limosa color amarillo con presencia de gravas

- **0.50 m – 1.50 m** → Relleno en grava limosa bien gradada color marrón
- **1.50 m – 2.50 m** → Relleno en arena limosa mal gradada con presencia de gravas
- **2.50 m – 10.00 m** → Arena limosa color gris
- **10.00 m – 14.00 m** → Roca coralina
- **14.00 m – 21.00 m** → Arena limo arcillosa color amarillo con rastros de gravas
- **21.00 m – 25.00 m** → Arena limosa color gris con rastros de gravas

#### **Sondeo No. 6**

- **0.00 m – 1.00 m** → Placa de concreto
- **1.00 m – 2.50 m** → Relleno en arena limosa con rastros de materia orgánica
- **2.50 m – 4.00 m** → Arena arcillosa con rastros de materia orgánica
- **4.00 m – 8.00 m** → Roca coralina porosa

#### **Sondeo No. 1T**

- **0.00 m – 2.00 m** → Caliche tipo arena arcillosa color blanco



- 2.00 m – 20.00 m → Roca caliza color amarillo

### Sondeo No. 2T

- 0.00 m – 1.00 m → Relleno heterogéneo en caliche tipo arena arcillosa
- 1.00 m – 4.00 m → Relleno en arena arcillosa color gris
- 4.00 m – 5.00 m → Arena limosa mal gradada color gris con rastros de materia orgánica
- 5.00 m – 8.00 m → Arena limosa mal gradada color gris
- 8.00 m – 10.00 m → Arena limosa color gris

### Sondeo No. 3T

- 0.00 m – 3.00 m → Relleno heterogéneo
- 3.00 m – 4.00 m → Relleno en arena limosa color gris con piedras
- 4.00 m – 10.00 m → Arena limosa color gris

## Sondeo No. 4T

- 0.00 m – 1.00 m → Materia orgánica
- 1.00 m – 4.00 m → Relleno en arena limosa color gris con presencia de materia orgánica
- 4.00 m – 6.00 m → Arena limosa color gris
- 6.00 m – 9.00 m → Arena fina mal gradada color gris
- 9.00 m – 13.00 m → Arena limosa mal gradada color gris
- 13.00 m – 20.00 m → Arena limosa color gris

## 5.6. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA – Complejo industrial Via 40 # 77B - 20

- Arenas limosas, arenas limosas mal y bien gradadas.

Los depósitos friccionantes descritos en esta sección corresponden a la mayor parte de las muestras recuperadas, estando presentes en cada uno de los sondeos ejecutados.

Las cantidades de material fino presente en las muestras recuperadas, se encuentran en el rango de 7.8% a 28.8%. Al caracterizar la porción fina del material, se logró estimar valores de

límite líquido de NL a 25% y NP a 23%, resultando en índices de plasticidad de NP a 2%.

Según el sistema unificado de clasificación del suelo, y las características granulométricas y plásticas de estos depósitos, se asignan nomenclaturas **SM**, **SP-SM** y **SW-SM**, para arenas limosas, arenas limosas mal gradadas, arenas limosas bien gradadas respectivamente. Su compacidad relativa, medida con respecto al resultado del número de golpes corregido del ensayo de penetración estándar, apoyado en el contenido de la tabla 5.1., resulta de suelta a densa.

#### **- Arenas arcillosas, limo arcillosas y caliche limo arcilloso**

Estos suelos de naturaleza predominantemente friccionante, fueron encontrados por medio de los sondeos N°1, 2, 3, 4, 6, 1T y 2T, entre 1.0 y 4.0 metros (arenas arcillosas) y entre 8.50 y 10.00 metros de profundidad (caliche limo arcilloso). Suelen exhibir ciertas características cohesivas debido a su cantidad significativa de material fino, situada en el rango entre 18.06% y 44.0%; así mismo presentan humedades naturales entre 7.96% y 19.11%.

Por medio de los ensayos de clasificación, se lograron estimar valores para límite líquido y límite plástico de 21% a 39% y de 14% a 21% respectivamente, resultando un índice de plasticidad de 6% a 18%.

Con base en las características plásticas y granulométricas de estos materiales, el sistema USC asigna a estos la nomenclatura **SC** y **SM-SC**, para arenas arcillosas y caliche tipo arena limo arcillosa, respectivamente. Estas nomenclaturas son propias de suelos medianamente permeables, con estabilidad volumétrica moderada. Según el resultado del ensayo de penetración normal estándar, y basados en el contenido de la tabla 5.1., resulta una compacidad relativa entre media y densa.

**Tabla 5-9 Arena limosas, arenas limosas mal y bien gradadas.**

**Fuente: Elaboración Propia**

PARÁMETRO	MÍNIMO	MÁXIMO
Contenido de humedad (%)	5.90	52.83**
Límite Líquido (%)	NL	25
Límite Plástico (%)	NP	23
Índice de Plasticidad (%)	NP	2
Pasa Tamiz 200 (%)	7.80	28.80
Clasificación U.S.C.S.	SM, SP-SM, SW-SM	
Peso Unitario Húmedo (kN/m <sup>3</sup> )	17.0	18.5
Gravedad específica	2.65	
Angulo de fricción interna* (°)	29	32
Coeficiente de Poisson*	0.28	0.32
Módulo de esfuerzo - deformación* (MPa)	10.5	20.5

\*En correlación con el ensayo de penetración normal SPT

\*\*Algunas muestras exhiben rastros de materia orgánica que pueden redundar en contenidos de humedad Significativamente altos.

**Tabla 5-10 Arena arcillosas, arenas limo arcillosas y caliche limo arcilloso**

**Fuente: Elaboración Propia**

PARÁMETRO	MÍNIMO	MÁXIMO
Contenido de humedad (%)	7.96	19.11
Límite Líquido (%)	21	39
Límite Plástico (%)	14	21
Índice de Plasticidad (%)	6	18
Pasa Tamiz 200 (%)	18.06	44.00
Clasificación U.S.C.S.	SC, SM-SC	
Peso Unitario Húmedo (kN/m <sup>3</sup> )	17.5	18.5
Gravedad específica	2.67	
Angulo de fricción interna* (°)	29	31
Coeficiente de Poisson*	0.28	0.35
Módulo de esfuerzo - deformación* (MPa)	8.5	15.5

\*En correlación con el ensayo de penetración normal SPT

## 5.7. ESTRATIGRAFÍA - Box Calle 72

Para el Proyecto ubicado en este sector del corredor, se realizaron seis (6) perforaciones entre 10.0 m y 15.0 m, para la construcción de una estructura de recolección de aguas superficiales tipo box culvert. Según los resultados de campo y laboratorio, es posible identificar una

estratigrafía heterogénea, con la presencia de estratos granulares y ciertos lentes de suelos cohesivos, entre los que destacan limos y arcillas de baja compresibilidad.



**Figura 5-4 Ubicación Estudio en Box Culvert**

**Fuente: Elaboración propia en Google Earth ®**

### **Sondeo N° 1**

- De 0.0 m a 1.5 m → Relleno tipo arena limosa color gris claro con presencia de gravas



- De 1,5 m a 7,0 m → Limo de alta compresibilidad color gris.
- De 7,0 m a 9,5 m → Arena limosa color gris.
- De 9,5 m a 10,0 m → Material rocoso coloración gris y amarillo.

### Sondeo N° 2

- De 0,0 m a 3,5 m → Limo de baja compresibilidad color marrón y gris.
- De 3,5 m a 7,0 m → Arcilla limosa de baja compresibilidad color gris.
- De 7,0 m a 10.0 m → Limo de baja compresibilidad color gris.

### Sondeo N° 3

- De 0.0 m a 3.5 m → Relleno de arena limosa color gris con presencia de gravas.

- De 3.5 m a 5.0 m → Relleno de arena limosa pobremente gradada color gris claro.
- De 5.0 m a 6.5 m → Arena limosa bien gradada color gris con presencia de gravas
- De 6.5 m a 8.0 m → Arena limosa mal gradada color gris.
- De 8.0 m a 9.5 m → Arena bien gradada color gris
- De 9.5 m a 10.0 m → Arena limosa color gris

#### Sondeo N° 4

- De 0.0 m a 1.5 m → Relleno de arena limo arcillosa color gris claro.
- De 1.5 m a 2.5 m → Relleno de arena limosa bien gradada color gris claro.
- De 2.5 m a 3.0 m → Relleno tipo arena limosa color gris
- De 3.0 m a 4.0 m → Relleno tipo arena limosa bien gradada color blanco con gravas
- De 4.0 m a 6.0 m → Relleno tipo arena limosa color gris con presencias de gravas

- De 6.0 m a 6.5 m → Arcilla limosa color gris
- De 6.5 m a 10.0 m → Arena limosa color gris

### Sondeo N° 5

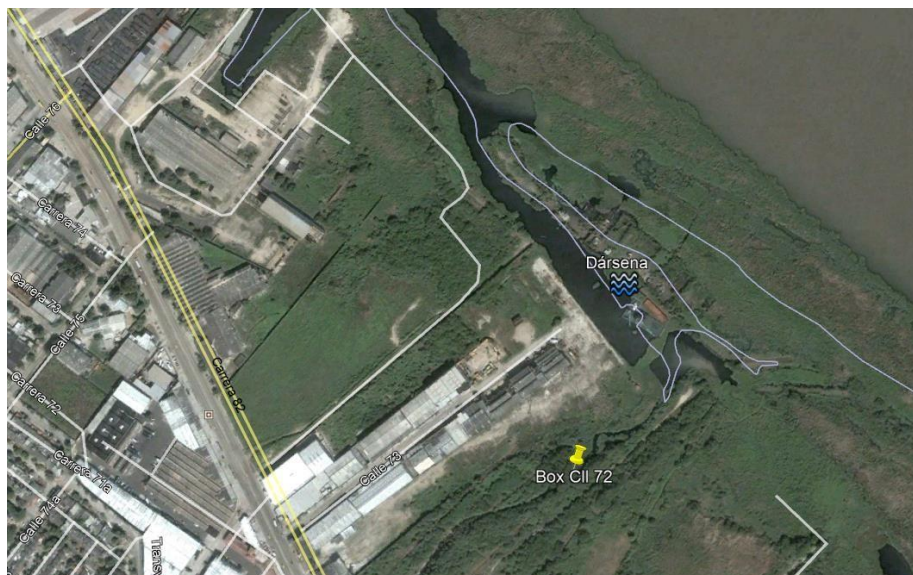
- De 0.0 m a 1.5 m → Relleno en arena limosa color marrón con escombros
- De 1.5 m a 3.0 m → Relleno en arena limosa bien gradada color marrón
- De 3.0 m a 3.5 m → Arena limosa color gris
- De 3.5 m a 4.0 m → Arcilla limosa de color gris
- De 4.0 m a 10.0 m → Arena limosa color gris con material orgánico
- De 10.0 m a 12.0 m → Caliche tipo arena limosa color amarillo
- De 12.0 m a 13.0 m → Arena mal gradada color amarillo
- De 13.0 m a 15.0 m → Arena limosa color amarillo con presencia de gravas

## Sondeo N° 6

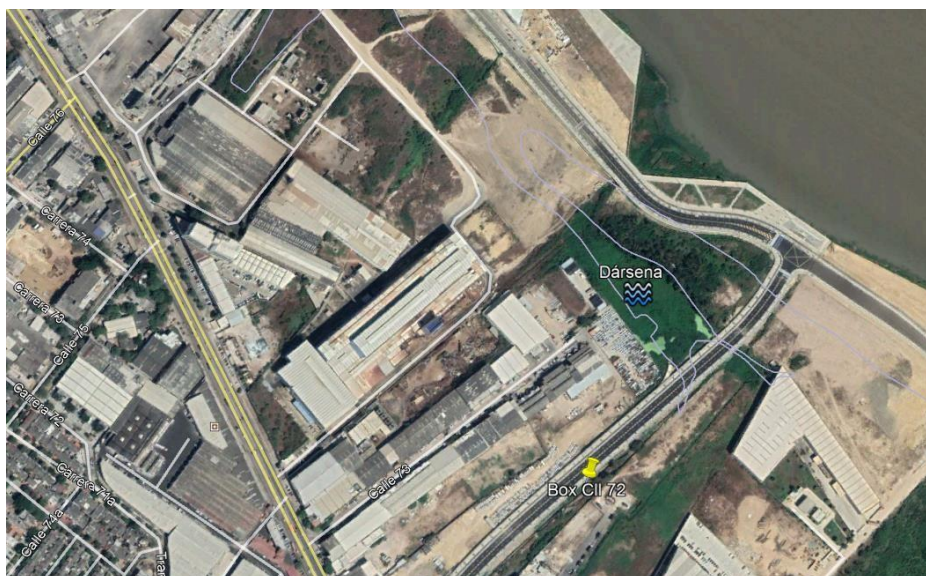
- De 0.0 m a 1.0 m → Relleno en arena limosa color marrón con presencia de gravas
- De 1.0 m a 3.0 m → Caliche tipo arena arcillosa color amarillo
- De 3.0 m a 5.0 m → Arena limo arcillosa color gris con rastros de gravas y presencia de material orgánico
- De 5.0 m a 5.5 m → Arena limosa color gris
- De 5.5 m a 7.0 m → Arena limosa mal gradada color gris
- De 7.0 m a 9.0 m → Arena mal gradada color gris
- De 9.0 m a 9.5 m → Arena limosa color gris con presencia de gravas
- De 9.5 m a 10.0 m → Arena limosa color gris
- De 10.0 m a 13.0 m → Roca coralina color gris

En esta zona se resalta la presencia de una dársena, que en años anteriores contaba con una conexión directa al río. Como se muestra

en la figura 5.4., se ha vuelto una zona de aguas estancadas, dado que por las actividades antropogénicas (labores de adecuación del Malecón de la Avenida del Río). En las actividades de campo, en cercanías a este cuerpo de agua se identificaron estratos cohesivos de baja y alta compresibilidad, y de una baja consistencia.



*Año de referencia: 2003.*



*Año de referencia: 2019.*

**Figura 5-5 Diferencia de condiciones en la zona**

**Fuente: Elaboración propia en Google Earth ®.**

## 5.8. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA – Box Calle 72

**- Arenas limosas, arenas limosas bien y mal gradadas, arenas bien y mal gradadas, color gris, marrón, blanco y amarillo**

Estos suelos fueron encontrados al inicio del recorrido, en las cercanías a la vía 40. Poseen una naturaleza friccional o granular (sean naturales o rellenos), con un contenido de finos entre 2.1% y 44.5%, y un contenido de humedad natural que va desde 5.3% a 70.0%. La presencia de material orgánico en ciertos estratos de los sondeos cercanos a la vía 40 ocasionan la fluctuación de los valores de contenido de humedad en un rango muy amplio.

La plasticidad obtenida en este tipo de suelo es prácticamente nula, con índices plásticos entre NP y 3%. En el sistema unificado de suelos clasifican como SM, SP, SW, SP-SM y SW-SM. Según sus características se definen como permeables con alta estabilidad volumétrica, los cuales presentan ángulos de fricción interna entre 30° y 38°. Su compacidad relativa varía de muy suelta a densa, lo cual se puede apreciar en la tabla 5.1., referente a compacidad de suelos granulares.



## **- Limos y arcillas limosas de baja compresibilidad**

Los suelos de grano fino descritos como limo y arcillas de baja compresibilidad, exhiben un contenido de partículas con tamaños inferiores a 0.075 milímetros, comprendido entre 53.9% y 98.2%. Su contenido de humedad natural varía entre 21.6% y 57.9%. Su límite líquido e índice plástico se sitúan en el rango de 24% a 43% y 4% a 16% respectivamente.

Clasifican como ML y CL-ML en el sistema unificado; su permeabilidad es moderadamente baja, con susceptibilidad a cambios volumétricos entre baja y medianamente alta. Su estado de consistencia es clasificado como muy blanda, concentrándose estos suelos en las cercanías de la perforación 2, la cual se encuentra hacia la parte baja del recorrido, próximo al trazado de la Avenida del Río. Presentan un potencial de expansión entre medio y bajo, teniendo en cuenta los resultados de los ensayos de laboratorio (límites de Atterberg) y lo estipulado por la norma de diseño sismo-resistente NSR-10.

## **- Limo de alta compresibilidad**

Estos suelos se encuentran en su totalidad sobre las zonas del sondeo 1, presentando contenidos de humedad entre 75.3% y 80.8%. Sus características de plasticidad se establecieron en laboratorio a partir de la metodología de Atterberg y Casagrande, con límites líquidos entre 50% y 93%; límite e índice plástico comprendidos en los rangos de 36% a 48% y de 14% a 48% respectivamente.

Este tipo de suelo exhibe un contenido de partículas con tamaño nominal inferior a 0.075 milímetros en el rango de 84,3% y 97,8%. Con los resultados de plasticidad y gradación, en el sistema unificado de clasificación de suelos le corresponde una designación MH.

Según lo estipulado en la tabla H.9.1-1, el potencial de expansión de los suelos del lote en estudio se clasifica entre alto y muy alto para los limos de alta compresibilidad. Su consistencia descrita por correlación con los resultados de los ensayos de penetración normal se cataloga como muy blanda.

## 105

## SONDEO

En esta perforación se localiza inicialmente una placa de concreto de 15 centímetros de espesor, luego, se presenta una capa de 50 cm de relleno en arena limosa color amarillo con presencia de gravas. Debajo de este, se presenta arena limosa bien gradada color marrón, hasta una profundidad de 3.00 metros, este estrato aparece nuevamente entre los 17.00 y 18.50 metros de profundidad, pero de color amarillo.

De 3.00 metros a 5.00 metros, se encontró material correspondiente a arena limo arcillosa, en tonalidades marrón y amarillo. A este estrato le subyace una capa de 1.00 metro de espesor de arena arcillosa color marrón con gris. Luego, de 6.00 metros a 7.00 metros y entre los 11.00 y los 17.00 metros de profundidad, se observó presencia de arena limosa, en colores marrón y amarillo, con presencia de gravas.

Entre 7.00 metros y 11.00 metros, el material presente en el subsuelo corresponde a arcilla de baja compresibilidad color amarillo, la cual exhibe presencia de grava. A partir de los 17.00 metros de profundidad, y hasta el final de la perforación (25.00 metros) se encontró una caliza coralina de color marrón.

## SONDEO 2

Similar al sondeo anterior, se presenta una placa de concreto de 10 centímetros de espesor, debajo de la cual se encontró un relleno en caliche tipo arena limo arcillosa color marrón, el cual se presenta hasta una profundidad de 50 cm. Seguidamente, se localiza un estrato de 2.50 metros de espesor de arena limosa color marrón, material que aparece nuevamente a una profundidad de 12.50 metros, y finaliza en 14.50 metros, donde inicia un estrato de caliza coralina color marrón; este último se extiende desde esta profundidad hasta los 25.00 metros.

Además de lo anterior, en esta prospección se recuperó material correspondiente a arena arcillosa color marrón y amarillo, el cual se localiza entre 3.00 y 7.00 metros, y de 8.00 a 9.00 metros. Entre los estratos de arena arcillosa, es decir, de 7.00 metros a 8.00 metros, se presenta una grava mal gradada.

De 9.00 metros a 10.00 metros, se localiza una capa de grava limosa color amarillo y debajo de esta, se encuentra un estrato de arcilla de alta compresibilidad color amarillo con rastros de grava (10.00 m – 12.50 m).

### **SONDEO 3**

El primer material recuperado en esta prospección es un relleno de 1.00 metro en arena arcillosa color marrón con presencia de gravas, el cual se localiza debajo de una placa de concreto de 10 centímetros de espesor. Luego, entre 1.00 y 3.00 metros, se presenta un estrato de arena limosa bien gradada color marrón, el cual aparece nuevamente de 12.00 a 16.50 metros. De 3.00 metros a 7.00 metros, se encuentra arena arcillosa color amarillo, material que se presenta también entre los 8.50 m y los 12.00 metros. Entre estas capas de arena arcillosa, se encontró un caliche tipo arena limosa color amarillo (de 7.00 m a 8.50 m). Finalmente, el estrato de caliza coralina que se presenta de 16.50 metros a 20.00 metros, aparece nuevamente a una profundidad de 21.50 metros, y se extiende hasta el final de la perforación, es decir, 25.00 metros.

### **SONDEO 4**

Igual que en los sondeos anteriores, en este sondeo se presenta una placa de concreto de 10 centímetros de espesor, y debajo de ella, 50 centímetros de relleno en arena limo arcillosa color amarillo con presencia de gravas. Luego, de 0.50 m a 1.50 m y de 2.50 metros, hasta los 8.00 metros de profundidad, el material presente en el

subsuelo es arena limosa color amarillo. Entre estos estratos de arena limosa, es decir de 1.50 metros a 2.50 metros, se localiza caliche tipo arena arcillosa color amarillo.

A partir de una profundidad de 8.00 metros, se encuentra un estrato de 4.00 metros de espesor, identificado como caliza coralina color marrón, el cual aparece nuevamente entre 18.00 y 25.00 metros.

De 12.00 metros a 15.50 metros, se presenta arena limosa bien gradada color marrón y amarillo. Debajo de este material, se localiza un estrato de arena bien gradada, de 1.50 metros de espesor, y luego una capa de 50 centímetros de arena mal gradada color amarillo con rastros de gravas.

#### **5.10. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA – Intersección CII 72 con Vía 40**

- **Arenas limosas, arenas limosas bien gradadas, arenas mal y bien gradadas**

Estos materiales corresponden a los predominantes en la zona de estudio, siendo aproximadamente el 40% de las muestras recuperadas. Dentro de sus características se puede mencionar que son suelos que no exhiben plasticidad; su contenido de partículas



pasantes a través del tamiz 200 se sitúan en el rango comprendido entre 2.1% y 26.8%.

En el sistema unificado de suelos les corresponden las siguientes designaciones: **SM** (arenas limosas), **SW-SM** (arenas limosas bien gradadas) **SP** (arenas mal gradadas) y **SW** (arenas bien gradadas). Son suelos permeables con alta estabilidad volumétrica.

Su compacidad relativa correlacionada con los resultados de los ensayos de penetración normal, se cataloga entre suelta ( $N > 4$ ) y muy densa ( $N > 50$ ).

#### - Arenas arcillosas y limo arcillosas.

Estos suelos, de naturaleza friccionante cohesiva, exhiben un contenido de partículas con tamaños inferiores a 0.075 milímetros, expresados en porcentaje de suelo seco, entre 16.6% y 48.4%.

Su plasticidad se estableció en el laboratorio a partir de la metodología de Atterberg y Casagrande, obteniendo límites líquidos e índice plástico con magnitudes de 17% a 39% y de 6% a 21%, respectivamente. De lo anterior, y considerando los criterios de clasificación del sistema unificado (USCS), se estableció que a estas

muestras les corresponden las nomenclaturas **SC** (arenas arcillosas) y **SM-SC** (arenas limo arcillosas).

Entre sus propiedades, se puede mencionar que son suelos permeables, con moderada susceptibilidad a experimentar cambios volumétricos, asociados a eventos de ganancia y pérdida de humedad.

Su estado de densidad, evaluado a partir de los resultados del SPT, varía de suelto ( $N > 4$ ) y muy denso ( $N > 50$ ).

En las tablas siguientes se resumen los resultados de los ensayos de laboratorio, indicando además propiedades mecánicas y elásticas de los materiales, obtenidas mediante correlaciones con el ensayo de penetración normal.

**Tabla 5-11 Arenas limosas, arenas limosas bien gradadas, arenas mal y bien gradadas**

**Fuente: Elaboración propia.**

PARÁMETRO	RESULTADOS
Contenido de Humedad	3.23% - 21.08%
Límite Líquido	NL
Límite Plástico	NP
Índice de Plasticidad	NP
Pasa tamiz 200	2.1% - 26.8%
Clasificación S.U.C.	SM, SW-SM, SP, SW
Peso Unitario Húmedo*	16.1 kN/m <sup>3</sup> - 20.5 kN/m <sup>3</sup>
Gravedad específica de los sólidos*	2.45 - 2.62
Angulo de fricción interna*	29° - 35°
Coeficiente de Poisson*	0.30 - 0.33
Módulo de esfuerzo - deformación*	10.5 MPa - 30 MPa

\*En correlación con el ensayo de penetración normal.

**Tabla 5-12 Arenas arcillosas y limo arcillosas**

**Fuente: Elaboración propia.**

PARÁMETRO	RESULTADOS
Contenido de Humedad	9.04% - 25.24%
Límite Líquido	17% - 39%
Límite Plástico	10% - 19%
Índice de Plasticidad	6% - 21%
Pasa tamiz 200	16.6% - 48.4%
Clasificación S.U.C.	SC, SM-SC
Peso Unitario Húmedo*	16.6 kN/m <sup>3</sup> - 19.4 kN/m <sup>3</sup>
Gravedad específica de los sólidos*	2.60 - 2.64
Angulo de fricción interna*	31° - 35°
Coeficiente de Poisson*	0.29 - 0.32
Módulo de esfuerzo - deformación*	7.5 MPa - 24 MPa

\*En correlación con el ensayo de penetración normal.

### 5.11. ESTRATIGRAFÍA - Puente Cra 54 con via 40

En este numeral se recurre a la información obtenida para el estudio de suelos del puente sobre la intersección entre la avenida Murillo y la Vía 40. En esta zona se realizaron cinco perforaciones hasta 25.0 m.



SC). Varios de los estratos identificados, con presencia de carbonato cálcico.

En algunos sondeos (perforación 2 p.e.) se identificaron lentes de estratos cohesivos de baja y alta compresibilidad.

Posterior a los 13 metros, es posible encontrar estratos rocosos de tipo coralina y caliza, con tonalidades de blanco y amarillo.

### **Sondeo No. 1**

- 0.00 m - 2.00 m      Arena limosa bien gradada color marrón
- 2.00 m - 5.50 m      Arena arcillosa color gris con vetas marrones
- 5.50 m - 6.00 m      Caliche tipo arena arcillosa bien gradada color marrón
- 6.00 m - 7.00 m      Caliche tipo arena arcillosa color marrón
- 7.00 m - 7.50 m      Caliche tipo arena limo arcillosa color marrón
- 7.50 m - 11.50 m      Caliche tipo arena arcillosa color marrón
- 11.50 m - 12.50 m      Caliche tipo arena limo arcillosa color marrón con vetas grises
- 12.50 m - 13.50 m      Grava limosa mal gradada color marrón

- con vetas de oxidación
- 13.50 m - 15.50 m Caliche tipo arena limosa color amarillo con vetas blancas
- 15.50 m - 16.50 m Roca coralina intemperizada color amarillo con vetas blancas
- 16.50 m - 18.50 m Caliche tipo arena limosa color gris
- 18.50 m - 19.50 m Roca coralina de color blanco y amarillo
- 19.50 m - 21.00 m Caliche tipo arena limosa color gris
- 21.00 m - 24.50 m Caliche tipo arena limosa color amarillo en matriz de roca caliza meteorizada

## Sondeo No. 2

- 0.00 m - 0.25 m Placa de concreto
- 0.25 m - 0.50 m Arena arcillosa color amarillo
- 0.50 m - 1.50 m Arena limosa bien gradada color amarillo
- 1.50 m - 4.50 m Arena arcillosa color gris
- 4.50 m - 7.00 m Caliche tipo arena arcillosa color amarillo con vetas blancas
- 7.00 m - 7.50 m Grava limosa bien gradada color marrón claro



- 7.50 m - 8.00 m Arena limo arcillosa color marrón claro
- 8.00 m - 8.50 m Arena limosa color amarillo con rastros de grava
- 8.50 m - 9.50 m Arena limosa bien gradada color amarillo con rastros de grava
- 9.50 m - 10.00 m Lavado sobre caliche tipo arcilla de baja compresibilidad color blanco con vetas amarillas
- 10.00 m - 10.50 m Caliche tipo arcilla de baja compresibilidad color marrón claro
- 10.50 m - 11.50 m Caliche tipo arena arcillosa color marrón claro con vetas amarillas
- 11.50 m - 13.50 m Caliche tipo arena limo arcillosa color amarillo con vetas blancas
- 13.50 m - 15.50 m Caliche tipo arena limosa color blanco con vetas amarillas
- 15.50 m - 16.00 m Caliche tipo arena limo arcillosa color amarillo
- 16.00 m - 17.50 m Caliche tipo arena limosa color blanco con vetas amarillas
- 17.50 m - 18.00 m Caliche tipo arena arcillosa color amarillo
- 18.00 m - 22.50 m Caliche tipo arena limosa color blanco

### Sondeo No. 3

- 0.00 m - 0.25 m Placa de concreto
- 0.25 m - 1.50 m Caliche tipo arena arcillosa color gris
- 1.50 m - 2.00 m Arena arcillosa mal gradada color gris con vetas amarillas
- 2.00 m - 4.00 m Arena arcillosa color gris
- 4.00 m - 4.50 m Caliche tipo arena limosa color gris con vetas blancas
- 4.50 m - 8.00 m Arena arcillosa color amarillo con rastros de caliza en formación
- 8.00 m - 9.00 m Caliche tipo arena mal gradada color amarillo con vetas blancas
- 9.00 m - 10.00 m Piedras caliza en matriz de caliche arcilloso
- 10.00 m - 13.00 m Caliche tipo arena arcillosa color amarillo con vetas blancas
- 13.00 m - 14.50 m Roca caliza intemperizada color amarillo
- 14.50 m - 18.20 m Caliche tipo arena limosa color blanco con vetas amarillas
- 18.20 m - 19.00 m Roca caliza color amarillo
- 19.00 m - 19.50 m Caliche tipo arena limosa color marrón claro

- 19.50 m - 20.50 m Caliche tipo arena limosa color amarillo con presencia de roca caliza
- 20.50 m - 23.50 m Caliche tipo arena limosa color marrón claro con presencia de roca caliza meteorizada
- 23.50 m - 25.00 m Caliche tipo arena limo arcillosa color marrón claro con vetas amarillas

#### **Sondeo No. 4**

- 0.00 m - 0.25 m Placa de concreto
- 0.25 m - 0.50 m Arena arcillosa color amarillo
- 0.50 m - 1.50 m Arena limosa bien gradada color amarillo con vetas grises
- 1.50 m - 2.50 m Arena limosa color gris con vetas amarillas
- 2.50 m - 6.00 m Arena arcillosa color gris con vetas amarillas
- 6.00 m - 7.00 m Grava limosa bien gradada color amarillo
- 7.00 m - 9.00 m Caliche tipo arena arcillosa color amarillo con presencia de cal
- 9.00 m - 10.00 m Grava arcillosa mal gradada color amarillo
- 10.00 m - 11.50 m Caliche tipo arena arcillosa color amarillo

con vetas blancas

- 11.50 m - 13.00 m Grava arcillosa color amarillo
- 13.00 m - 15.00 m Caliche tipo arena limosa color amarillo
- 15.00 m - 16.00 m Roca caliza color blanco con vetas amarillas
- 16.00 m - 18.00 m Caliche tipo arena limosa color blanco
- 18.00 m - 19.00 m Grava limosa color blanco con vetas amarillas
- 19.00 m - 21.00 m Arena limosa color blanco con vetas amarillas
- 21.00 m - 22.00 m Roca caliza meteorizada
- 22.00 m - 23.00 m Arena limosa mal gradada color gris
- 23.00 m - 24.50 m Arena limosa color gris

## Sondeo No. 5

- 0.00 m - 0.25 m Placa de concreto
- 0.25 m - 1.00 m Relleno en caliche arcilloso color amarillo y piedras
- 1.00 m - 3.00 m Arena limosa mal gradada color gris

- 3.00 m - 4.00 m Arena arcillosa color gris con vetas amarillas
- 4.00 m - 4.50 m Arcilla de alta compresibilidad color gris con vetas amarillas
- 4.50 m - 6.00 m Caliche tipo arena arcillosa color marrón
- 6.00 m - 7.00 m Grava en suelo arcilloso color amarillo
- 7.00 m - 9.00 m Caliche tipo arena arcillosa color amarillo con presencia de cal
- 9.00 m - 10.00 m Grava limosa mal gradada
- 10.00 m - 11.50 m Arcilla de baja compresibilidad color amarillo
- 11.50 m - 13.00 m Grava arcillosa color amarillo con vetas blancas
- 13.00 m - 15.00 m Caliche tipo arena limosa color marrón claro con vetas amarillas
- 15.00 m - 17.50 m Caliche tipo arena limo arcillosa color blanco con vetas amarillas
- 17.50 m - 19.00 m Caliche tipo limo de baja compresibilidad color blanco con vetas amarillas
- 19.00 m - 21.00 m Caliche tipo limo de baja compresibilidad color blanco con vetas amarillas
- 21.00 m - 22.50 m Caliche tipo arena limosa color blanco

## **5.12. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA - Puente Cra 54 con via 40**

Las arenas arcillosas encontradas durante la exploración efectuada, exhiben valores de contenido de humedad natural entre 7.5 % y 42 %; los límites de consistencia de este material registraron los siguientes valores: Límite líquido entre 22 % y 55 %, límite plástico entre 14 % y 21 %, arrojando índices de plasticidad entre 8 % y 34 %. El porcentaje de finos se estableció entre 7.3 % y 43.1 %; su clasificación acorde con el sistema unificado es SC, SP-SC y SW-SC.

Estos depósitos corresponden a suelos algo permeables con susceptibilidad a experimentar cambios de volumen asociados a variaciones en su contenido de humedad entre baja y alta; su estado de densidad se cataloga entre medio y denso, con un incremento moderado a medida que se profundiza.

Los depósitos de arenas limosas, contienen porcentajes de humedad que oscilan entre 7.9 % y 21.8 %. El límite líquido de estos materiales se determinó entre 14 % y 17 %, límite plástico entre 13 % y 16 % y su índice de plasticidad arrojó valores de 1 % a 2 %; El porcentaje de finos de este suelo se encuentra entre 8.8 % y 39.1 %. Por sus

características clasifican como SM, SW-SM y SP-SM, en el sistema unificado.

Los suelos descritos como arenas limo-arcillosas presentaron valores de partículas menores al diámetro del tamiz # 200 entre 17.5 % y 40.9%, con contenidos de humedad entre 9.3 % y 18.7 %. El límite líquido y el índice de plasticidad para este material tienen valores de 19 % a 25 % y de 4 % a 7 % respectivamente. Estas arenas clasificaron como SM-SC utilizando la metodología del sistema unificado.

Los suelos areno limosos y areno limo arcillosos son permeables con alta estabilidad volumétrica y susceptibilidad a variar de volumen ante cambios de humedad, entre nula y baja.

Su compacidad evaluada con base en los resultados de los ensayos de penetración; varía entre media y muy densa.

En las tablas siguientes se resumen los resultados de los ensayos de laboratorio, algunas determinadas mediante correlaciones con el ensayo de penetración estándar.



**Tabla 5-13 Caliches tipo Arenas Arcillosas mal y bien gradadas**

**Fuente: Elaboración propia.**

PARÁMETRO	RESULTADOS
Contenido de Humedad	7.5 % - 42 %
Límite Líquido	22 % - 55 %
Límite Plástico	14 % - 21 %
Índice de Plasticidad	8 % - 34 %
Pasa tamiz 200	7.3 % - 43.1 %
Clasificación S.U.C.	SC, SP-SC y SW-SC
Peso Unitario Húmedo*	18.0kN/m <sup>3</sup> - 19.5kN/m <sup>3</sup>
Gravedad específica de los sólidos*	2.66 - 2.69
Ángulo de fricción interna*	29° - 33°
Módulo de esfuerzo - deformación*	6 MPa - 16.5MPa
Coeficiente de Poisson*	0.31 - 0.34

**Tabla 5-14 Caliches tipo Arenas Limosas y Arenas Limosas bien y mal gradadas**

**Fuente: Elaboración propia.**

PARÁMETRO	RESULTADOS
Contenido de Humedad	7.9 % - 21.8 %
Límite Líquido	14% - 17 %
Límite Plástico	13 % - 16 %
Índice de Plasticidad	1 % - 2 %
Pasa tamiz 200	8.8 % - 39.1 %
Clasificación S.U.C.	SM, SW-SM y SP-SM
Peso Unitario Húmedo*	18kN/m <sup>3</sup> - 19.3kN/m <sup>3</sup>
Gravedad específica de los sólidos*	2.66 - 2.68
Ángulo de fricción interna*	29° - 34°
Módulo de esfuerzo - deformación*	11MPa -25MPa
Coeficiente de Poisson*	0.31 - 0.34

**Tabla 5-15 Caliches tipo Arenas Limo-Arcillosas**

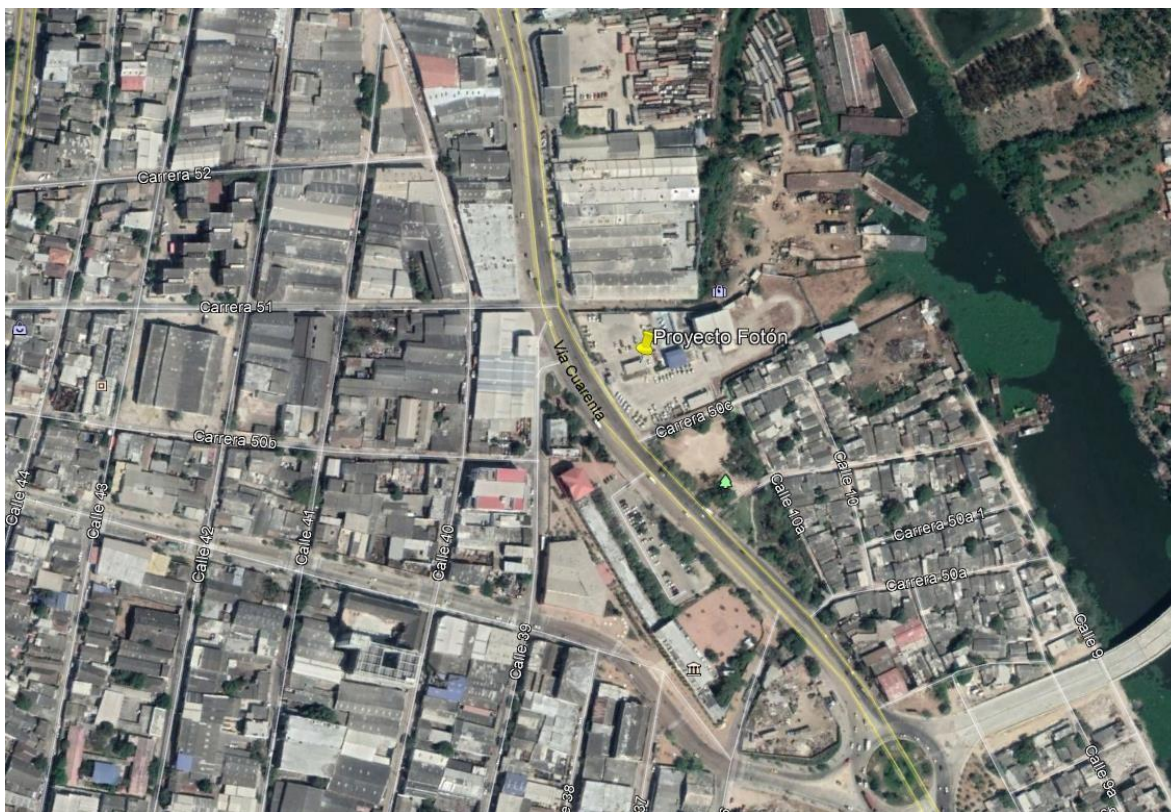
PARÁMETRO	RESULTADOS
Contenido de Humedad	9.3 % - 18.7 %
Límite Líquido	19 % - 25 %
Límite Plástico	14 % - 18 %
Índice de Plasticidad	4% - 7 %
Pasa tamiz 200	17.5 % - 40.9 %
Clasificación S.U.C.	SM-SC
Peso Unitario Húmedo*	18 kN/m <sup>3</sup> - 19.4kN/m <sup>3</sup>
Gravedad específica de los sólidos*	2.66 - 2.68
Ángulo de fricción interna*	29° - 32°
Coeficiente de Poisson*	8MPa -21MPa
Módulo de esfuerzo - deformación*	0.32 - 0.34

\*En correlación con el ensayo de penetración estándar.

### 5.13. ESTRATIGRAFÍA – Lote Vía 40 # 50B - 54

Este Proyecto se realizó a la altura de la calle 39, por la Plaza de la Aduana, donde actualmente se localiza un concesionario de vehículos pesados.

En la siguiente figura se muestra la localización del lote de estudio.



**Figura 5-8 Ubicación estudio Lote Vía 40 # 50B - 54**

**Fuente: Elaboración propia en Google Earth ®**

En la perforación número 1 se encontraron los siguientes estratos, a lo largo de los 6 metros explorados:

- 0.00 m - 0.10 m      Piso en adoquines y relleno en arena y escombro

- 0.10 m - 1.50 m      Arena limosa color gris con escombros
- 1.50 m - 4.00 m      Arena limosa color gris con rastros de materia orgánica
- 4.00 m - 6.00 m      Limo color gris con rastros de materia orgánica

A la perforación número 2 se le determinó la siguiente estratigrafía:

- 0.00 m - 0.10 m      Piso en adoquines
- 0.10 m - 0.40 m      Relleno en arena mal gradada color amarilla
- 0.40 m - 2.00 m      Relleno en arena mal gradada color gris con escombros
- 2.00 m - 5.00 m      Relleno en arena limosa color gris con escombros
- 5.00 m - 5.50 m      Caliche tipo arena arcillosa color gris

Los estratos encontrados en la perforación 3 son:

- 0.00 m - 0.10 m      Piso en adoquines

- 0.10 m - 0.40 m Relleno en arena limo arcillosa color amarillo con vetas blancas
- 0.40 m - 2.50 m Relleno en arena limosa y escombros
- 2.50 m - 3.00 m Arena arcillosa color gris
- 3.00 m - 3.50 m Arena limosa color gris con materia orgánica
- 3.50 m - 5.00 m Limo arcilloso color gris con material orgánico
- 5.00 m - 6.00 m Caliche tipo arena limo arcillosa color blanco

La perforación numero 4 presenta la siguiente estratigrafía:

- 0.00 m - 0.10 m Piso en adoquines
- 0.10 m - 0.40 m Relleno en arena limo arcillosa color amarillo con vetas blancas
- 0.40 m - 2.50 m Relleno en arena limosa y escombros
- 2.50 m - 3.00 m Arena arcillosa color gris
- 3.00 m - 3.50 m Arena limosa color gris con materia orgánica
- 3.50 m - 5.00 m Limo arcilloso color gris con material orgánico

- 5.00 m - 6.00 m Caliche tipo arena limo arcillosa color blanco

La siguiente estratigrafía fue determinada en la perforación 5:

- 0.00 m - 0.15 m Placa en concreto
- 0.15 m - 1.00 m Relleno en arena limo arcillosa color gris con escombros
- 1.00 m - 5.00 m Arena limosa mal gradada color gris
- 5.00 m - 5.50 m Arena arcillosa color gris
- 5.00 m - 6.00 m Caliche tipo arena limo arcillosa color blanco

Los estratos presentes en el sexto sondeo son:

- 0.00 m - 0.15 m Placa en concreto
- 0.15 m - 1.00 m Relleno de caliche tipo arena limo arcillosa color gris.
- 1.00 m - 1.50 m Arena limosa bien gradada color gris con rastros de ladrillo



- 1.50 m - 2.00 m Limo color gris con rastros de ladrillo y materia orgánica
- 2.00 m - 4.00 m Arena limosa bien gradada color gris
- 4.00 m - 6.00 m Arena limosa bien gradada color gris con material orgánico

La estratigrafía de la perforación numero 7 es la siguiente:

- 0.00 m - 0.15 m Placa en concreto
- 0.15 m - 1.00 m Relleno de caliche tipo arena limo arcillosa color gris.
- 1.00 m - 2.00 m Arena limosa color gris con rastros de piedra
- 2.00 m - 2.50 m Arena limosa bien gradada color gris oscuro
- 2.50 m - 3.50 m Arena limosa bien gradada color gris oscuro
- 3.50 m - 5.00 m Arena limosa color gris con escombros de caliche

## **5.14. CARACTERIZACIÓN GEOTECNICA – Lote Vía 40 # 50B - 54**

Una vez analizados los perfiles estratigráficos, se estableció que los materiales predominantes en el lote estudiado son las arenas limosas, arenas limosas mal gradadas y arenas limosas bien gradadas acompañadas en menor cantidad por arenas limpias pobremente gradadas, arenas arcillosas y limos. A continuación, se describen en detalle sus características físico-mecánicas.

Los depósitos de arenas limosas, arenas limosas mal y bien gradadas y de arenas pobremente gradadas encontradas presentan porcentajes de humedad que oscilan entre 8 % y 32,4 %. No fue posible en el laboratorio determinar los límites de Atterberg por tal motivo se utilizaron las siglas NL y NP haciendo referencia al límite líquido y al límite plástico respectivamente; el porcentaje de finos para estas arenas varía entre 5,2 % y 27 %, su contenido de arenas se encuentra entre 49 % y 90,8 %. Por sus características clasifican como SM, SP, SP-SM, SW-SM en el sistema unificado y como A-2-4 (0), A-1-b(0), A-3(0) según la AASHTO.

Se trata de suelos permeables con alta estabilidad volumétrica y nula susceptibilidad a variar de volumen, cuando cambia el contenido de

humedad. Su estado de compacidad evaluada con base en los resultados de los ensayos de penetración normal varía de muy suelta a densa, estimándoseles ángulos de fricción interna entre 27° y 35°

Las arenas arcillosas y las arenas limo-arcillosas presentaron límites líquidos con valores entre 23 % y 38 % con índices de plasticidad que varía de 5 % a 19 %; el contenido de humedad natural de estas arenas fluctuó entre 8,10 % y 41,2 %. De sus características granulométricas obtenemos contenidos de arenas entre 39 % y 66,5 % y de finos entre 27,8 % y 32,9 %; su clasificación de acuerdo al sistema unificado es SC, SM-SC y de acuerdo a la AASHTO es A-2-4(0) y A-2-6(2).

Estas arenas se consideran suelos de permeabilidad moderada. Son susceptibles a cambiar de volumen cuando varía su humedad, su estabilidad volumétrica puede catalogarse como moderadamente alta. Su estado de compacidad se encuentra entre medio y muy denso con ángulos de resistencia al corte estimados en el rango de 31° a 37°.

En las tablas siguientes se resumen los resultados de los ensayos de laboratorio, indicando además una serie de correlaciones obtenida mediante el ensayo de penetración normal.

**Tabla 5-16 Arenas limosas, arenas limosas mal y bien gradadas y arenas pobremente gradadas**

**Fuente: Elaboración propia.**

PARÁMETRO	RESULTADOS
Contenido de Humedad	8 % - 32.4 %
Límite Líquido	NL
Límite Plástico	NP
Índice de Plasticidad	NP
Porcentaje de Gravas	0 % - 30.5 %
Porcentaje de Arenas	49 % - 90.8 %
Porcentaje de Finos	5.2 % - 27 %
Clasificación S.U.C.	SM, SP, SP-SM, SW-SM
Clasificación AASHTO	A-2-4 (0), A-1-b(0), A-3(0)
Peso Unitario Húmedo	18.5kN/m <sup>3</sup> - 19.5kN/m <sup>3</sup>
Gravedad específica	2,64 - 2,65
Ángulo de fricción interna*	27° - 35°
Coeficiente de Poisson*	0.30 - 0.35
Módulo de esfuerzo - deformación*	8 MPa - 35MPa

\*En correlación con el ensayo de penetración normal.

**Tabla 5-17 Arenas arcillosas y arenas limo-arcillosas.**

**Fuente: Elaboración propia.**

PARÁMETRO	RESULTADOS
Contenido de Humedad	8.1 % - 41.2 %
Límite Líquido	23 % - 38 %
Límite Plástico	16 % - 28 %
Índice de Plasticidad	5 % - 19 %
Porcentaje de Gravas	0.6 % - 33.2 %
Porcentaje de Arenas	39 % - 66.5 %
Porcentaje de Finos	27.8 % - 32.9 %
Clasificación S.U.C.	SC, SM-SC
Clasificación AASHTO	A-2-4(0) y A-2-6(2)
Peso Unitario Húmedo	18.5kN/m <sup>3</sup> - 19.5kN/m <sup>3</sup>
Gravedad específica	2,64 - 2,65
Ángulo de fricción interna*	31° - 37°
Coeficiente de Poisson*	0.28 - 0.33
Módulo de esfuerzo - deformación*	5 MPa - 24.5MPa

\*En correlación con el ensayo de penetración normal.

### **5.15. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA - ZONA ENTRE COMPLEJO INDUSTRIAL VIA 40 # 77B - 20 Y CALLE 72**

Teniendo en cuenta las actividades de campo realizadas en la empresa Quintal S.A. y el box de la calle 72, se ha extrapolado la información a esta zona del corredor de estudio. Con la información de dichos puntos, se considera que el sub-suelo en esta área está constituido principalmente por estratos granulares en su mayoría netamente friccionantes (SM, SP-SM y SW-SM) y arenas con cierta plasticidad (SM-SC y SC) que en los primeros metros presentan una compacidad suelta, la cual mejora a medida en que se profundiza en el terreno. En esta zona, se identifican suelos rocosos tipo coralina o arenisca meteorizada; en la zona cercana a la vía 40 dichos afloramientos se encuentran a menor profundidad que cerca al río.

La información del nivel freático en a lo largo del corredor es variable, atendiendo a los cambios por factores climáticos y al relieve; sin embargo, normalmente entre 1.50 metros y 3.5 metros.

Aunque en Quintal no se observa, dado que su extensión queda limitada por la intervención realizada para las obras de mejoramiento urbanístico en el Malecón de la Avenida del Río, las perforaciones en el box ubicado sobre la calle 72 hacen ver que el suelo en cercanías al

río (sondeo N°2) se encuentra constituido por estratos cohesivos de baja compresibilidad y permeabilidad.

## **5.16. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA – ZONAS ENTRE CALLE 72 Y LOTE VÍA 40 # 50B - 54**

Similar a lo realizado en el numeral anterior, será extrapolada la información de los sondeos realizados en esta zona para las franjas de terreno donde no se tiene información de exploraciones de campo. Para esto, como en el sector anteriormente analizado, será empleada la información de los sondeos sobre el box, las perforaciones del puente en la intersección de la avenida Murillo con vía 40, y las actividades de campo en el lote del concesionario Fotón.

Estas zonas del corredor presentan estratos granulares entre arenas netamente friccionantes y arenas con cierta cohesividad, con propiedades mecánicas regulares en los primeros metros que mejoran a medida que se profundiza en el suelo (en su mayoría a partir de 10.0 metros). De igual manera, se identifican estratos rocosos de tipo calizas color blanco.



## 5.17. ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE RIESGO

En esta sección serán analizadas distintas condiciones geotécnicas particulares presente en el subsuelo objeto de estudio, teniendo en cuenta las perforaciones realizadas.

En el capitulo H.9 de la NSR-10, se relacionan distintos fenómenos o condiciones que pueden presentar los suelos; en este se destaca la expansividad y colapsabilidad. Similarmente, en el numeral H.7.4 se describe y caracteriza el fenómeno de licuación y la susceptibilidad de los suelos a desarrollarlo.

De igual manera, serán consideradas las propiedades geotécnicas para establecer resistencia y deformabilidad del suelo con la información de campo y laboratorio, y mediante las inspecciones realizadas en el sector y las condiciones del relieve, establecer posibles riesgos por remoción en masa.

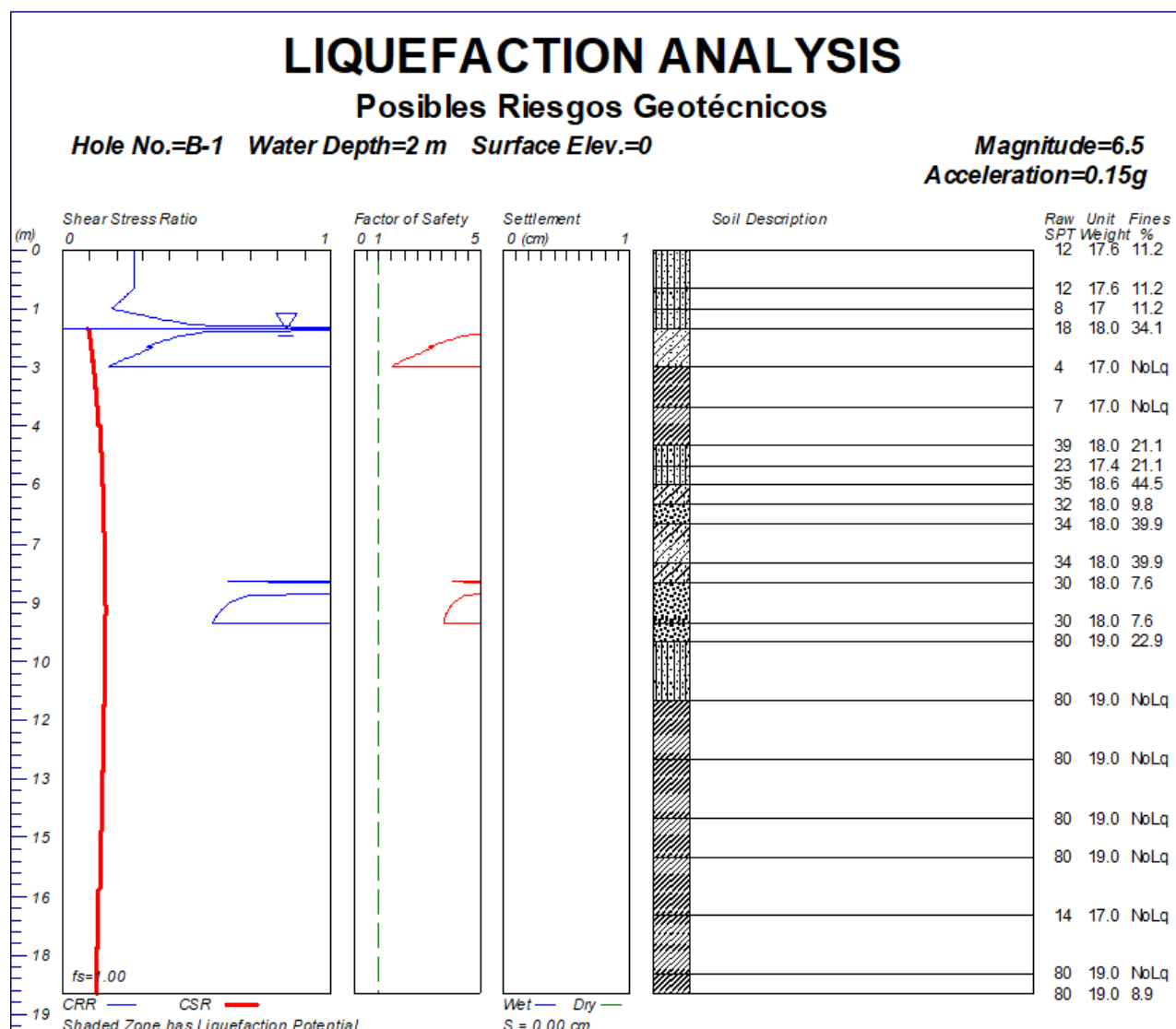
En los siguientes apartes del informe serán analizados los aspectos mencionados previamente.

### 5.17.1. Licuación

Ante la presencia de agua sobre estratos granulares, y su posible estado de saturación, el suelo es susceptible al fenómeno de licuación. Según la norma NSR – 10, un suelo granular o con niveles bajos de plasticidad, en estado de saturación y lento o nulo drenaje, experimentará un exceso de presión de poros y la reducción progresiva del esfuerzo efectivo hasta cuando las partículas de suelo comienzan a flotar.

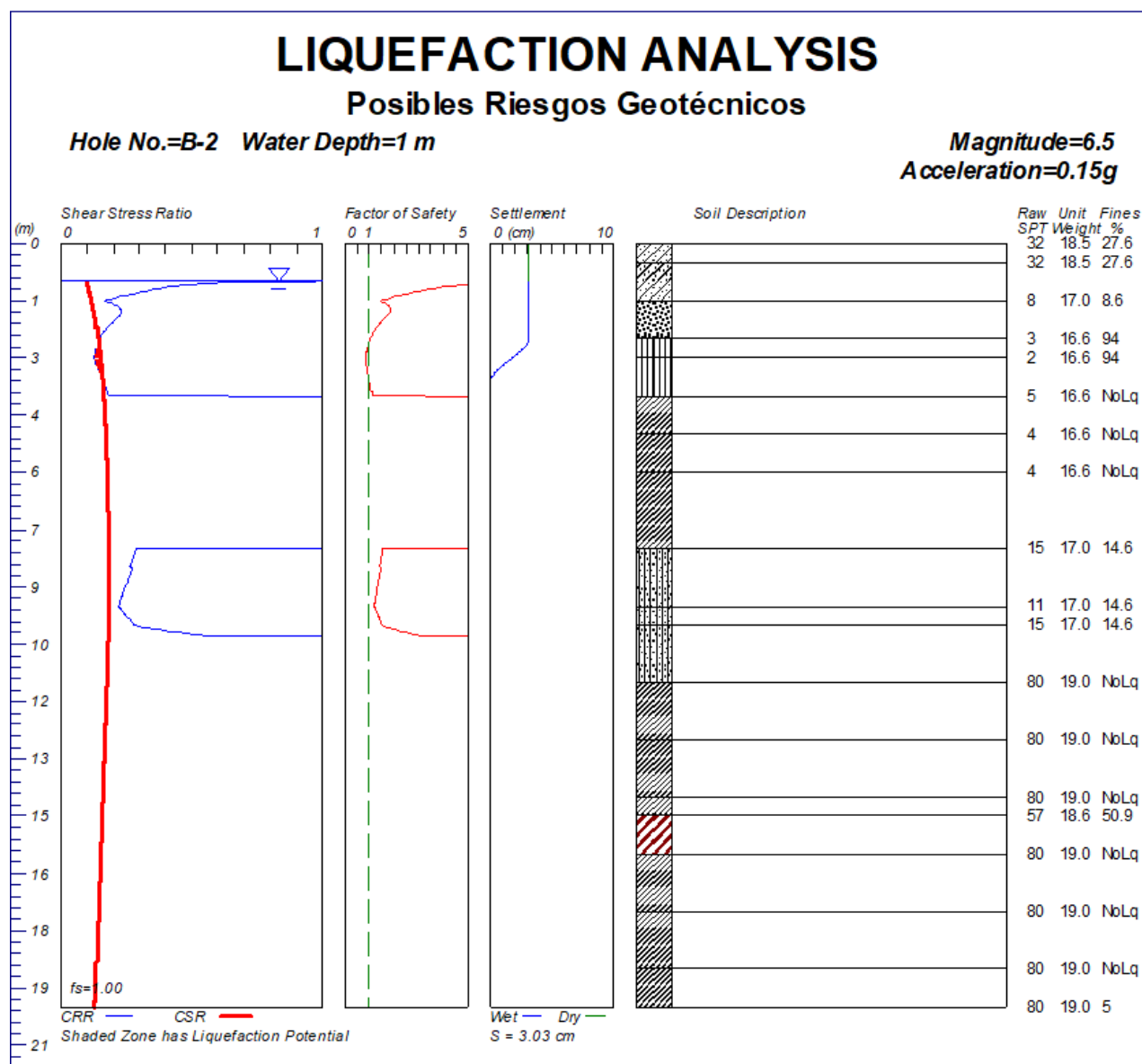
Para el análisis se utilizó un valor de aceleración en la superficie del terreno igual a 0.15 g, una magnitud de sismo de diseño de 6.5 y una profundidad del agua variable: el nivel freático ascendería 1.0 metro con respecto a la medición detectada durante las actividades de campo.

Los datos del suelo corresponden a los registrados en los formatos de perforación, complementado con los resultados de los ensayos de laboratorio.



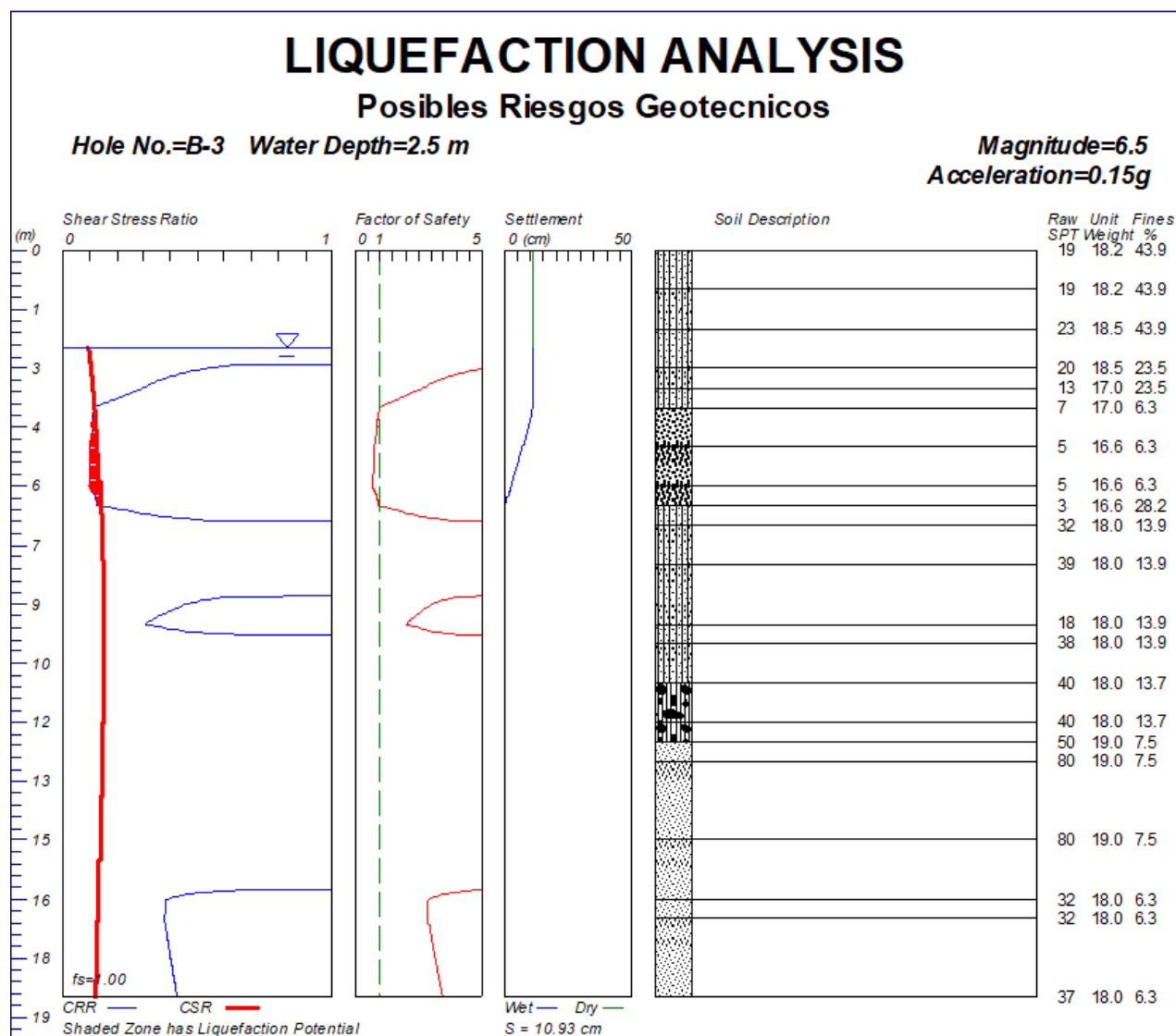
**Figura 5-9 Análisis de licuación – Sondeo 1**

**Fuente: Elaboración propia en Liquefy.**



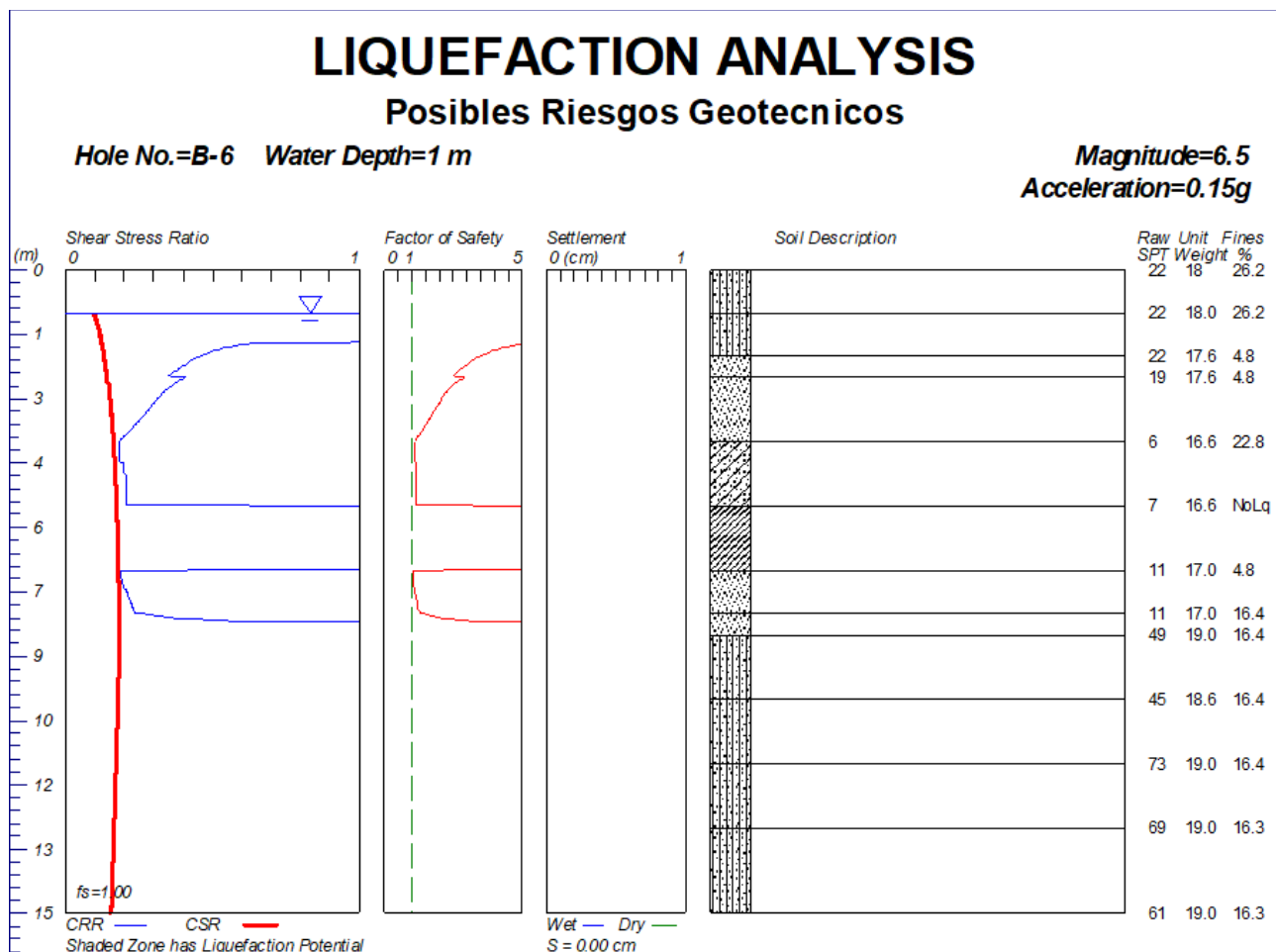
**Figura 5-10 Análisis de licuación – Sondeo 2**

**Fuente: Elaboración propia en Liquefy.**



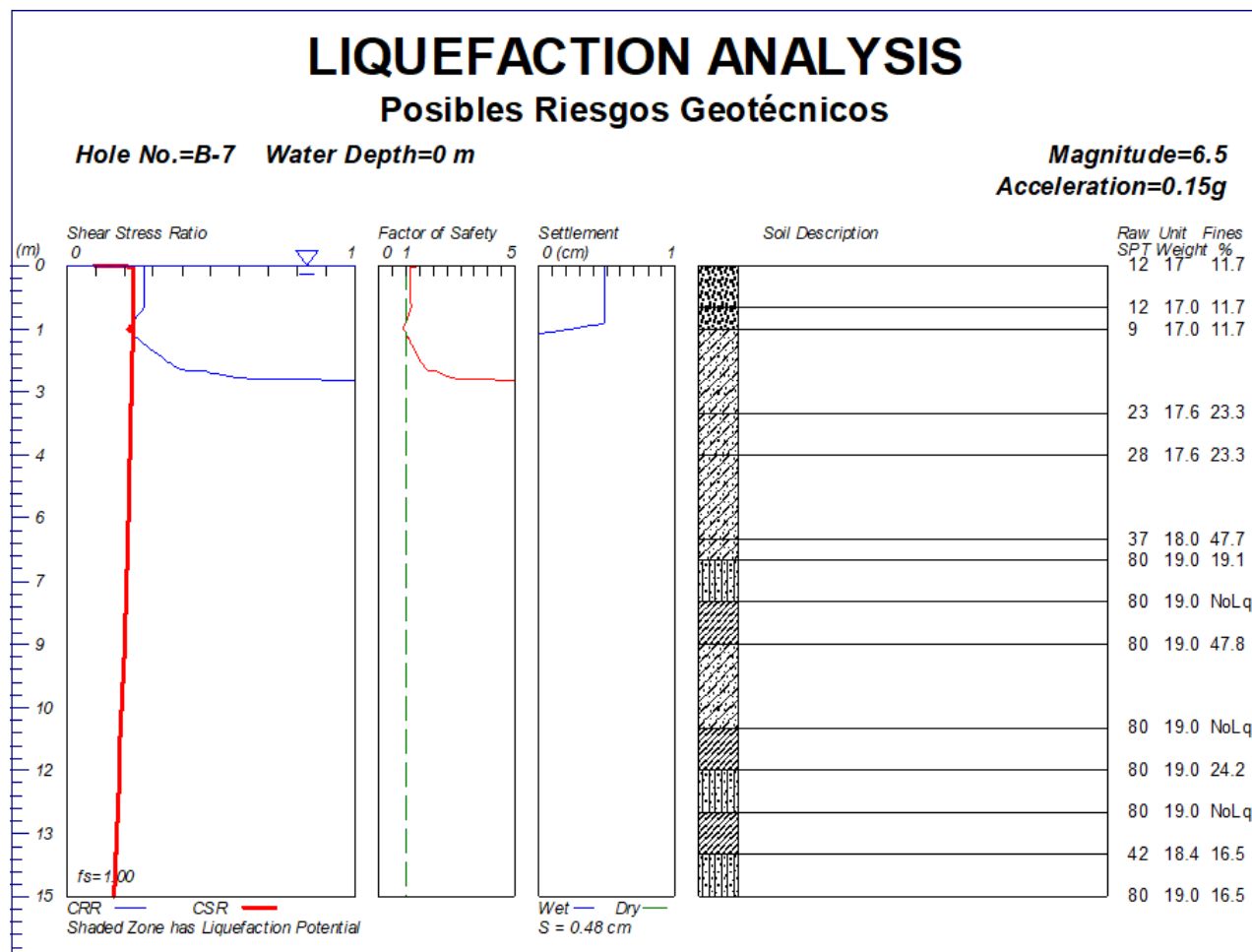
**Figura 5-11 Análisis de licuación – Sondeo 3**

**Fuente: Elaboración propia en Liquefy.**



**Figura 5-12 Análisis de licuación – Sondeo 6**

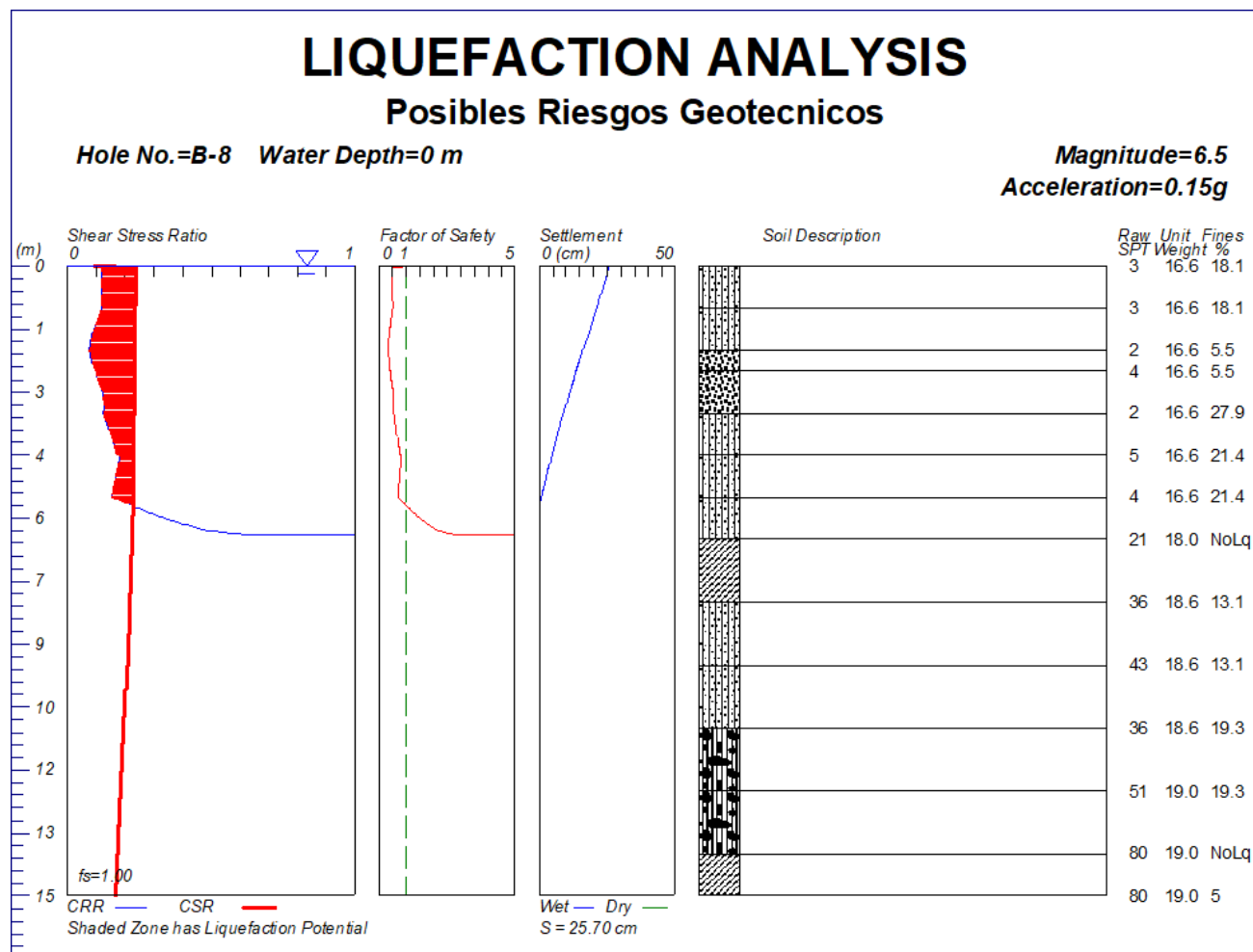
**Fuente: Elaboración propia en Liquefy.**



**Figura 5-13 Análisis de licuación – Sondeo 7**

**Fuente: Elaboración propia en Liquefy.**





**Figura 5-14 Análisis de licuación – Sondeo 8**

**Fuente: Elaboración propia en Liquefy.**

Según los análisis realizados mediante el software Liquefy, con la información de campo y laboratorio, fueron detectados estratos

potencialmente licuables en los sondeos 2, 3, 7 y 8, con asentamientos a causa de este fenómeno de hasta 25 cm.

Además, teniendo en cuenta la información en las demás exploraciones, se observa que, en general, para un rango de profundidad de hasta 10.0 metros, se identifican suelos potencialmente licuables, debido a la presencia en gran medida de estratos granulares y la presencia de agua en la zona, dada la cercanía al río Magdalena.

Por lo anterior, la mayor parte de la extensión objeto de estudio se estableció como propensa a experimentar el fenómeno de licuación.

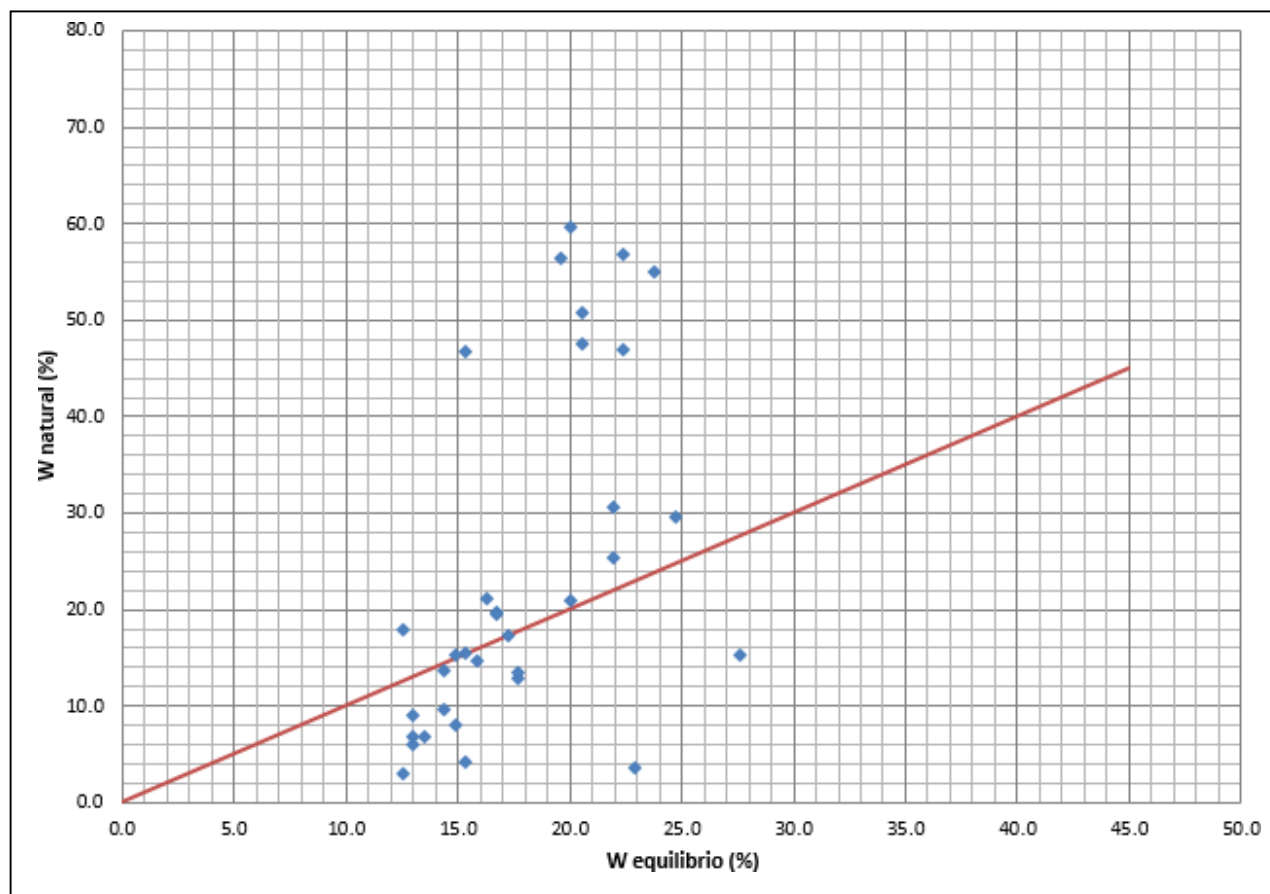
#### **5.17.2. Análisis de expansividad**

Con base en las condiciones de humedad determinadas por medio de los ensayos de laboratorio, junto con las características plásticas de cada uno de los materiales encontrados, se evaluó la susceptibilidad de los suelos presentes a lo largo del trazado de la tubería a expandirse debido a la presencia de agua. Si el contenido de humedad natural es inferior al valor de la humedad de equilibrio, los suelos que presenten esta condición sufrirán un aumento volumétrico debido a la

absorción de agua hasta alcanzar la humedad de equilibrio, tal como se expone en el numeral H.9.1.4 de la norma NSR-10.

La siguiente expresión, tomada de la NSR-98, fue utilizada para la estimación de la humedad de equilibrio:

$$W_{eq} = 0.47LL + 3.6$$



**Figura 5-15 Humedad de equilibrio vs Humedad natural en estratos cohesivos**

**Fuente: Elaboración propia.**

Como se puede observar en la figura, gran parte de los estratos cohesivos presentan humedades naturales por debajo de la humedad de equilibrio, más específicamente en los sondeos 3 y 6. Además, en la información complementaria, se estableció que los estratos

predominantes son de naturaleza granulares, con lo cual esta condición no será predominante en la zona, concentrándose en el sector entre la Base Naval y la planta de Cemex.

Esto deberá considerarse una vez se desarrollen futuros proyectos, para evitar afectaciones en cuanto al potencial de expansión se refiere, entre otras formas, a través de la evacuación oportuna de aguas de escorrentía.

Con lo anterior, se consideró conveniente estimar las posibles presiones de expansión. Por medio de la formulación desarrollada por Komornik y David (1969), fueron evaluadas las presiones de expansión donde se relaciona el límite líquido, la humedad natural y el peso específico seco del suelo.

$$\log P_s = -1.868 + 2.08 w_L + 0.665 \rho_d - 2.69 w_N \quad \left( \frac{kg}{cm^2} \right)$$

Dónde:

Ps: Presión de expansión

w<sub>L</sub>: Límite líquido

pd: Peso específico seco del suelo

W<sub>N</sub>; Humedad natural del suelo

Aplicando esta fórmula, se estimaron valores de presión de expansión para la línea de impulsión entre 0.90 kPa (0.01 kgf/cm<sup>2</sup>) y 132.0 kPa (1.35 kgf/cm<sup>2</sup>).

**Tabla 5-18 Análisis Presión de Expansión y Humedad de equilibrio**

**Fuente: Elaboración propia.**

	Prof. (m)		USCS	N <sub>campo</sub>	LL (%)	IP (%)	Weq (%)	W <sub>nat</sub> (%)	γ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	LogP <sub>ex</sub>	P <sub>ex</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	P <sub>ex</sub> (kPa)
S1	1.5	2.0	SC	18	26	8	15.82	14.76	15.68	-0.66	0.22	21.41
	2.0	3.0	CL	4	39	20	21.93	25.29	13.57	-0.82	0.15	14.94
	3.0	4.0	CL	7	39	20	21.93	30.68	13.01	-1.00	0.10	9.80
	5.5	6.0	SC	35	27	10	16.29	21.14	15.35	-0.83	0.15	14.37
	6.5	7.0	SC	34	28	10	16.76	19.66	15.04	-0.79	0.16	15.74
	7.0	8.0	SC	34	28	10	16.76	19.60	15.05	-0.79	0.16	15.81
	15.5	17.0	CL	14	45	24	24.75	29.69	13.11	-0.84	0.14	14.11
S2	1.5	2.5	ML	3	40	12	22.40	46.98	11.29	-1.53	0.03	2.87
	2.5	3.0	ML	2	40	12	22.40	56.83	10.58	-1.85	0.01	1.39
	3.0	4	CL	5	36	16	20.52	50.79	11.01	-1.74	0.02	1.79
	4.0	5.0	CL	4	36	16	20.52	47.57	11.25	-1.64	0.02	2.27
	5.0	6.0	CL	4	35	16	20.05	59.61	10.40	-2.04	0.01	0.90
	14.5	15.0	CH	57	51	24	27.57	15.39	16.12	-0.13	0.74	72.97
S6	2.5	4.0	SC	6	34	14	19.58	56.32	10.62	-1.96	0.01	1.09
	4.0	5.5	CL	7	43	21	23.81	55.05	10.71	-1.73	0.02	1.83
S7	1.5	3.5	SC	23	30	13	17.70	12.81	15.60	-0.53	0.29	28.88
	3.5	4.5	SC	28	30	13	17.70	13.51	15.51	-0.56	0.28	27.25
	4.5	6.5	SC	37	29	14	17.23	17.33	15.34	-0.69	0.20	19.98

	Prof. (m)		USCS	N <sub>campo</sub>	LL (%)	IP (%)	Weq (%)	W <sub>nat</sub> (%)	γ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	LogP <sub>ex</sub>	P <sub>ex</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	P <sub>ex</sub> (kPa)
	8.0	9.0	SC	80	41	22	22.87	3.60	18.34	0.13	1.35	132.69
S8	5.5	6.5	CL	21	35	15	20.05	21.00	14.88	-0.70	0.20	19.73



### 5.17.3. Análisis de colapsabilidad

El numeral H.9.3.1 de la NSR-10, identifica los suelos colapsables como “aquellos depósitos formados por arena y limos, en algunos casos cementados por arcillas y sales (carbonato de calcio), que, si bien resisten cargas considerables en estado seco, sufren pérdidas de su conformación estructural, acompañadas de severas restricciones en el volumen exterior cuando se aumenta su humedad o se saturan”.

En las perforaciones realizadas fueron detectados, en gran medida, estratos granulares de poca o nula plasticidad, considerados en primera instancia como potencialmente colapsables. De igual manera, en la estratigrafía identificada en los resultados de exploración de los estudios complementarios, se estableció la presencia de estos materiales en los primeros metros, estableciendo así que la mayor parte del corredor es susceptible a experimentar de colpasabilidad.

Según el criterio de evaluación, de la NSR-10 Sub-numeral H.9.3.3.1:

$$\text{Si } \frac{\gamma_d}{\gamma_{d_{crit}}} > 1 \text{ el suelo es estable o expansivo, y si}$$
$$\text{Si } \frac{\gamma_d}{\gamma_{d_{crit}}} \leq 1 \text{ el suelo es colapsable}$$

Dónde:

$\gamma_d$ : Peso unitario seco del suelo

$\gamma_{dcrit}$ : Peso unitario crítico como identificación de la colapsabilidad

$$\gamma_{dcrit} = \frac{\gamma_w}{\left(\frac{1}{G_s} + w_L\right)}$$

$G_s$ : Gravedad específica del suelo

$w_L$ : Límite líquido

**Tabla 5-19 Cálculo de colapsabilidad**

**Fuente: Elaboración propia.**

	Prof. (m)		USCS	$N_{campo}$	LL (%)	IP (%)	$W_{nat}$ (%)	$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$G_s$	$\gamma_{dcrit}$	$\gamma_d/\gamma_{dcrit}$
S1	0.0	1.0	SM	12	0	0	7.22	15.86	2.65	26.00	0.6
S1	1.0	1.5	SM	8	0	0	7.10	16.43	2.65	26.00	0.6
S1	1.5	2.0	SC	18	26	8	14.76	15.68	2.67	15.46	1.0
S1	2.0	3.0	CL	4	39	20	25.29	13.57	2.70	12.90	1.1
S1	3.0	4.0	CL	7	39	20	30.68	13.01	2.70	12.90	1.0
S1	4.0	5.0	SM	39	0	0	19.11	15.11	2.65	26.00	0.6
S1	5.0	5.5	SM	23	0	0	21.20	14.36	2.65	26.00	0.6
S1	5.5	6.0	SC	35	27	10	21.14	15.35	2.67	15.22	1.0
S1	6.0	6.5	SW-SM	32	0	0	14.90	15.67	2.65	26.00	0.6
S1	6.5	7.0	SC	34	28	10	19.66	15.04	2.67	14.99	1.0
S1	7.0	8.0	SC	34	28	10	19.60	15.05	2.67	14.99	1.0
S1	8.0	8.5	SW-SM	30	0	0	16.41	15.46	2.65	26.00	0.6
S1	8.5	9.5	SW-SM	30	0	0	16.41	15.46	2.65	26.00	0.6
S1	9.5	10.0	SM	80	19	3	17.93	16.11	2.65	17.29	0.9
S1	10.0	11.5	ROCA	80	0	0	8.62	17.49	2.60	25.51	-
S1	11.5	13.0	ROCA	80	0	0	10.88	17.14	2.60	25.51	-
S1	13.0	14.5	ROCA	80	0	0	14.89	16.54	2.60	25.51	-
S1	14.5	15.5	ROCA	80	0	0	14.89	16.54	2.60	25.51	-

	Prof. (m)		USCS	N <sub>campo</sub>	LL (%)	IP (%)	W <sub>nat</sub> (%)	γ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	G <sub>s</sub>	γ <sub>dcrit</sub>	γ <sub>d</sub> /γ <sub>dcrit</sub>
S1	15.5	17.0	CL	14	45	24	29.69	13.11	2.70	11.96	1.1
S1	17.0	18.5	ROCA	80	0	0	12.90	16.83	2.60	25.51	-
S1	18.5	19.0	SW-SM	80	0	0	15.42	16.46	2.65	26.00	0.6
S2	0.0	0.5	SM-SC	32	20	4	6.74	17.33	2.67	17.07	1.0
S2	0.5	1.5	SW-SM	8	0	0	10.14	15.43	2.65	26.00	0.6
S2	1.5	2.5	ML	3	40	12	46.98	11.29	2.70	12.73	0.9
S2	2.5	3.0	ML	2	40	12	56.83	10.58	2.70	12.73	0.8
S2	3.0	4	CL	5	36	16	50.79	11.01	2.70	13.43	0.8
S2	4.0	5.0	CL	4	36	16	47.57	11.25	2.70	13.43	0.8
S2	5.0	6.0	CL	4	35	16	59.61	10.40	2.70	13.62	0.8
S2	6.0	8.0	SM	15	0	0	30.49	13.03	2.65	26.00	0.5
S2	8.0	9.5	SM	11	0	0	24.59	13.64	2.65	26.00	0.5
S2	9.5	10.0	SM	15	0	0	30.13	13.06	2.65	26.00	0.5
S2	10.0	11.5	ROCA	80	0	0	6.33	17.87	2.60	25.51	-
S2	11.5	13.0	ROCA	80	0	0	3.47	18.36	2.60	25.51	-
S2	13.0	14.5	ROCA	80	0	0	3.47	18.36	2.60	25.51	-
S2	14.5	15.0	CH	57	51	24	15.39	16.12	2.70	11.14	1.4
S2	15.0	16.0	ROCA	80	0	0	7.36	17.70	2.60	25.51	-
S2	16.0	17.5	ROCA	80	0	0	10.29	17.23	2.60	25.51	-
S2	17.5	19.0	ROCA	80	0	0	5.41	18.02	2.60	25.51	-
S2	19.0	20.0	ROCA	80	0	0	7.88	17.61	2.60	25.51	-
S3	0.0	1.0	SM-SC	19	20	4	6.06	17.16	2.67	17.07	1.0
S3	1.0	2.0	SM-SC	23	20	4	9.07	16.96	2.67	17.07	1.0
S3	2.0	3.0	SM-SC	20	23	5	9.69	16.87	2.67	16.23	1.0
S3	3.0	3.5	SM-SC	13	23	5	13.72	14.95	2.67	16.23	0.9
S3	3.5	4.0	SW-SM	7	0	0	32.05	12.87	2.65	26.00	0.5
S3	4.0	5.0	SW-SM	5	0	0	20.85	13.74	2.65	26.00	0.5
S3	5.0	6.0	SW-SM	5	0	0	20.85	13.74	2.65	26.00	0.5
S3	6.0	6.5	SM-SC	3	25	7	46.74	11.31	2.67	15.71	0.7
S3	6.5	7.0	SM	32	0	0	25.40	14.35	2.65	26.00	0.6
S3	7.0	8.0	SM	39	0	0	39.08	12.94	2.65	26.00	0.5
S3	8.0	9.5	SM	18	0	0	94.29	9.26	2.65	26.00	0.4
S3	9.5	10.0	SM	38	0	0	26.42	14.24	2.65	26.00	0.5

	Prof. (m)		USCS	N <sub>campo</sub>	LL (%)	IP (%)	W <sub>nat</sub> (%)	γ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	G <sub>s</sub>	γ <sub>dcrit</sub>	γ <sub>d</sub> /γ <sub>dcrit</sub>
S3	10.0	11.0	GM-GC	40	25	7	15.50	15.58	2.60	15.46	1.0
S3	11.0	12.0	GM-GC	40	25	7	4.26	17.26	2.60	15.46	1.1
S3	12.0	12.5	SP-SM	50	0	0	16.32	16.33	2.65	26.00	0.6
S3	12.5	13.0	SP-SM	80	0	0	15.69	16.42	2.65	26.00	0.6
S3	13.0	15.0	SP-SM	80	0	0	7.51	17.67	2.65	26.00	0.7
S3	15.0	16.5	SP-SM	32	0	0	19.29	15.09	2.65	26.00	0.6
S3	16.5	17.0	SP-SM	32	0	0	16.28	15.48	2.65	26.00	0.6
S3	17.0	19.0	SP-SM	37	0	0	9.66	16.41	2.65	26.00	0.6
S6	0.0	1.0	SM-SC	22	21	5	6.90	16.84	2.67	16.78	1.0
S6	1.0	2.0	SP	22	0	0	13.16	15.55	2.65	26.00	0.6
S6	2.0	2.5	SP	19	0	0	11.18	15.83	2.65	26.00	0.6
S6	2.5	4.0	SC	6	34	14	56.32	10.62	2.67	13.73	0.8
S6	4.0	5.5	CL	7	43	21	55.05	10.71	2.70	12.26	0.9
S6	5.5	7.0	SP	11	0	0	26.04	13.49	2.65	26.00	0.5
S6	7.0	8.0	SP	11	0	0	26.04	13.49	2.65	26.00	0.5
S6	8.0	8.5	SM	49	0	0	12.55	16.88	2.65	26.00	0.6
S6	8.5	10.0	SM	45	0	0	18.49	15.70	2.65	26.00	0.6
S6	10.0	11.5	SM	73	0	0	26.58	15.01	2.65	26.00	0.6
S6	11.5	13.0	SM	69	0	0	18.13	16.08	2.65	26.00	0.6
S6	13.0	15.0	SM	61	0	0	18.13	16.08	2.65	26.00	0.6
S7	0.0	1.0	SW-SM	12	0	0	14.13	14.90	2.65	26.00	0.6
S7	1.0	1.5	SW-SM	9	0	0	15.00	14.78	2.65	26.00	0.6
S7	1.5	3.5	SC	23	30	13	12.81	15.60	2.67	14.54	1.1
S7	3.5	4.5	SC	28	30	13	13.51	15.51	2.67	14.54	1.1
S7	4.5	6.5	SC	37	29	14	17.33	15.34	2.67	14.76	1.0
S7	6.5	7.0	SM	80	0	0	5.51	18.01	2.65	26.00	0.7
S7	7.0	8.0	ROCA	80	0	0	7.13	17.74	2.60	25.51	-
S7	8.0	9.0	SC	80	41	22	3.60	18.34	2.67	12.50	1.5
S7	9.0	11.0	ROCA	80	0	0	18.18	16.08	2.60	25.51	-
S7	11.0	12.0	SM-SC	80	19	4	3.03	18.44	2.67	17.38	1.1
S7	12.0	13.0	ROCA	80	0	0	21.92	15.58	2.60	25.51	-
S7	13.0	14.0	SM	42	0	0	11.52	16.50	2.65	26.00	0.6
S7	14.0	15.0	SM	80	0	0	11.52	17.04	2.65	26.00	0.7

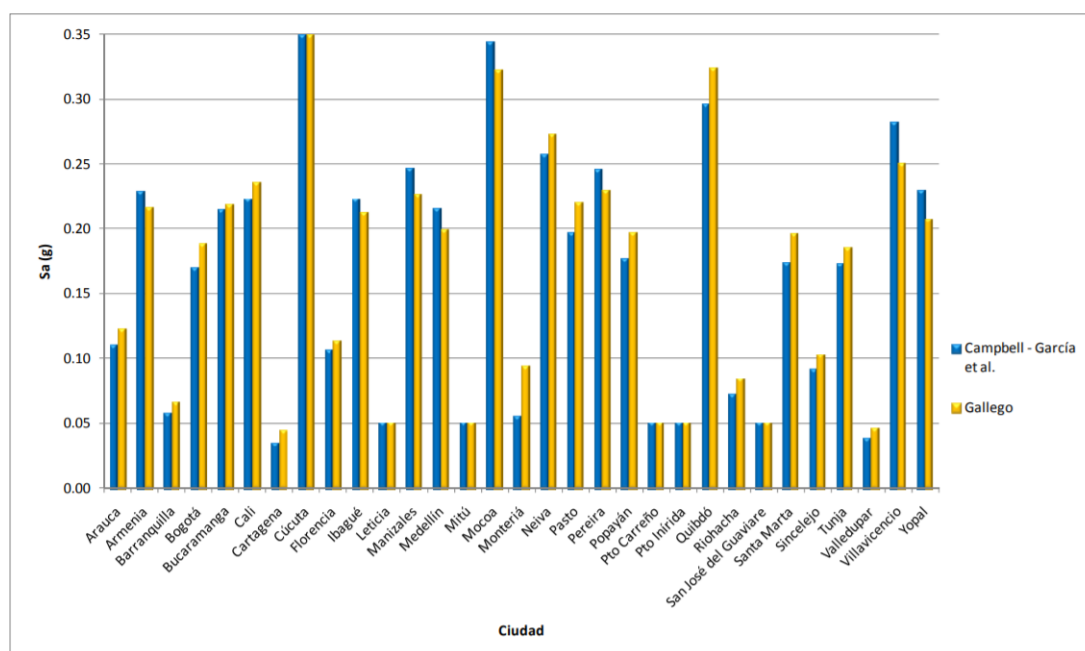
	Prof. (m)		USCS	N <sub>campo</sub>	LL (%)	IP (%)	W <sub>nat</sub> (%)	γ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	G <sub>s</sub>	γ <sub>dcrit</sub>	γ <sub>d</sub> /γ <sub>dcrit</sub>
S8	0.0	1.0	SM	3	0	0	15.49	14.37	2.65	26.00	0.6
S8	1.0	2.0	SW-SM	2	0	0	34.73	12.32	2.65	26.00	0.5
S8	2.0	2.5	SW-SM	4	0	0	42.79	11.63	2.65	26.00	0.4
S8	2.5	3.5	SM	2	0	0	25.25	13.25	2.65	26.00	0.5
S8	3.5	4.5	SM	5	0	0	42.03	11.69	2.65	26.00	0.4
S8	4.5	5.5	SM	4	0	0	35.88	12.22	2.65	26.00	0.5
S8	5.5	6.5	CL	21	35	15	21.00	14.88	2.70	13.62	1.1
S8	6.5	8.0	SM	36	0	0	36.00	13.68	2.65	26.00	0.5
S8	8.0	9.5	SM	43	0	0	43.00	13.01	2.65	26.00	0.5
S8	9.5	11.0	GM-GC	36	24	6	15.31	16.13	2.60	15.71	1.0
S8	11.0	12.5	GM-GC	51	24	6	7.97	17.60	2.60	15.71	1.1
S8	12.5	14.0	ROCA	80	0	0	2.34	18.57	2.60	25.51	-
S8	14.0	15.0	ROCA	80	0	0	2.78	18.49	2.60	25.51	-

Rojo: Colapsable.

#### 5.17.4. Sismicidad

De acuerdo con el “Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia” adelantado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) en 2009, fueron analizados, entre otros, los registros sísmicos contenidos en el catálogo elaborado por INGEOMINAS en 2009, el cual cuenta con información de eventos sísmicos ocurridos en el territorio nacional desde 1566 hasta el 2008. A partir de estos, y por medio de los modelos de atenuación desarrolladas por Campbell (1997), Gallego (2000) y García (2005), fueron determinados los

valores de aceleración máxima probable para un evento sísmico con un periodo de retorno de 475 años, obteniéndose valores del orden de 0.06g para la ciudad de Barranquilla.

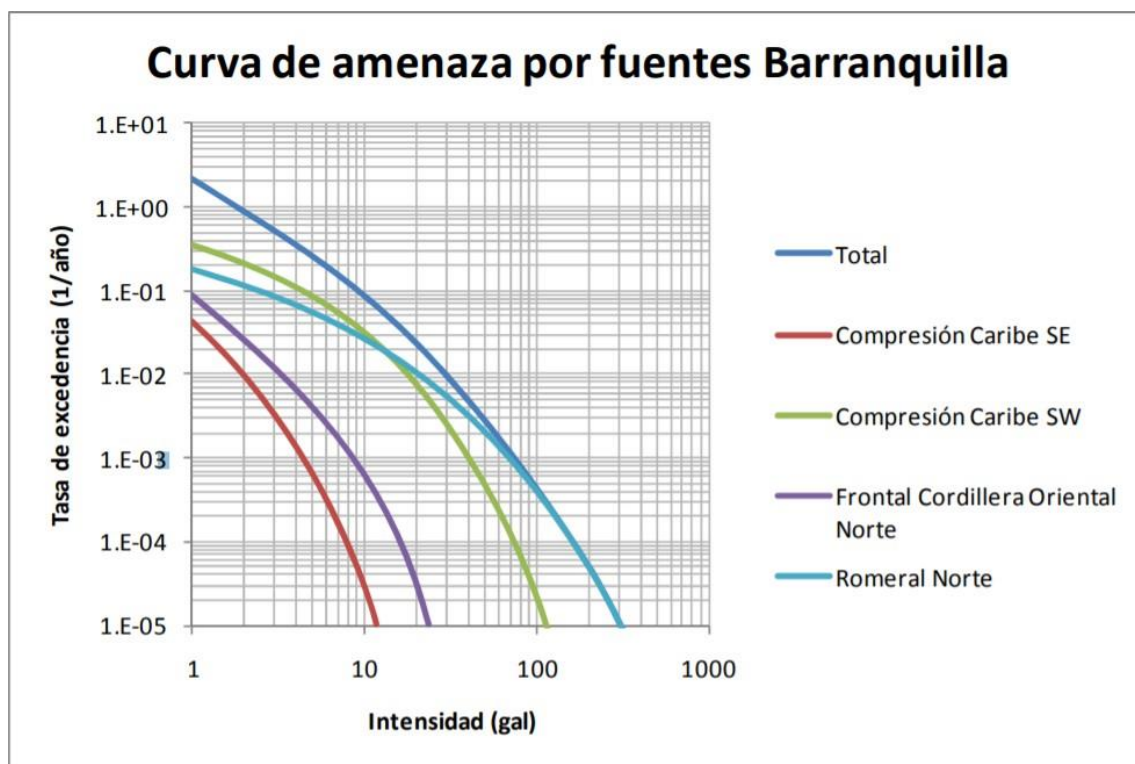


**Figura 5-16 Aceleración máxima del terreno para las capitales de los departamentos de Colombia, para un periodo de retorno de 475 años**

**Fuente: AIS 2009**

Similarmente, elaboraron curvas de amenaza, donde se relaciona la tasa de excedencia y la intensidad de sismos para las fuentes

sismogénicas relevantes en el sitio de análisis. En la siguiente figura se registran las curvas de amenaza para la ciudad de Barranquilla.



**Figura 5-17 Curva de amenaza sísmica ciudad de Barranquilla**

**Fuente: NSR-10**

Con base en la curva de amenaza sísmica es posible estimar los valores de intensidad de un evento sísmico a partir de la probabilidad

de excedencia de este, en términos de periodos de retorno, es posible establecer la intensidad de un sismo para un periodo de retorno determinado. Para el caso del periodo de retorno de 475 años, se tendría una probabilidad de 0.0021, para la cual la intensidad sísmica es de 60 gal ( $\text{cm/s}^2$ ), es decir aproximadamente 0.06 g. según la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, la aceleración sísmica a utilizar en la zonificación básica de amenaza corresponde a un sismo con un periodo de retorno de 100 años. Para un evento sísmico con las características mencionadas resulta una intensidad de 30 gal (0.030 g).

- **Valoración de la sismicidad según el reglamento NSR-10**

La ciudad de Barranquilla se encuentra localizada en zona de amenaza sísmica BAJA, según lo establecido en el reglamento de diseño Sismo Resistente NSR - 10; los efectos locales de respuesta sísmica del proyecto deben evaluarse utilizando los siguientes parámetros básicos:

- Valor del coeficiente  $A_a$  (Aceleración horizontal pico efectiva): 0.10.
- Valor del coeficiente  $A_v$  (Velocidad horizontal pico efectiva):



0.10.

**Tabla 5-20 Valor de  $A_a$  y  $A_v$  para las ciudades capitales de departamento**

**Fuente: Reglamento NSR – 10**

Ciudad	$A_a$	$A_v$	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Amenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	0.10	Intermedia
San José del Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincelejo	0.10	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	0.10	Baja
Villavicencio	0.35	0.30	Alta
Yopal	0.30	0.20	Alta

En cuanto a la clasificación del suelo según lo establecido por el reglamento de diseño sismo-resistente NSR-10, dada la presencia de estratos licuables en gran parte de los estudios realizados (incluyendo los sondeos para el presente informe), se considera la clasificación de estos como tipo F.

**Tabla 5-21 - Perfiles de suelos.**

**Fuente: Reglamento NSR – 10**

Tipo de perfil	Descripción	Definición
<b>A</b>	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500 \text{ m/s}$
<b>B</b>	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 760 \text{ m/s}$
<b>C</b>	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$ , o $\bar{s}_u \geq 100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$
<b>D</b>	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$ , o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
<b>E</b>	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total <b>H</b> mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u$
<b>F</b>	Los perfiles de suelo tipo <b>F</b> requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: <b>F<sub>1</sub></b> — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. <b>F<sub>2</sub></b> — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ( <b>H</b> > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). <b>F<sub>3</sub></b> — Arcillas de muy alta plasticidad ( <b>H</b> > 7.5 m con Índice de Plasticidad <b>IP</b> > 75) <b>F<sub>4</sub></b> — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ( <b>H</b> > 36 m)	

### **5.17.5. Resistencia**

Según la estratigrafía descrita en cada zona a través de los sondeos realizados y la información de estudios anteriores, se observa la presencia en gran medida de estratos granulares en los primeros metros con ciertas intercalaciones de estratos cohesivos mayormente de baja compresibilidad en los primeros 10.0 metros aproximadamente (varía según la cercanía al río). Posterior a esto, fueron identificados estratos de roca tipo coralina, algunas en matriz de arena.

En general, en los primeros metros es posible observar una variación en cuanto a la resistencia, debido a que en algunas zonas se identificaron arenas sueltas y estratos cohesivos blandos, de pobres características mecánicas; sin embargo, a medida que se profundiza, las propiedades de resistencia mejoran.

### **5.17.6. Dispersividad**

La ocurrencia del fenómeno de erosión depende principalmente del tipo de suelo, y de factores detonantes como las aguas de escorrentía derivadas de lluvias, en particular cuando son de alta intensidad y duración. Los fenómenos erosivos se manifiestan mediante surcos y

cárcavas, que derivan en arrastres y caída de materiales, esto último, en terrenos con pendientes.

Aun cuando no se hicieron ensayos de laboratorio para evaluar este fenómeno como pueden ser el ensayo de doble hidrómetro, crumb, pinhole o inclusive resistencia al desmoronamiento, no se evidencian cárcavas y/o surcos significativos y profundos, que se pueden traducir en procesos de erosión a nivel de superficie en los estratos friccionantes encontrados.

#### **5.17.7. Remoción en masa**

El costado oriental de la ciudad de Barranquilla, sobre la cual se encuentra el sector objeto de estudio, se caracteriza por presentar un relieve relativamente plano. Además, por las actividades antrópicas llevadas a cabo en la zona para la conformación de espacios industriales, comerciales y de turismo, la superficie ha sido homogeneizada, con superficies con pendientes regulares y en los cuales se han elaborado sistemas de drenaje para evacuar aguas de escorrentía.

A partir de lo anterior, el corredor comprendido entre La Loma y Puerta de Oro, se considera no propenso a experimentar fenómenos de remoción en masa.

## 6. ANÁLISIS DE INGENIERÍA GEOTECNICA

En este aparte del informe se registran las conclusiones pertinentes, derivadas de los objetivos y resultados de la investigación; las mismas constituyen los análisis de ingeniería geotécnica del estudio.

### 6.1. CONCLUSIONES

- El sub-suelo presente a lo largo del corredor en estudio está constituido por suelos de naturaleza predominantemente friccionantes, con presencia de finos de plasticidad moderada en algunos estratos. También se encuentran depósitos intercalados de suelos cohesivos tipo arcillas y limos de baja y alta compresibilidad.
- Las propiedades físicas y mecánicas varían según la profundidad y la distancia a la Vía 40 y ribera izquierda del río Magdalena.
- En la inmediata proximidad a la vía 40, predominan estratos friccionantes y friccionantes cohesivos a profundidades

superficiales, siendo frecuente la presencia de estratos calizos (caliches) los cuales se profundizan en la medida que nos aproximamos al río. En algunos sectores aparecen rellenos heterogéneos de espesores variables, constituidos por basuras y otros materiales orgánicos, como también residuos de construcción.

- En la zona adyacente a la ribera izquierda del río Magdalena, se encuentran sedimentos de textura fina, con presencia de materia orgánica, los cuales se consideran depósitos aluviales derivados de las avenidas del río. Estos suelos cuyos espesores pueden alcanzar profundidades entre 7.0 metros y 9.0 metros son de baja resistencia y alta compresibilidad. A profundidades mayores de 9.0 metros, generalmente aparecen estratos de resistencia creciente y menor deformabilidad, tipo calizas y coralinas con alto grado de meteorización con presencia de oquedades o vacíos en su estructura.
- La profundidad de las aguas libres subterráneas varía de acuerdo con la distancia al río, la época del año y el régimen de lluvias en la zona del corredor en estudio. En los registros de perforación analizados, se observan profundidades promedias de nivel freático, entre 1.0 metros y 3.50 metros.

## **6.2. POTENCIALES RIESGOS GEOTÉCNICOS Y LOCALIZACIÓN APROXIMADA**

- Los estratos calizos y coralinos que se encuentran a profundidades superficiales próximos a la vía 40, y después de los 9.0 metros de profundidad en cercanías al río, son susceptibles de exhibir oquedades y vacíos, como resultado de la disolución del carbonato cálcico presente en su constitución. Esta condición puede producir pérdidas de resistencia y aumento de deformación, en soluciones de cimentación superficiales y profundas. Cuando se trata de pilotes trabajando por punta, este fenómeno constituye un grave riesgo para las obras. Por otra parte, en estos depósitos de estructura porosa, se pueden presentar flujos de agua importante que generan lavados del concreto en soluciones de cimentación con pilotes de concreto preexcavados y fundidos “in situ”.

Es importante destacar que estos fenómenos son potenciales riesgos en los suelos calizos que se encuentran prácticamente a todo lo largo del sector objeto de estudio.

- En lo que respecta a riesgos geotécnicos derivados de fenómenos de expansividad o contractilidad de los depósitos arcillosos, su nivel de severidad no es crítico, principalmente por



la profundidad a la que cual aparecen estos suelos, estando bajo el nivel freático, lo que se traduce en contenidos de humedad constantes.

No obstante, algunos estratos superficiales (por encima del nivel freático), pueden exhibir límites líquidos mayores del 50% e índices de plasticidad de 25% o más, lo que genera riesgos por inestabilidad volumétrica, principalmente para estructuras livianas. Esta condición podrá encontrarse en sectores próximos a la calle 76, Base Naval y Cárcel Modelo.

- La presencia de sedimentos arenosos de textura fina, y limosos de baja compresibilidad, con compacidades muy suelta a suelta, y consistencia muy blanda a blanda, adicional a estar bajo nivel freático, implican la posibilidad de riesgos por licuación ante eventos naturales como sismos, y antrópicos como explosiones o vibraciones fuertes.

Adicional a la inestabilidad al fenómeno de licuación, estos suelos se caracterizan por ser de baja resistencia al esfuerzo cortante y alta deformabilidad.

Las localizaciones de los suelos con potencial de licuación se concentran a todo lo largo del sector en estudio en las zonas próximas al río Magdalena.

- En general, los suelos susceptibles a colapso son las arenas o limos de estructura suelta, al igual que algunos caliches. Los suelos designados en el sistema internacional USCS con las denominaciones SM, SP-SM, SP, ML en particular cuando están secos o parcialmente saturados.

Se pueden localizar en la parte superficial, en las proximidades a la calle 79B, entrada a Eternit y Cárcel Modelo.

- Finalmente, en la parte superficial a todo lo largo de la parte baja del corredor en estudio, se encuentran rellenos heterogéneos de escombros, basuras, palos, etc, caracterizados por resistencias del corte y compresibilidades variables, dependiendo de su modo y tiempo de colocación.

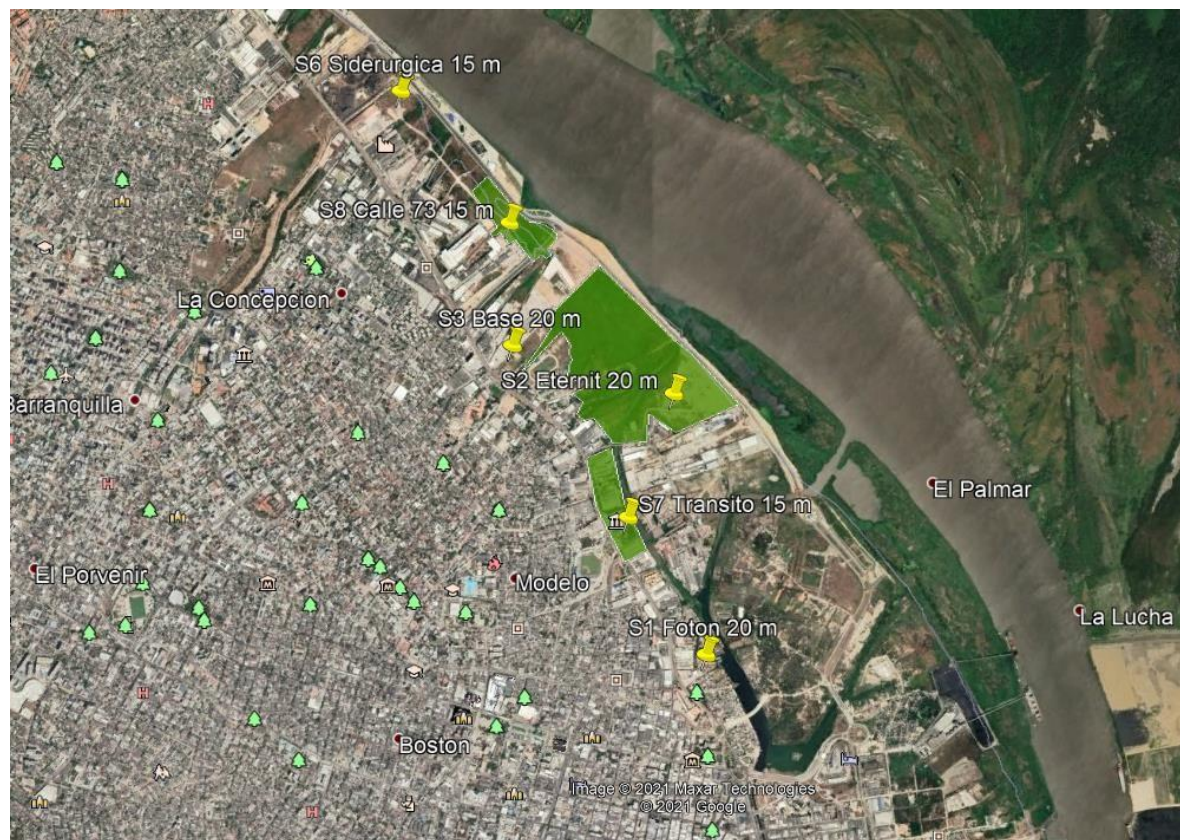
A continuación, se presenta la zonificación sobre el corredor, de los siguientes riesgos geotécnicos: licuación, colapso, expansividad y conformación de suelos mediante materiales inadecuados (basuras, rellenos heterogéneos, etc.).



**Figura 6-1 Zonificación de suelos potencialmente licuables**

**Fuente: Elaboración propia en Google Earth ®.**





**Figura 6-2 Zonificación de suelos potencialmente expansivos**

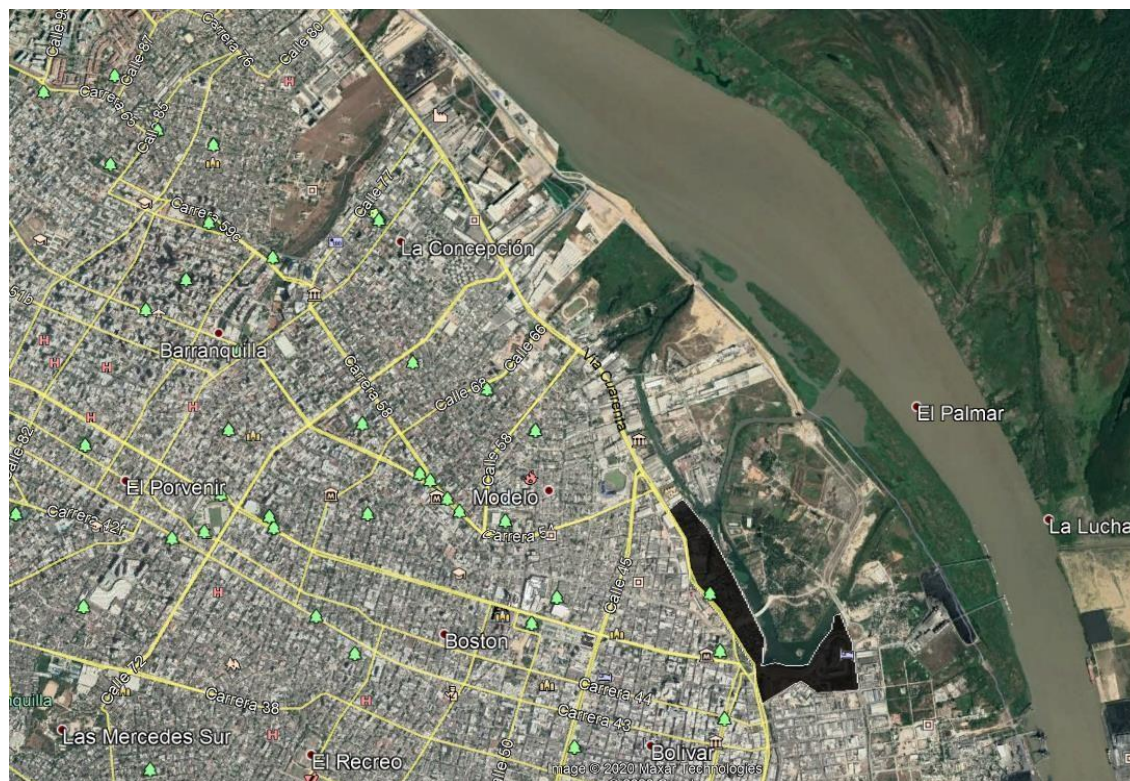
**Fuente: Elaboración propia en Google Earth ®.**



**Figura 6-3 Zonificación de suelos potencialmente colapsables**

**Fuente: Elaboración propia en Google Earth ®.**





**Figura 6-4 Zonificación de suelos conformados por materiales inadecuados (basuras, escombros, etc.)**

**Fuente: Elaboración propia en Google Earth ®.**

## 7. LIMITACIONES

La información de geología contenida en este informe corresponde a una descripción del entorno geológico y geomorfológico de acuerdo con la literatura disponible en las entidades públicas y privadas, y es de carácter aproximado, esta no es producto de un estudio específico de la geología local o regional, el cual se deriva de un alcance diferente.

Las conclusiones y análisis geotécnico realizado para identificar potenciales riesgos geotécnicos, están basados en información obtenida por estudios de suelos llevados a cabo en el corredor objeto de estudio por parte de la empresa **INEICA LTDA**. Dicho análisis preliminar será complementado con exploraciones de campo y ensayos geofísicos.

No obstante, si se presentan situaciones o condiciones no contempladas en este informe, se nos deberá comunicar oportunamente para establecer los ajustes necesarios.