



**APOYO EN EL AREA GEOLOGIA Y GEOTECNIA EN LA EMPRESA SEDIC  
PARA EL PROYECTO DISEÑOS DE ESTRUCTURAS DE DESVIO  
INTERCEPTOR 1**

Trabajo de grado

Modalidad práctica académica

Presentado para optar por el título de

Geólogo

**Juan Manuel Espitia**

**Geólogo practicante**

**Director**

**Geólogo Esp en Geotecnia Santiago Cano**

**UNIVERSIDAD DE CALDAS**

**Facultad de ciencias exactas y naturales**

**Programa de Geología**

**Agosto de 2023**



Nota de aceptación

Santiago Cano B

Yo Santiago Cano  
doy fe y apruebo el trabajo de grado  
presentado por el estudiante  
Juan Manuel Espitia



## AGRADECIMIENTOS

*Quiero agradecerles a todos aquellos que alguna vez creyeron en mí, familia y amigos , el apoyo incondicional y la fe que me tuvieron fueron más de lo que alguien como yo podía recibir, llevo siempre presente sus palabras y sentimientos*

*A la empresa Sedic y mi grupo de geología y geotecnia y mi tutora Damaris Paola Vargas , que vio en mi un joven con talento y pasión, tus palabras me motivaron*



*Finalmente Quiero más que agradecer, pedirme perdón a mí mismo, lamento no haberte protegido, lamento las humillaciones por las que pasaste y las lágrimas que derramaste... lamento haber sido tan débil... pero te prometo que trabajare más duro y me esforzare hasta compensar todo el daño que nos hice*

## RESUMEN

Durante la practica académica desarrollada en Sedic.S.A, se prestó apoyo al área de geología y geotecnia para el proyecto “estudios y diseño de Interceptor 1” el cual proyecta obras para el sistema de alcantarillado de EPM

Como producto de las actividades realizadas, este informe contiene los resultados generales del proyecto y específicamente los diseños e información de 3 de las 46 actuaciones constructivas proyectadas(T01-SOC-AC02,T01-SOC-AC04 y T09-COC-C109); estas dos actuaciones fueron las aprobadas por la empresa para la divulgación de sus resultados debido al contenido de la información del subsuelo

Como parte de los resultados obtenidos, ambas actuaciones presentan alguna que otra inestabilidad al momento de su excavación , sin embargo, esto pudo resolverse con estructuras como entibados para zanjas, puntales, etc



## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCION	12
2.	OBJETIVOS	13
2.1.	OBJETIVO GENERAL	13
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3.	ALCANCE DE LA PASANTÍA	14
4.	MARCO TEORICO	15
4.1.	MARCO CONCEPTUAL	15
4.1.1.	<i>La Geotecnia</i>	15
4.1.2.	<i>Los suelos</i>	15
4.1.3.	<i>Unidad geológica superficial (UGS)</i>	17
4.1.4.	<i>Métodos de exploración indirecta</i>	23
4.1.5.	<i>Parámetros Geomecánicos</i>	26
4.1.6.	<i>Análisis multitemporal</i>	26
4.2.	MARCO NORMATIVO	27
5.	LOCALIZACION	28
6.	METODOLOGIA	30
6.1.	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA	30
6.2.	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA	30
6.3.	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	31
6.3.1.	<i>Morfodinámica</i>	33
6.4.	ANÁLISIS MULTITEMPORAL	34
6.4.1.	<i>Uso del suelo</i>	36
6.5.	PARÁMETROS GEOMECÁNICOS	37



6.5.1.	Cohesión y ángulo de fricción	39
6.5.2.	Consistencia del suelo	41
6.5.3.	Condición sísmica	42
6.5.4.	Suelos especiales	45
6.6.	MODELACIÓN DE ESTABILIDAD Y DEFORMACIÓN	49
<b>7.</b>	<b>MARCO GEOLÓGICO</b>	<b>52</b>
7.1.	GEOLOGÍA REGIONAL	52
7.2.	GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	55
7.3.	TECTÓNICA	57
7.4.	GEOLOGÍA LOCAL	60
7.4.1.	Suelo aluvial de cauce activo (Sa1)	61
7.4.2.	Suelo de llenos antrópicos (Sla)	62
7.5.	GEOMORFOLOGÍA LOCAL	62
7.5.1.	Geoformas de Origen Fluvial	63
7.5.2.	Geoformas asociadas a zonas urbanas	63
7.5.3.	Geoformas de origen denudacional	64
<b>8.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>65</b>
8.1.	ANÁLISIS MULTITEMPORAL	65
8.1.1.	Antecedentes	65
8.1.2.	Morfodinámica	71
8.1.3.	Usos del suelo	72
8.2.	PARÁMETROS GEOLÓGICOS	77
8.2.1.	Morfometría	77
8.2.2.	Morfodinámica	78
8.2.3.	Geología y geomorfología	79



8.3.	INTERPRETACIÓN DE LA EXPLORACIÓN INDIRECTA	87
8.3.1.	<i>Línea de refracción sísmica (LRS)</i>	87
8.3.2.	<i>Método de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)</i>	89
8.3.3.	<i>Sondeo eléctrico vertical (SEV)</i>	91
8.4.	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO	93
8.4.1.	<i>Cohesión y ángulo de fricción</i>	93
8.4.2.	<i>Consistencia del suelo</i>	93
8.4.3.	<i>Suelos especiales</i>	95
8.5.	MODELACIONES	96
8.5.1.	<i>Estabilidad de excavaciones</i>	97
8.5.2.	<i>Deformaciones de excavaciones</i>	103
9.	CONCLUSIONES	106

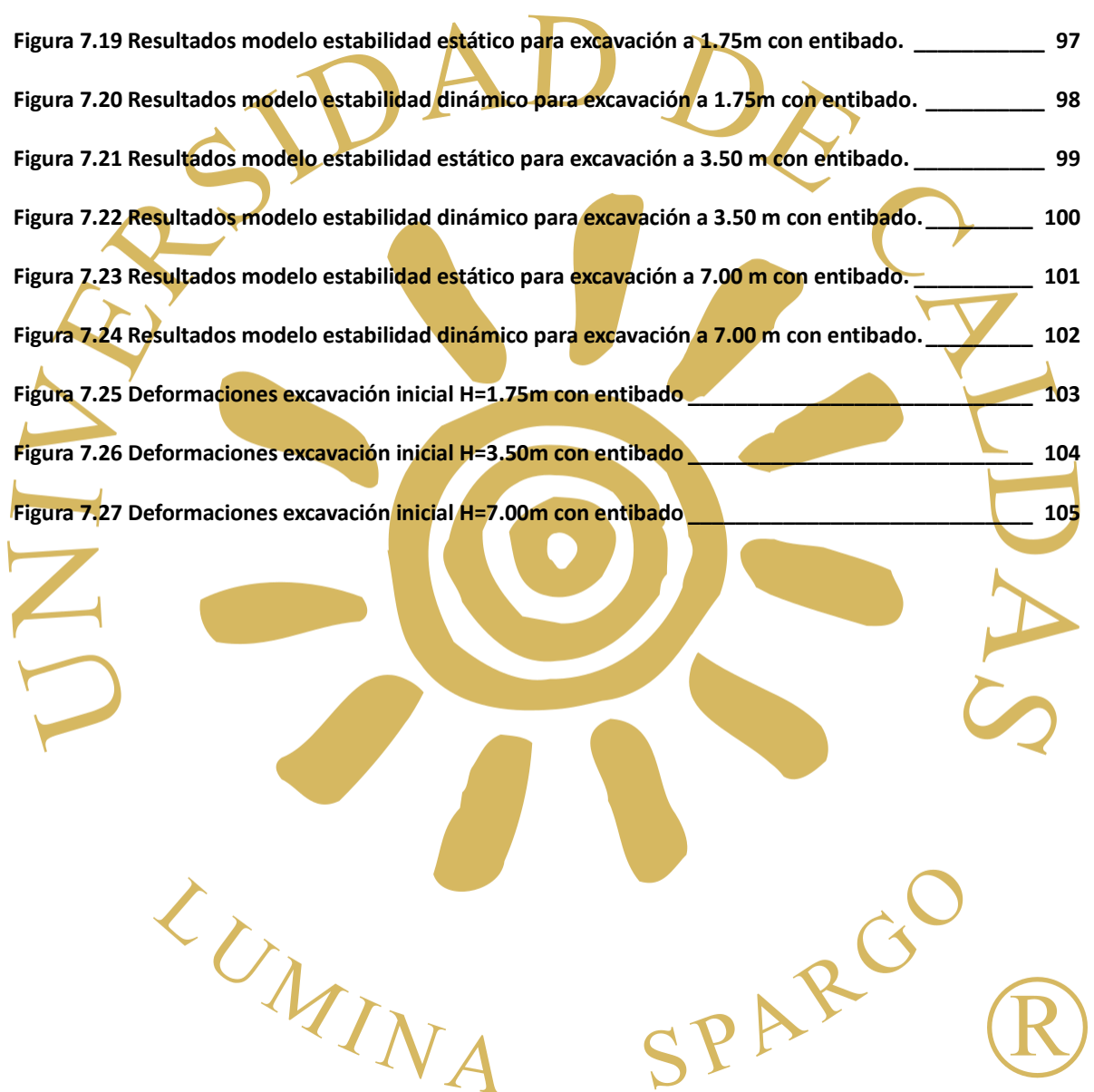
## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Arreglo simétrico para elaboración de ensayo, dispositivo Schlumberger. _____	26
Figura 4.1 Mapa de localización de las obras proyectadas del proyecto _____	29
Figura 5.1 Registro fotográfico del análisis multitemporal _____	36
Figura 5.2 Correlaciones entre Vs y N _____	40
Figura 5.3 Clasificación de los perfiles de suelo. _____	44
Figura 5.4 Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro. _____	45
Figura 5.5 Valores del coeficiente Fv, para la zona de períodos intermedios del espectro. _____	45
Figura 6.1 Unidades geológicas regionales para el Valle de Aburra _____	54
Figura 6.2 Modelo de evolución geomorfológica del Valle de Aburrá _____	56
Figura 6.3 Geología y Geomorfología del Valle de Aburrá _____	57
Figura 6.4 Mapa de elevación y tectónica del Valle de Aburrá _____	59
Figura 7.1 Porcentaje de registros de acuerdo con el fenómeno de origen _____	66
Figura 7.2. Movimientos en masa reportados por municipio en el Valle de Aburra _____	70
Figura 7.3. Movimientos en masa clasificados según su tipología. _____	71
Figura 7.4 fotografía de 1990 del rio Medellín e imagen satelital del mismo punto 2022 _____	72
Figura 7.5 fotografía de 1993 de la quebrada Doña María e imagen satelital del mismo punto 2022 _____	72
Figura 7.6 Análisis multitemporal de usos del suelo _____	74
Figura 7.7. Mapa de pendientes para el área de influencia del Interceptor. _____	78
Figura 7.8 Mapa de unidades geomorfológicas de la actuación T09-COC-CI09 _____	79
Figura 7.9 Mapa de UGS 1:2000 para T03-COC-CI09 _____	81
Figura 7.10 Perfiles geológicos 60 Y 61 _____	82
Figura 7.11 Perfiles con obra proyectada _____	83
Figura 7.12 Perfil geológico geotécnico _____	85
Figura 7.13 Tomografía sísmica (velocidad de onda primaria, Vp) para la LRS021. _____	87
Figura 7.14 Tomografía sísmica suavizada (velocidad de onda primaria, Vp) para la LRS021. _____	88





Figura 7.15 Distribución velocidades de onda de corte MASW para la LRS021	90
Figura 7.16 Correlación litológica y valores de resistividad.	91
Figura 7.17 Curva resultante del Sondeo-03.	92
Figura 7.18 Correlación litológica del Sondeo-03	92
Figura 7.19 Resultados modelo estabilidad estático para excavación a 1.75m con entibado.	97
Figura 7.20 Resultados modelo estabilidad dinámico para excavación a 1.75m con entibado.	98
Figura 7.21 Resultados modelo estabilidad estático para excavación a 3.50 m con entibado.	99
Figura 7.22 Resultados modelo estabilidad dinámico para excavación a 3.50 m con entibado.	100
Figura 7.23 Resultados modelo estabilidad estático para excavación a 7.00 m con entibado.	101
Figura 7.24 Resultados modelo estabilidad dinámico para excavación a 7.00 m con entibado.	102
Figura 7.25 Deformaciones excavación inicial H=1.75m con entibado	103
Figura 7.26 Deformaciones excavación inicial H=3.50m con entibado	104
Figura 7.27 Deformaciones excavación inicial H=7.00m con entibado	105





## LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1 Valores referenciales de pesos volumétricos _____	16
Tabla 3.2 Clasificación genética de las unidades geológicas superficiales. _____	18
Tabla 3.3. Comparación de perfiles de Meteorización de un macizo rocoso. _____	21
Tabla 5.1. Clasificación según origen de las unidades geomorfológicas _____	32
Tabla 5.2 Escala de trabajo y relación con el área cartografiable _____	35
Tabla 5.3 Parámetros geomecánicos, así como los involucrados en su estimación. _____	38
Tabla 5.4, Correlaciones entre N45 (caso Colombia) obtenido de SPT y $\phi_{eq}$ _____	41
Tabla 5.5 Relación entre el valor de N del ensayo de penetración estándar (SPT) y la consistencia del suelo _____	41
Tabla 5.6 Valor de Aa y de Av para las ciudades capitales de departamento _____	42
Tabla 5.7 Coeficientes Fa y Fv para cada municipio _____	45
Tabla 5.8. Clasificación de suelos expansivos. _____	46
Tabla 5.9. Factor de escala de magnitud. _____	48
Tabla 5.10 Factores de seguridad básicos indirectos para el análisis de estabilidad. _____	49
Tabla 5.11 Caracterización geotécnica de los materiales para la actuación T01-SOC-AC04. _____	50
Tabla 5.12 Cargas sobre los codales _____	51
Tabla 6.1 Unidades geológicas regionales _____	53
Tabla 6.2 Características de las fallas regionales _____	60
Tabla 6.3. Resumen Geoformas proyecto Interceptor _____	63
Tabla 7.1 Eventos más críticos en el Valle de Aburrá, para el área de interés del proyecto _____	67
Tabla 7.2 . Antecedentes de movimientos en masa reportados por el SIMMA _____	68
Tabla 7.3. Fotografías utilizadas para el análisis multitemporal _____	73
Tabla 7.4. Usos del suelo actuación T01-SOC-AC02 _____	76
Tabla 7.5 Resumen velocidad de onda primaria promedio con respecto a la profundidad para la LRS021. _____	87
Tabla 7.6 Velocidades del perfil de suelo MASW para la LRS021 _____	89
Tabla 7.7 Resultado de velocidades del perfil de suelo MASW para la LRS021 _____	89



Tabla 7.8 Resultados del análisis para los datos de ángulo de fricción y cohesión (kPa) para la actuación T09-

COC-CI09 \_\_\_\_\_ 93

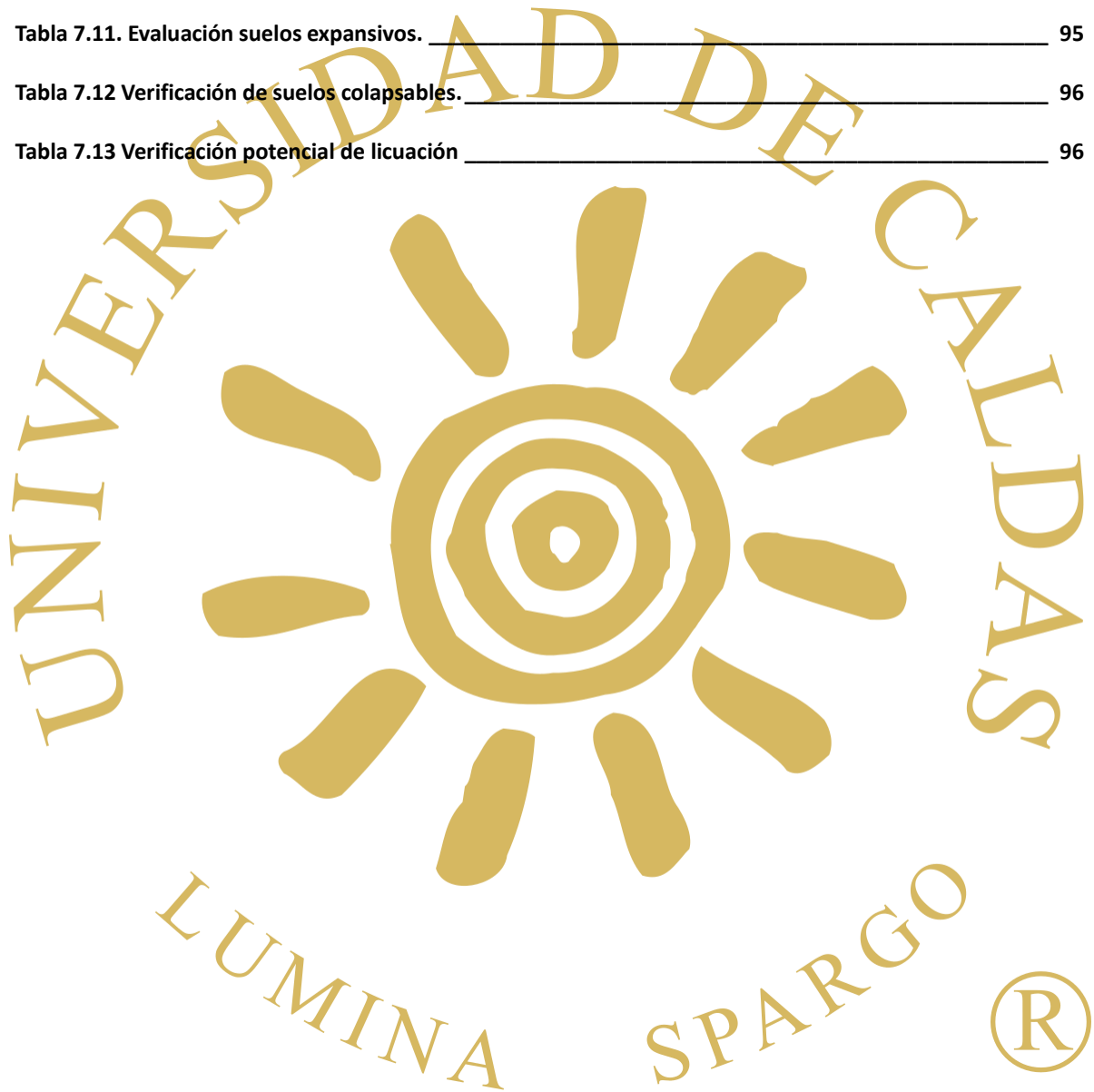
Tabla 7.9 Caracterización geotécnica T09-COC-CI09 \_\_\_\_\_ 94

Tabla 7.10 Perfil estratigráfico típico \_\_\_\_\_ 94

Tabla 7.11. Evaluación suelos expansivos. \_\_\_\_\_ 95

Tabla 7.12 Verificación de suelos colapsables. \_\_\_\_\_ 96

Tabla 7.13 Verificación potencial de licuación \_\_\_\_\_ 96



## 1. INTRODUCCIÓN

La geotecnia es una disciplina fundamental en la ingeniería que se encarga de estudiar y comprender el comportamiento de los suelos y las rocas en relación con las obras y proyectos de construcción. La creación de la geotecnia como una disciplina formal involucra la integración de diversas ramas del conocimiento, como la geología, la mecánica de suelos, la hidrogeología y la ingeniería civil. La capacidad de prever cómo los suelos y las rocas responderán a las cargas aplicadas, a las variaciones climáticas y a otros factores ambientales es esencial para garantizar la seguridad y la durabilidad de las estructuras.

Los suelos, siendo la base sobre la cual se erigen edificaciones y se desarrollan obras de ingeniería, poseen propiedades y comportamientos únicos que deben ser comprendidos en profundidad para asegurar la estabilidad, seguridad y durabilidad de cualquier estructura

Con relación a lo anterior, la empresa Sedic.SA es una compañía colombiana de ingeniería que presta consultoría, este desarrollo el proyecto "Diseños detallados de la infraestructura asociada al proyecto Estructuras de Desvío del Interceptor de la etapa 1" el cual consistió en el diseño de cimientos, estudios hidráulicos y proyecciones mecánicas de obras para dar solución al alcantarillado de EPM

Este trabajo contiene exclusivamente parte del diseño del área de geología y geotecnia de 3 de las 45 actuaciones planificadas del proyecto, del cual el estudiante participo en mayor medida

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

Participar y dar apoyo en el área de geología y geotecnia para el proyecto “Diseños detallados de la infraestructura asociada al proyecto Estructuras de Desvío del Interceptor de la etapa 1”

### 2.2. Objetivos específicos

- Clasificación de ensayos de campo y de laboratorio de los diferentes proyectos
- Graficar propiedades físicas y mecánicas de exploración de campo y laboratorio
- Apoyo técnico en cálculo de cimentaciones superficiales y profundas
- Apoyo técnico en el modelamiento de estabilidad de taludes y excavaciones
- Redacción de informes geotécnicos
- Realización de planos de exploración, obras y detalles geológicos-geotécnicos

LUMINA

SPARGO



### 3. ALCANCE DE LA PASANTÍA

La pasantía fue realizada en la empresa “Sedic.SA” en la cual se hizo parte del equipo de geología y geotecnia para el proyecto “Diseños detallados de la infraestructura asociada al proyecto Estructuras de Desvío del Interceptor de la etapa 1”, Como parte de las tareas asignadas se encuentra la determinación de propiedades geotécnicas de los suelos muestreados por el equipo de campo. Estas propiedades hacen referencia características especiales (suelos licuables, colapsables y expansivos) estos análisis se llevaron a cabo mediante fórmulas de distintos autores que se mencionaran en la metodología del presente informe, los aportes para estos ensayos son humedad natural, limite líquido, índice de plasticidad, gravedad específica, cohesión drenada y no drenada fueron realizados en el laboratorio; otros valores como el módulo de elasticidad, relación de Poisson, Angulo de fricción interna, etc. fueron determinados mediante correlaciones con parámetros obtenidos mediante ensayos de campo. Entre otras tareas se encontraban el manejo de la información geográfica, dibujo técnico de perfiles geológicos, creación de mapas y planos requeridos por el área, el análisis multitemporal de las áreas donde se proyectan las obras civiles y el análisis geomecánico para la estabilidad de las excavaciones

## 4. MARCO TEORICO

### 4.1. Marco conceptual

#### 4.1.1. La Geotecnia

“La ingeniería geotécnica es la rama de la ingeniería civil que enfoca su estudio en las propiedades mecánicas e hidráulicas de suelos y rocas, tanto en superficie como en el subsuelo, incluyendo la aplicación de los principios de la mecánica de suelos y mecánica de rocas en el diseño de los cimientos, estructuras de contención y las estructuras de tierra.” (Braja, 2001) esta descripción realizada por Braja no es suficiente aun para describir el campo de la geotecnia, por eso, como complemento se encuentran las propuestas de Terzaghi Peck también, conocido como el padre de la geotecnia, Terzaghi aunque no hablo directamente de la geotecnia, fue un pionero de la investigación en la mecánica de suelos, mecánica de rocas e ingeniería de cimentaciones. Muchas de dichas contribuciones permanecen como la base de muchos elementos de este arte - ciencia. Algunas de las contribuciones más importantes son: el principio de los esfuerzos efectivos y la teoría de la consolidación que datan de 1920, y el concepto de módulo de reacción de subrasante en 1955.

#### 4.1.2. Los suelos

“El suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas sólidas.” (Braja, 2001) Por lo común, los suelos tienden a formar estratos y ser homogéneos en sus propiedades horizontalmente, sin embargo, estas tienden a cambian rápidamente en la dirección vertical.



Las propiedades índices de los suelos son aquellas propiedades que nos brindan información de una manera práctica y rápida acerca del estado y naturaleza del suelo, con el fin de clasificar suelos y determinar parámetros complementarios

#### 4.1.2.1. Propiedades índices de los suelos

- **Peso Específico de masa ( $Y_m$ ):** El peso específico de masa denominado también peso unitario, peso volumétrico, peso específico o peso específico aparente, es la relación que existe entre el peso y el volumen de la masa de suelo, expresado en unidades de fuerza por volumen. En la Tabla 4.1 se encuentran valores de referencia para distintos tipos de suelo según su tamaño de grano

$$Y_m = \frac{W_m}{V_m}$$

**Donde:**  $Y_m$  es el peso específico de la masa,  $W_m$  es el peso de la masa de suelo y  $V_m$  es el volumen de la masa de suelo.

Tabla 4.1 Valores referenciales de pesos volumétricos

Tipo de suelo	Peso Específico de masa ( $Y_m$ ) $t/m^3 - gr/cm^3$
Arena	1.60 – 1.90
Arena con limo	1.60 – 1.90
Arena con arcilla	1.70 – 1.90
Limo	1.60 – 1.90
Arcilla	1.80 – 1.90
Grava	1.80 – 2.00

Fuente: "Propiedades índice de los suelos" (Rodríguez 2019)



- **Contenido de humedad ( $w$ ):** El contenido de humedad denominado también contenido de agua o humedad, es la relación entre el peso del agua contenida en el suelo y el peso de la fracción sólida del suelo, se expresa en porcentaje

$$w = \frac{w_w}{w_s} \times 100$$

**Donde:**  $w$  es el contenido de humedad,  $w_w$  es el peso del agua contenida en el suelo y  $w_s$  es el volumen de la fracción sólida.

- **Peso específico de sólidos ( $Y_s, G_s$ ):** Es la relación entre el peso de sólidos de un suelo, y el volumen de sólidos. Es el peso por unidad de volumen de la fase sólida.

$$Y_s = \frac{w_s}{V_s}$$

**Donde:**  $Y_s$ , es el peso específico de los sólidos,  $w_s$  es el peso de los sólidos y  $V_s$  es el volumen de los sólidos de un suelo.

#### 4.1.3. Unidad geológica superficial (UGS)

De acuerdo con Hermelin (1987), se denomina Formación Superficial o Unidades Geológicas Superficiales al conjunto de materiales que conforman la superficie del terreno hasta profundidades del orden de decenas de metros. Estas Formaciones Superficiales incluyen rocas con diferentes grados de meteorización, suelos y depósitos no consolidados según su origen. Las Unidades Geológicas Superficiales se consideran como formaciones correlativas de los procesos morfodinámicos y constituyen uno de los productos básicos de la geología aplicada a la ingeniería. La información temática necesaria para la elaboración de los mapas de UGS se obtiene

a partir de la información geológica básica, correlacionándola con la caracterización de las condiciones de los suelos, rocas y materiales de superficie (Salazar, 1995).

Las UGS se utilizan como herramienta para evaluar el comportamiento mecánico de los terrenos ante diferentes usos, como desarrollo de obras de infraestructura, desarrollos mineros y demás usos definidos en los planes de ordenamiento territorial.

#### 4.1.3.1. Factores considerados para caracterizar las Unidades Geológicas Superficiales (UGS).

La International Association of Engineering Geology (IAEG) recomienda usar propiedades geológicas que de alguna manera indican las características geológicas de ingeniería, como las que se relacionan a continuación:

##### 4.1.3.1.1 Litología

- Características de textura y estructura tales como la distribución del tamaño de las partículas, su correlación con el peso unitario y la porosidad.
- Contenido de humedad, humedad de saturación consistencia, diaclasamiento, alteración y grado de meteorización.
- Composición mineralógica, la cual está estrechamente relacionada con el peso específico, los límites de Atterberg y el índice de plasticidad.

Tabla 4.2 Clasificación genética de las unidades geológicas superficiales.

TIPO DE MATERIAL	ORIGEN DE LA UGS	TIPOS DE UGS
Roca	Roca inalterada	Roca dura (Calidad de macizo buena y muy buena)
		Roca intermedia (Calidad de macizo regular)
		Roca blanda (Calidad de macizo mala y muy mala)
Suelo	Derivadas de roca In situ	Suelos residuales: Horizontes IV (Saprolito grueso), V (Saprolito fino), y VI.

TIPO DE MATERIAL	ORIGEN DE LA UGS	TIPOS DE UGS	
Suelo transportado	Depósitos volcanoclásticos primarios	Flujos piroclásticos (Ignimbrita), oleada piroclástica, caídas piroclásticas (bombas, bloques y ceniza).	
	Depósitos volcanoclásticos secundarios	Lahar, avalancha de escombros	
	Depósitos aluviales		Aluviones recientes y de cauce activo
			Llanura aluvial
			Abanicos o conos aluviales
			Terrazas aluviales
			Depósitos fluviotorrenciales
	Depósitos lacustres y paludales		Suelos fluviolacustre Suelos paludales
	Depósitos costeros		Deltas, Barras, Playas, etc.
	Depósitos eólicos		Dunas y Médanos
			Loess
	Depósitos glaciares		Morrenas y Tillitas
			Suelos Fluvioglaciares
	Depósitos de gravedad y ladera		Coluvial
			Talud, derrumbes en pendientes
		Flujos (de lodo, tierra y de escombros)	
Depósitos antrópicos		Llenos de basuras	
		Llenos de Escombros	
		Llenos mixtos	

Fuente: Tomado y modificado de SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 2017.

#### 4.1.3.1.2 Grado de meteorización

Es uno de los aspectos que juega un papel importante en la caracterización de las unidades superficiales, se define como la descomposición física y química in situ de los materiales cercanos a la superficie del terreno. Influye en la formación de los suelos residuales, estabilidad de las laderas y en la acción de los procesos erosivos, al igual que sobre las propiedades físico-mecánicas de las rocas tales como densidad, esfuerzo a la compresión confinada, esfuerzo a la tensión confinada,

porosidad, permeabilidad, deformabilidad y consistencia. Para definir el grado de meteorización de las rocas se utilizaron los perfiles generalizados de Deere y Patton (1971) y Dearman (1974, 1991), ver Tabla 4.3:



Tabla 4.3. Comparación de perfiles de Meteorización de un macizo rocoso.

DEERE Y PATTON (1971) (Todas las rocas)		DEARMANN (1974, 1991) (Todas las rocas)			FORERO et al, (1999) (Todas las rocas)		DESCRIPCIÓN CARACTERÍSTICAS DE CAMPO	
		ZONA	GRADO	UNIDAD				
I SUELO RESIDUAL	IA Horizonte A (Capa Vegetal)	Suelo residual (Sr)	VI		Suelo		Las capas superiores ricas en materia orgánica contienen humus y restos de raíces de plantas; generalmente de color gris oscuro. Todo el material rocoso es convertido a suelo. La macro fábrica y la estructura original son destruidos. Característicamente arcillo- limoso. Suelo sin estructuras heredadas.	
	IB Horizonte B							
	IC Horizonte C (Saprolito) (Roca Descompuesta)	Roca completamente meteorizada (Rcm)	V		Suelo	Saprolito fino	Saprolito	Suelo residual tropical (suelo in situ) >50% suelo
II ROCA METEORIZADA	IA transformación desde Saprolito hasta roca meteorizada	Roca altamente Meteorizada (Ram)	IV		Roca y suelo material intermedio	Saprolito grueso		Roca decolorada y altamente alterada, más del 50% del material rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo. Fragmentos rocosos rompibles y desmenuzables sin ayuda del martillo. Las estructuras (planos de estratificación, foliación, diaclasas y con fallas); se mantienen, en general se presentan oxidadas, abiertas, con o sin relleno. Saprolito con fragmentos pequeños de roca. La meteorización esferoidal común. Presencia de fragmentos de roca sin meteorizar entre 35% y 70%.

DEERE Y PATTON (1971) (Todas las rocas)	DEARMANN (1974, 1991) (Todas las rocas)			FORERO et al, (1999) (Todas las rocas)	DESCRIPCIÓN CARACTERÍSTICAS DE CAMPO
	ZONA	GRADO	UNIDAD		
III ROCA METEORIZADA	IIB Roca prácticamente meteorizada	Roca moderadamente meteorizada (Rmm)	III	Macizo rocoso meteorizado >50% roca	La roca se presenta altamente decolorada con notable meteorización, en la cual menos del 50% del material rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo. Material rocoso rompible y excavable con ayuda del martillo y otras herramientas. Las discontinuidades pueden estar oxidadas y abiertas, con o sin relleno. Bloques de roca que no encontraban.
	III Roca Fresca	Roca débilmente meteorizada (Rdm)	II		Macizo rocoso débilmente decolorado. La roca puede estar decolorada en las superficies de las discontinuidades, las cuales pueden estar abiertas y oxidadas, la roca es dura resistente excavable con ayuda de otras herramientas. Bloques de roca que no en traban.
		Roca no meteorizada (fresca) (Rf)	I	Macizo rocoso no meteorizado	Roca fresca sin signos visibles de meteorización. Las discontinuidades mayores pueden presentar ocasionalmente decoloración y oxidación.

Fuente: Tomado de Deere y Patton (1971), Dearman (1974, 1991) y Forero et.al (1999).

#### 4.1.3.1.3 Unidades de suelo

Una unidad de suelo en la cartografía geológica para ingeniería se considera como un material granular no cementado (arena, limo, grava y/o bloques), o aquel compuesto por materiales cohesivos como arcillas plásticas, o la combinación de estos dos tipos, los cuales pueden originarse in situ a partir de la alteración de un macizo rocoso, o a partir de la erosión, transporte y depositación de sedimentos. Son considerados como materiales no consolidados con resistencia a la compresión simple menor a 1 MPa (SGC, 2016).

#### 4.1.4. **Métodos de exploración indirecta**

Los métodos de exploración indirecta permiten obtener algunos parámetros de interés para el análisis del suelo generando una alteración mínima en la zona; sin tener que recurrir a perforaciones u otras técnicas que afecten directamente el material o el lugar para poder obtener sus propiedades. Cabe resaltar que estos resultados son complemento o acompañan la exploración directa y permiten verificar lo obtenido con los mencionados, como, por ejemplo, la identificación de distintos horizontes en el desarrollo del perfil estratigráfico.

##### 4.1.4.1. Líneas de refracción sísmica (LRS)

La refracción sísmica es un ensayo enmarcado en los métodos sísmicos de prospección del subsuelo, basando su análisis en las propiedades de elasticidad y densidad del medio, para esto desarrolla un método con el cual se calcula la velocidad de las ondas propagadas por los estratos que componen el subsuelo.



La refracción sísmica es una herramienta útil para la investigación de deslizamientos, permitiendo determinar principalmente la estructura, velocidad, la profundidad de la superficie de falla y la extensión lateral de un deslizamiento de tierra, basando sus aproximaciones en la estimación del perfil estratigráfico calculado a partir de la diferencia de la propagación de las ondas, en los diferentes estratos del subsuelo, y de esta manera permite la identificación de estratos poco densos que obedecen a efectos de remoción, los cuales son potencialmente susceptibles a generar o amplificar deslizamientos.

Una limitante importante del método de refracción sísmica es que no permite determinar la presencia de capas donde existen reversos en la velocidad en profundidad, es decir, cuando las velocidades de capas no aumentan progresivamente con la profundidad. Con el perfil de velocidades de onda primaria (onda P) se identifica el cambio en la estratigrafía del subsuelo, además, estos valores sirven como insumo para obtener algunos parámetros de interés para el diseño geotécnico.

#### 4.1.4.2. Método de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)

El método MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) analiza las ondas superficiales (Rayleigh y Love), puntualmente la onda Rayleigh las cuales, por su propagación generan esfuerzos cortantes verticales. Si se supone que variación en la velocidad vertical, cada componente de frecuencia de una onda de superficie tiene una velocidad diferente, lo que genera una longitud de onda diferente, para cada frecuencia propagada; esto se conoce como dispersión.



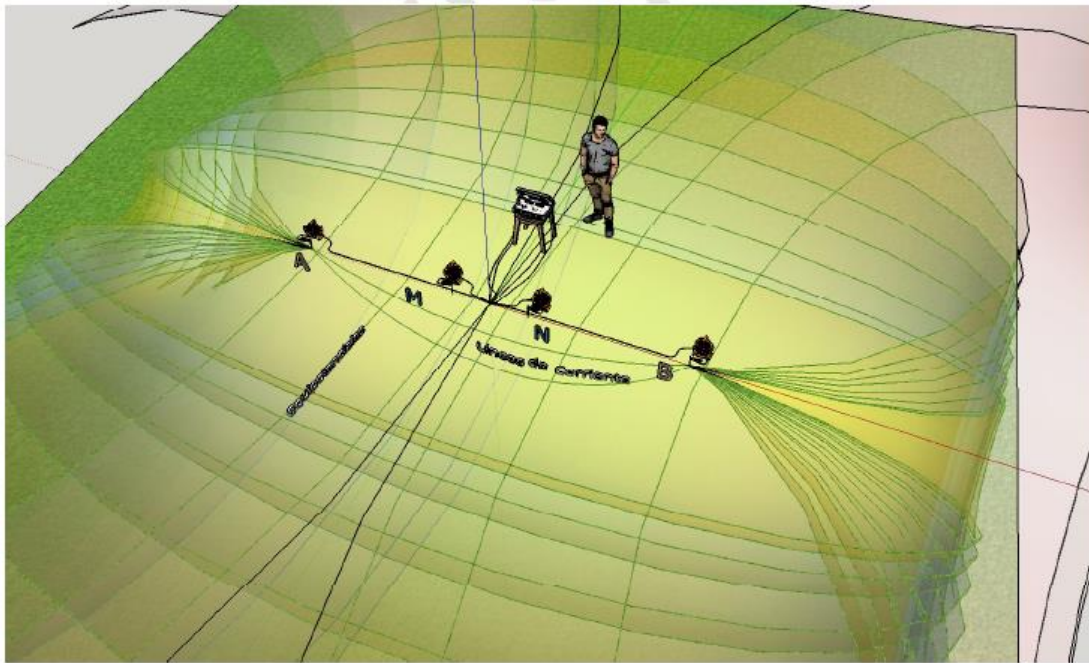
Es posible relacionar la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) mediante el modo fundamental conformado por la onda Rayleigh, de esta manera se comúnmente se analizan las propiedades de dispersión de ondas superficiales. Con esta información se determinan algunos parámetros de interés del material cercano a la superficie, para esto se utiliza la curva de dispersión, las cuales representan la velocidad de fase frente a la frecuencia.

La obtención de los perfiles requiere la inversión de los datos de dispersión, y conocer parámetros como la densidad y la relación de Poisson. Los dos últimos parámetros se consideran constantes, mientras que la velocidad de onda de corte y el espesor se consideran variables para el desarrollo del proceso iterativo. El perfil presentado en 2D requiere del cálculo de correlaciones cruzadas (CMP) las cuales permiten establecer un conjunto de curvas de dispersión de acuerdo con la geometría.

#### 4.1.4.3. Sondeo eléctrico vertical (SEV)

El método aplicado con el SEV consiste en hacer circular una corriente con el objetivo de medir los valores de voltaje y corriente en el suelo, estas variables están asociados con las características eléctricas del material. El arreglo para la ejecución del ensayo consiste en instalar dos electrodos de corriente (A y B) y dos electrodos de voltaje distanciados simétricamente de un punto medio común, sobre una misma línea. Lo anterior con el fin de hacer pasar una corriente mediante A y B que es medida con los electrodos impolarizables M y N; ubicados en el centro de la línea. Lo anterior, se esquematiza en la Figura 4.1.

Figura 4.1 Arreglo simétrico para elaboración de ensayo, dispositivo Schlumberger.



Fuente: SEDIC, 2023.

#### 4.1.5. **Parámetros Geomecánicos**

Los parámetros geomecánicos son de gran importancia para el análisis y evaluación del comportamiento esfuerzo deformación de las distintas estructuras geotécnicas. Estos se determinan mediante ensayos de campo y laboratorio destinados específicamente a determinar cada una de estas propiedades o haciendo uso de correlaciones con ensayos de campo (provenientes de exploración directa e indirecta) ampliamente usadas en Colombia y alrededor del mundo, sustentadas con investigaciones desarrolladas por distintos autores sobre distintos tipos de suelos.

#### 4.1.6. **Análisis multitemporal**

Los estudios multitemporales son análisis de tipo espacial, realizando comparaciones de coberturas, estas son interpretadas a través de imágenes

satelitales, fotografías aéreas o mapas de mismas zonas para diferentes periodos de tiempo. Permite evaluar los cambios en la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio (Chuvieco, 1990).

#### 4.2. Marco normativo

Para llevar a cabo el diseño de detalle de las actuaciones constructivas como el diseño de la cimentación de las estructuras, evaluación de la estabilidad de las excavaciones con zanja y análisis multitemporal, es necesario tener en cuenta la siguiente normativa desde la componente de geología y geotecnia:

- Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto y Alcantarillado de EPM
- Normas Técnicas de Construcción y Especificaciones Técnicas de EPM, NC y ET.
- Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente – NSR-10, Capítulo A Requisitos de Diseño y Construcción Sismorresistente, Título H Estudios Geotécnicos
- Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP 14), Capítulo 10 Cimentaciones, Capítulo 11 Muros, Estribos y Pilas y Capítulo 12 Estructuras Enterradas y Revestimiento de Túneles
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC (NTC)
- American Society for Testing and Materials, ASTM
- Plan de Ordenamiento Territorial, POT y Planes Parciales asociados a la zona de trabajo.

## 5. LOCALIZACION

El proyecto de los diseños detallados de la infraestructura asociada al proyecto Estructuras de Desvío del Interceptor de la etapa 1 se encuentra ubicado en el sector noroccidental de Colombia, en el flanco oriental de la Cordillera Central, en el departamento de Antioquia; el proyecto se encuentra distribuido en el sector centro y sur del área metropolitana del Valle de Aburrá interviniendo los municipios de La Estrella, Sabaneta, Envigado, Itagüí y Medellín. El proyecto de esta etapa comprende los tramos de Interceptores que se describen como sigue:

El Interceptor Occidental el cual va a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) San Fernando inicia su recorrido en el municipio de La Estrella en la Carrera 49 # 77 Sur-299, mismo punto donde termina el colector La Estrella. En adelante, el Interceptor continúa paralelo al río Medellín hasta el municipio de Itagüí, donde se ubica la PTAR San Fernando.

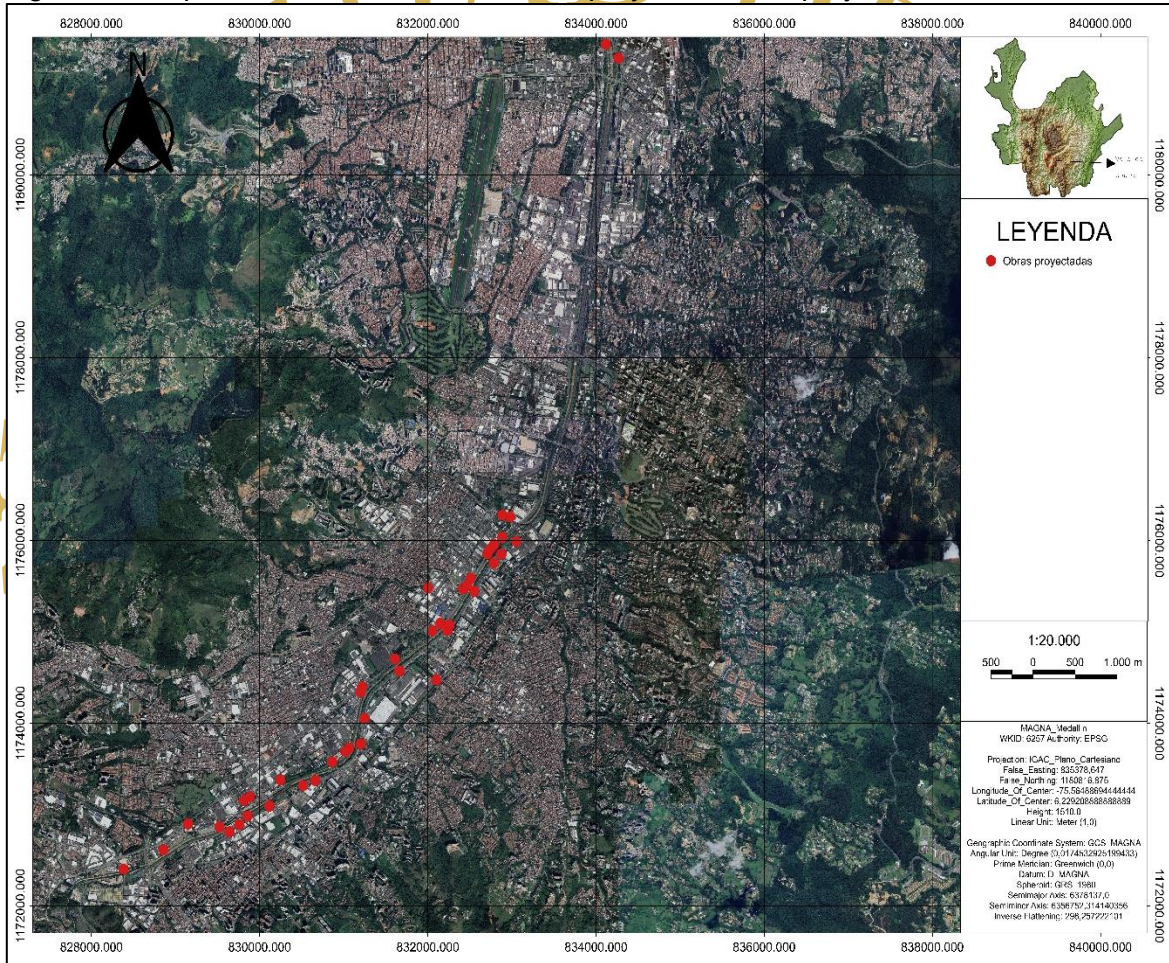
El Interceptor Oriental que se dirige hacia la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) San Fernando inicia su recorrido en el municipio de Sabaneta en la Carrera 49 # 67 Sur-740, mismo punto donde finaliza el colector La Doctora. De allí, el Interceptor continúa paralelo al río Medellín hasta la estación Ayurá del sistema Metro, donde a través de un cruce subfluvial cambia de costado para empalmarse al Interceptor Occidental y finalmente ingresar a la PTAR San Fernando.

Además de los tramos de Interceptor Oriental y Occidental que van hacia la PTAR San Fernando, se incluyen los tramos de Interceptor localizados en Parques del Río. Allí las intervenciones se proyectan cerca de la quebrada Alta Vista y en la Avenida



Regional en inmediaciones de la fuente de luces de EPM (Puente Guayaquil) del municipio de Medellín. En la Figura 5.1 se encuentran las 46 actuaciones donde se proyectan las obras, debido a la escala de la obra y la cantidad de estas, se presentan con una figura para conocer su ubicación espacial

Figura 5.1 Mapa de localización de las obras proyectadas del proyecto



Fuente: Elaboración propia

MINA

SPAK



## 6. METODOLOGIA

Teniendo a consideración el área de trabajo y la cantidad de actuaciones, la metodología de trabajo se resume en realizar estudios detallados para cada actuación, de esta forma, el constructor tendrá una mejor percepción del terreno a la hora de hacer las excavaciones y cimentaciones de las estructuras contempladas; dentro las que se encuentran tuberías, cámaras, compuertas, etc.

### 6.1. Recopilación de información secundaria

Se realiza una recopilación de la información existente por medio de geo pódalos, datos municipales e informes previos proporcionados por el contratista (EPM); dentro de la información secundaria se destacan los siguientes

- Usos del suelo, mapas de amenaza y fotografías aéreas de los municipios intervenidos
- POT Y POMCA de los municipios intervenidos
- bases cartográficas, estudios previos y normativa de EPM
- Bibliografía de criterios de diseños
- Microzonificación sísmica del valle de aburra
- Estudio INTEINSA “Estructuras de desvió”

### 6.2. Recopilación de información primaria

Debido a que la practica fue en 100% en oficina, se realizo fue recepción y procesamiento de la información de los grupos de trabajo para el área de geotecnia, dentro de estas se encuentra las siguientes

- Recepción de la topografía para las bases cartográficas
- Recepción de logue y registro de perforación
- Recepción de estudios geofísicos (SEV, LRS, MASW)
- Recepción de geología y geomorfología
- Recepción de laboratorio

Una vez acabado la recopilación de información se procede a hacer apoyo a la creación de los siguientes requerimientos:

- Mapas de UGS
- Mapas geomorfológicos
- Perfiles geológicos
- Perfiles geológico-geotécnicos
- Caracterización geotécnica
- Cálculos de propiedades de los suelos
- Caracterización de los suelos
- Análisis de estabilidades

### 6.3. Geología y geomorfología

Una vez recopilada la información de campo se procedió a agrupar los suelos de acuerdo con su origen como suelos aluviales y antrópicos. Los principales factores geológicos que se analizan y sirven para caracterizar y evaluar los materiales de suelo son: Composición litológica y mineralógica, color, tamaño, forma de los granos (textura), consistencia, densidad relativa, estructuras y humedad. La resistencia a la



acción mecánica y a la erosión en estos materiales se reduce apreciablemente, incrementándose la porosidad y la susceptibilidad a procesos denudativos (SGC, 2016).

Para la clasificación según el origen de las unidades geomorfológicas, se utilizó la propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia, de la colección de guías y manuales del Servicio Geológico Colombiano, ver Tabla 6.1:

Tabla 6.1. Clasificación según origen de las unidades geomorfológicas

ORIGEN PRINCIPAL	EJEMPLOS DE FORMAS CON UN ORIGEN ESPECIFICO
<b>Fluvial</b> (Erosión Fluvial y Sedimentación)	Geoformas de acumulación y complejas planicies aluviales, transicionales y erosionales.
<b>Lacustre</b> (Erosión Lagunar y Sedimentación)	Geoformas producto de niveles de agua alta (Terrazas), fondos de lagos. (Evaporitas/Playa, no Evaporitas)
<b>Marino</b> (Erosión Marina y Sedimentación)	Geoformas de ambientes de alta energía, (materiales de grano grueso); de ambientes de baja energía (materiales de grano fino); y asociadas a complejos levantamientos.
<b>Volcánico</b> (Actividad Volcánica)	Geoformas de conos, cráteres, escarpes volcánicos, flujos de lava y labradas en materiales piroclásticos.
<b>Denudacional</b> (Meteorización, desgaste de masa, Erosión Linear)	Geoformas asociadas a desgaste, efectos litológicos no mayores. Geoformas influenciadas por la litología y erosión fluvial linear asociadas con procesos denudativos específicos (desgaste de masas).
<b>Estructural</b> (Fallamiento)	Geoformas asociadas con las capas de roca estratificadas o estructuralmente controladas, relacionadas con plegamientos, fallamiento y levantamiento.
<b>Estructural - Denudacional</b>	Asociaciones denudacionales y estructurales.
<b>Kárstico</b> (Solución y Redeposición)	Geoformas positivas (Colinas), negativas (Depresiones), estructurales y otras (Complejos).
<b>Eólico</b> (Erosión por el Viento y Sedimentación)	Geoformas de acumulación (Activas/No activas), y de deflación.
<b>Glacial</b> (Erosión y Sedimentación)	Geoformas erosionales predominantemente de glaciación continental, glaciación de montañas y de acumulación (predominantemente morrenas, hielo, y lomos)



ORIGEN PRINCIPAL	EJEMPLOS DE FORMAS CON UN ORIGEN ESPECIFICO
<b>Antropogénico</b>	Aquellas formas del relieve que son el producto de modificaciones causadas por intervención del hombre.

Fuente: (Carvajal P., 2012)

### 6.3.1. Morfodinámica

Para el análisis de procesos morfodinámicos, utilizaron la metodología propuesta por la “Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos” (IDEAM, 2013) y la “Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa. Escala 1:25.000” (Servicio Geológico Colombiano, 2017).

Para la zona a estudiar se consideraron puntos de alta importancia afluentes como La AltaVista, La Jabalcona (Medellín occidental), Doña María, La Ahorcada (Itagüí), La Bermejala (La Estrella), La Doctora (Sabaneta), La Ayurá (Envigado); y el cerro independiente Nutibara ubicado al occidente del Río Medellín

Correspondiente a estos puntos, existe una alta probabilidad del desarrollo de los siguientes procesos morfodinámicos:

- **Grietas longitudinales – transversales:** Son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, los cuales han superado la resistencia del material afectado.
- **Socavación fluvial lateral:** Es la remoción de materiales del lecho de un cauce debido a la acción erosiva del flujo de agua alrededor de una estructura hidráulica.
- **Escarpe erosivo:** Aquellas franjas alargadas y estrechas de relieve abrupto que marcan el límite entre dos altiplanos sucesivos.

- **Zona de acumulación del río:** Zona deposicional de un afluente hídrico sobre la cual los elementos de un río van depositándose de manera preferencial.
- **Movimiento en masa rotacional inactivo:** Corona con forma de media-luna y la parte frontal (pie) es lobulada; el escarpe principal está descubierto casi vertical en la parte superior, cóncavo hacia el deslizamiento y comúnmente alto, pudiendo mostrar estrías y surcos en la superficie que corre de la corona al cuerpo del movimiento; en el cuerpo, cambios abruptos en la morfología de la pendiente, caracterizado por formas cóncavas (nicho) y convexas (lóbulo de salida).
- **Erosión en surcos:** Este tipo de erosión es producto del flujo en superficies irregulares, ya sea por la evolución de la erosión laminar o por grietas que puedan presentar los suelos.

#### 6.4. Análisis multitemporal

La metodología del análisis multitemporal es una técnica de análisis que permite obtener conclusiones con relación a las transformaciones espaciales de una región.

Al realizar el procesamiento multitemporal de imágenes satelitales, se debe obtener una serie de datos que estén referenciados de acuerdo con la fecha de su origen y que finalmente tienen que convertirse en un conjunto único de datos (Mehl y Peinado, 1997). El objetivo principal de los estudios multitemporales es detectar cambios en la cobertura entre varias fechas de referencia, evidenciando la marcada repercusión de la acción humana (Trejos, 2008).

El ITC de Holanda, en su metodología para el levantamiento del recurso del suelo (Rossiter, 2002), define como área mínima cartografiada a la unidad más pequeña en el mapa que puede ser delineada y que es óptimamente legible, según la escala de trabajo. En este caso por el detalle que se maneja para la información obtenida la escala mínima cartografiada es de 1:2.000 con un área mínima de 64m<sup>2</sup>.

Tabla 6.2 Escala de trabajo y relación con el área cartografiada

Escala	Área Mínima Cartografiada (m <sup>2</sup> )
1:500	4
1:1.000	16
1:2.000	64
1:5.000	400
1:10.000	1.600
1:20.000	6.400
1:25.000	10.000
1:50.000	40.000
1:100.000	160.000
1:250.000	1.000.000
1:500.000	4.000.000
1:1.000.000	16.000.000
1:2.000.000	64.000.000
1:5.000.000	400.000.000

Fuente: (Rossiter, 2002) Metodologías para el levantamiento del recurso suelo

En la elaboración del análisis multitemporal se realizó una cartografía de usos del suelo y procesos morfodinámicos; para esto se usaron las aerofotos (fotografías aéreas) de distintos años para el área a intervenir, estas fotografías se les solicitaron respectivamente a los municipios de Medellín, Envigado, Itagüí, La Estrella y Sabaneta con los siguientes criterios:

- Cubrimiento total o parcial del área de estudio.
- Contar con una resolución espacial óptima esto con el fin de generar un producto digitalizado a una escala 1:2000.

- Solicitado por el contratista, fotografías aéreas de diferentes épocas y escalas con el fin de identificar condiciones iniciales de la zona de estudio.

Las aerofotos tienen un intervalo de 3 a 5 años entre ellas, sin embargo, el material no es continuo por consiguiente se trabajó con la información existente dentro del rango de 1989 hasta 2009, para la fecha del 2022 no se usaron fotografías aéreas si no imágenes satelitales.

Se analizaron un total de 163 fotos el cual consistía en ubicación de las actuaciones, la exploración en campo (sondeos, apiques, sev, lrs), y los usos del suelo. El análisis se realizó usando un estereoscopio de mesa como se observa en Figura 6.1

Figura 6.1 Registro fotográfico del análisis multitemporal



Fuente: SEDIC, 2023

#### 6.4.1. Uso del suelo

Se entiende por uso del suelo la ocupación de este por cualquier actividad. Los usos del suelo sobre un territorio resultan una fiel expresión de las relaciones entre el ser

humano y el medio que los rodea (Sancho et al, 1993). Los usos del suelo permiten identificar como es la dinámica de un territorio y su evolución.

Para el análisis se clasificaron los suelos en tres zonas sin contar el cauce del río Medellín, las cuales son:

- **Zona industrial:** Son las áreas cubiertas por infraestructura artificial, sin presencia de áreas verdes dominantes, las cuales se utilizan también para actividades comerciales o industriales, deportivas turísticas y de transporte vial.
- **Zona verde:** Comprende las áreas verdes, jardines botánicos, parques y espacios arbolados urbanos, excepto parques cementerios con poca o ninguna vegetación.
- **Zona residencial:** son áreas conformadas por edificaciones y viviendas residenciales, cementerios, entre otros.

De esta forma hacer una comparativa a través del tiempo por zonas y el cambio de los usos del suelo

### 6.5. Parámetros geomecánicos

Para determinar los parámetros geotécnicos se agruparon los resultados de la exploración teniendo en cuenta unidades geotécnicas homogéneas. En la Tabla 6.3 se presentan algunos de los parámetros o propiedades del suelo que se usaron para los análisis los suelos; en las observaciones se explica de donde fueron determinadas

Tabla 6.3 Parámetros geomecánicos, así como los involucrados en su estimación.

PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD DE MEDIDA	OBSERVACIÓN
Profundidad	Z	M	Determinado de exploración directa e indirecta, así como de interpretación geológica y de ensayos de campo.
Nivel freático	Nf	M	Determinado de exploración directa e indirecta.
Espesor	Hi	M	Determinado con la información anterior.
Peso unitario	$\Gamma$	Kn/m <sup>3</sup>	Determinado mediante ensayos de laboratorio, contrastado con literatura e información existente entregada por epm.
Peso unitario del agua	$\Gamma_w$	Kn/m <sup>3</sup>	Se asume un valor de 9,81.
Humedad natural	W	%	Determinado mediante ensayos de laboratorio, medida en horno a temperatura constante.
Límite líquido	LI	(%)	Determinado mediante ensayos de laboratorio. Humedad para 25 golpes en la cazuela de casagrande. El valor se expresa sin el %.
Límite plástico	Lp	(%)	Determinado mediante ensayos de laboratorio. Humedad para lograr la consistencia requerida de los rollos. El valor se expresa sin el %.
Índice de plasticidad	Ip	(%)	Determinado mediante los ensayos anteriores ( $ip=LI-Lp$ ). El valor se expresa sin el %.
Gravedad específica	Gs		Determinada mediante ensayos de laboratorio, de acuerdo con los procedimientos establecidos tanto para material fino como granular.
Número de golpes	N		Tomado de spt ejecutados en la exploración.
Velocidad de onda de corte	Vs	M/s	Determinado mediante la exploración indirecta mediante el método masw.
Velocidad de onda de compresión	Vp	M/s	Determinado mediante la exploración indirecta mediante el método refracción sísmica.
Cohesión en condición drenada	C'	Kpa	Determinada mediante ensayos de corte directo u otro, o mediante correlaciones con parámetros obtenidos mediante ensayos de campo.



PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD DE MEDIDA	OBSERVACIÓN
Ángulo de fricción interna en condición drenada	$\phi'$	°	Determinada mediante ensayos de corte directo u otro, o mediante correlaciones con parámetros obtenidos mediante ensayos de campo.
Cohesión en condición no drenada	Su	Kpa	Determinada mediante ensayos de corte directo u otro, o mediante correlaciones con parámetros obtenidos mediante ensayos de campo.
Módulo de elasticidad	E	Kpa o mpa	Determinado mediante correlaciones con ensayos de exploración directa e indirecta.
Relación de poisson	N		Determinado mediante correlaciones con ensayos de exploración directa e indirecta.

Fuente: SEDIC, 2023.

### 6.5.1. ángulo de fricción

Debido a la dificultad de la extracción de muestras inalteradas (teniendo en cuenta el tipo de material encontrado) para que se hicieran ensayos de laboratorio, se usaron correlaciones con los ensayos de campo; tanto para la exploración directa como indirecta.

Con el SPT, se hizo uso de correlaciones para determinar los parámetros de resistencia al corte, trazando la envolvente de falla descrita en el trabajo de (Gonzalez, 1999). Con los ángulos de fricción equivalentes, determinados mediante la correlación de Kishida, la cual, se ajusta bastante bien al promedio de las correlaciones evaluadas y ha mostrado arrojar datos confiables, se obtuvieron las envolventes para los materiales presentes en el perfil estratigráfico.

Debido a que la mayoría de los SPT llegaron a profundidades menores a las proyecciones de las excavaciones y que las muestras obtenidas mediante rotación no fueron aptas para realizar ensayos de laboratorio; se recurrió a información que aportada por exploración indirecta

El procedimiento llevado a cabo para determinar  $N$  a partir de los ensayos de exploración indirecta se basa en las correlaciones presentadas en el trabajo de Kirar, Maheshwari y Muley (2016), en el cual expone las correlaciones propuestas por distintos autores para tres tipos de materiales (arenas, arcillas y todos los suelos) ver Figura 6.2; la relación de la velocidad de onda de corte  $V_s$  con el número de golpes  $N$  del SPT, ambos valores sin corrección

Figura 6.2 Correlaciones entre  $V_s$  y  $N$

Author(s)	$V_s$ (m/s)		
	All soils	Sands	Clays
Hanumantharao and Ramana [5]	$V_s = 82.6N^{0.430}$	$V_s = 79.0N^{0.434}$	–
Maheshwari et al. [6]	–	$V_s = 95N^{0.300}$	–
Ohba and Toriumi [7]	$V_s = 84N^{0.310}$	–	–
Imai [8]	$V_s = 91N^{0.340}$	$V_s = 80.6N^{0.331}$	$V_s = 80.2N^{0.292}$
Ohta and Goto [9]	$V_s = 85.35N^{0.348}$	$V_s = 88.0N^{0.340}$	–
Jafari et al. [10]	$V_s = 121.0N^{0.270}$	$V_s = 80.0N^{0.330}$	$V_s = 100.0N^{0.330}$
Seed and Idriss [11]	$V_s = 61N^{0.500}$	–	–
Lee [12]	–	$V_s = 57.4N^{0.490}$	$V_s = 114.4N^{0.310}$
Sykora and Stokoe [22]	–	$V_s = 100.5N^{0.290}$	–
Okamoto et al. [23]	–	$V_s = 125.0N^{0.300}$	–
Pitilakis et al. [24]	–	$V_s = 162.0N^{0.170}$	$V_s = 165.7N^{0.190}$
Athanasopoulos [25]	$V_s = 107.6N^{0.360}$	–	–
Raptakis et al. [26]	–	$V_s = 123.4N^{0.290}$	$V_s = 184.2N^{0.170}$
Hasancebi and Ulusay [27]	$V_s = 90N^{0.309}$	$V_s = 90.8N^{0.319}$	$V_s = 97.9N^{0.269}$
Uma Maheswari et al. [28]	$V_s = 95.64N^{0.301}$	$V_s = 100.53N^{0.265}$	$V_s = 89.31N^{0.358}$
Esfehanizadeh et al. [29]	–	$V_s = 107.2N^{0.34}$	–
Fatehnia et al. [30]	–	$V_s = 77.1N^{0.355}$	$V_s = 77.1N^{0.355}$

Fuente: Correlation Between Shear Wave Velocity ( $V_s$ ) and SPT Resistance ( $N$ ) for Roorkee Region (2016)



La obtención de los parámetros de resistencia al corte teniendo en cuenta el ensayo mencionado anteriormente se realizaron mediante la normalización de los valores de N de campo, y por medio de métodos estadísticos buscar el valor más asertivo para el material caracterizado. Lo anterior con el fin de obtener la envolvente de falla para la determinación de la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna equivalente ( $\phi_{eq}$ ) para los distintos materiales identificados en el depósito. En la Tabla 6.4 se presentan las correlaciones con sus correspondientes autores utilizadas para la actividad

Tabla 6.4, Correlaciones entre  $N_{45}$  (caso Colombia) obtenido de SPT y  $\phi_{eq}$

AUTOR	$\phi_{eq}$
PECK	$28,5 + 0,25 N_{145}$
PECK, HANSON Y THORNURN	$26,25 * [2 - \exp(-\frac{N_{145}}{62})]$
KISHIDA	$15 + (12,5 N_{145})^{0,5}$
SCHMERTMANN	$\arctan[\frac{N_{145}}{43,3}]^{0,34}$
JAPAN NATIONAL RAILWAY (JNR)	$27 + 0,1875 N_{145}$
JAPAN ROAD BUREAU (JRB)	$15 + (9,375 N_{145})^{0,5}$

Fuente: Tomado de Gonzalez (1999).

### 6.5.2. Consistencia del suelo

El valor promedio del número de golpes obtenido en cada perforación permite caracterizar la resistencia genérica del suelo encontrado en los niveles definidos a través del parámetro de la consistencia del suelo como se muestra en la Tabla 6.5

Tabla 6.5 Relación entre el valor de N del ensayo de penetración estándar (SPT) y la consistencia del suelo

Valor de N del ensayo SPT	Consistencia del suelo
$N < 2$	Muy blanda
$2 \leq N \leq 4$	Blanda

$4 \leq N \leq 8$	Medianamente firme
$8 \leq N \leq 15$	Firme
$15 \leq N \leq 30$	Muy firme
$N > 30$	Dura

Fuente: Tomado de Terzaghi y Peck (1948).

### 6.5.3. Condición sísmica

Con base en el Título A, del Código de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), se puede establecer que el municipio de Medellín se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia (ver Tabla 6.6).

Tabla 6.6 Valor de  $A_a$  y de  $A_v$  para las ciudades capitales de departamento

Ciudad	$A_a$	$A_v$	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	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

Fuente: NSR-10 — Capítulo A.2 — Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño

La Tabla 6.6 también presentan los parámetros básicos necesarios para el diseño sísmico de las estructuras:

- Coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva:  $A_a = 0.15$
- Coeficiente de velocidad horizontal pico efectiva vertical:  $A_v = 0.20$

Sin embargo, de acuerdo con los estudios de Microzonificación Sísmica del Área Urbana de Medellín (1999) y el Área Metropolitana (2006) se identificó que el área en estudio tiene un  $A_a$  igual a 0.25.

En la Figura 6.3 se muestra la tabla proveniente de la NRS10- A.2.4.4 — DEFINICIÓN DEL TIPO DE PERFIL DE SUELO el cual permite agrupar los suelos en perfiles según sus características.

Figura 6.3 Clasificación de los perfiles de suelo.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
<b>A</b>	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500$ m/s
<b>B</b>	Perfil de roca de rigidez media	$1500$ m/s > $\bar{v}_s \geq 760$ 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	$760$ m/s > $\bar{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$ , o $\bar{s}_u \geq 100$ kPa ( $\approx 1$ kgf/cm <sup>2</sup> )
<b>D</b>	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360$ m/s > $\bar{v}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$ , o $100$ kPa ( $\approx 1$ kgf/cm <sup>2</sup> ) > $\bar{s}_u \geq 50$ kPa ( $\approx 0.5$ kgf/cm <sup>2</sup> )
<b>E</b>	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180$ m/s > $\bar{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total <b>H</b> mayor de 3 m de arcillas blandas	<b>IP</b> > 20 <b>w</b> $\geq$ 40% $50$ kPa ( $\approx 0.50$ kgf/cm <sup>2</sup> ) > $\bar{s}_u$
<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)	

Fuente: Título A de la NSR-10.

En la zona del proyecto, el estrato tiene un valor promedio de VS mayor a 360 (m/s) y menor a 760 (m/s) clasificándolo como un tipo C

Teniendo en cuenta el coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva Aa y del tipo de perfil de suelo, se definen los coeficientes de aceleración para periodos cortos e intermedios, de acuerdo con la Figura 6.4 y Figura 6.5 (Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro y valores del coeficiente Fv, para la zona de periodos intermedios del espectro) de la NSR-10. En la Tabla 6.7 se presentan los coeficientes de Fa y Fv para cada municipio perteneciente al proyecto

Figura 6.4 Valores del coeficiente  $F_a$ , para la zona de periodos cortos del espectro.

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
<b>A</b>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
<b>B</b>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<b>C</b>	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
<b>D</b>	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
<b>E</b>	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
<b>F</b>	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Fuente: Título A de la NSR-10.

Figura 6.5 Valores del coeficiente  $F_v$ , para la zona de períodos intermedios del espectro.

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
<b>A</b>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
<b>B</b>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<b>C</b>	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
<b>D</b>	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
<b>E</b>	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
<b>F</b>	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Fuente: Título A de la NSR-10.

Tabla 6.7 Coeficientes  $F_a$  y  $F_v$  para cada municipio

Municipio	$F_a$	$F_v$
Medellín	1.20	1.60
Envigado	1.20	1.60
Itagüí	1.20	1.60
La Estrella	1.20	1.55
Sabaneta	1.20	1.60

Fuente: SEDIC, 2023.

#### 6.5.4. Suelos especiales

##### 6.5.4.1. Suelos expansivos

El numeral H.9.1.1 de la NSR-10 menciona que una de las características especiales, que todas las arcillas tienen, de una forma u otra, es la propiedad de contraerse cuando pierden humedad y de expandirse cuando la ganan de nuevo según las condiciones ambientales esto se explica debido a la cualidad electro-

química de la arcilla de atraer agua y aumentar por tanto el espesor de la capa adsorbida.

Tabla 6.8. Clasificación de suelos expansivos.

Potencial de expansión	Expansión (%) media en consolidó metro bajo presión vertical de 0.07 Kg/cm <sup>2</sup>	Límite líquido LL, en (%)	Límite de contracción en (%)	Índice de plasticidad IP, en (%)	Porcentaje de partículas menores a una micra (µ)	Expansión libre EL en (%), medida en probeta
Muy alto	> 30	> 63	< 10	> 32	> 37	> 100
Alto	20 - 30	50 - 63	10 - 11	23 - 45	18 - 37	> 100
Medio	10-20	39 - 50	11 - 13	dic-34	dic-27	50 - 100
Bajo	< 10	< 39	> 13	< 20	< 17	< 50

Fuente: Título H de la NSR-10

#### 6.5.4.2. Suelos colapsables

Los suelos colapsables se identifican como aquellos depósitos formados por arenas y limos, en algunos casos cementados por arcillas y sales (carbonato de calcio), que, si bien resisten cargas considerables en su estado seco, sufren pérdidas de su conformación estructural, acompañadas de severas reducciones en el volumen exterior cuando se aumenta su humedad o se saturan. La colapsabilidad de estos depósitos se identifica, cuando el volumen de vacíos iguala la cantidad de agua en el punto del límite líquido. Para mayor cantidad de agua o menor volumen de vacíos el depósito es inestable. La evaluación se puede hacer mediante la siguiente formulación:

$$\gamma_{dcrit} = \frac{\gamma_w}{(1/\gamma_s) + w_l}$$

Si  $\frac{\gamma_d}{\gamma_{dcrit}} > 1$  el suelo es estable o expansivo

Si  $\frac{\gamma_d}{\gamma_{d_{crit}}} \leq 1$  el suelo es colapsable

#### 6.5.4.3. Suelos licuables

La licuación se refiere al fenómeno de la generación de grandes presiones de poro y consecuente reducción de la resistencia de suelos granulares. Comúnmente el fenómeno ocurre en los depósitos aluviales o fluviales de Holoceno en las profundidades no mayores de 15m.

T. L. Youd y I. M. Idriss (2001) definen la licuación como la transformación del material granular del estado sólido al licuado, como la consecuencia del incremento de las presiones de poro y de la reducción de presiones efectivas. El incremento de las presiones de poro se induce por la tendencia de materiales granulares a compactarse cuando se someten a las deformaciones de cortante cíclicas. El cambio de estado ocurre con preferencia en suelos sueltos a medianamente compactos, pobremente drenados, como son arenas limosas o gravas confinadas o con sellos de materiales impermeables.

Para evaluar la resistencia por licuación de suelo es necesario calcular dos variables:

- La demanda sísmica que se espera en las capas de suelo durante un sismo de diseño, expresada en términos de resistencia CSR (cyclic stress ratio).
- La resistencia de suelo para oponerse a la licuación, expresado con CRR (cyclic resistance ratio).

La relación de esfuerzos cíclicos (CSR) se determina con la siguiente ecuación:



$$CSR = \left( \frac{\tau_{sv}}{\sigma'_{vo}} \right) = 0.65 \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \left( \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) r_d$$

La relación de resistencia cíclica (CRR7.5) para un sismo de magnitud de 7.5. Se determina con la siguiente ecuación:

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - N_{160}} + \frac{N_{160}}{135} + \frac{50}{(10 * N_{160} + 45)^2} - \frac{1}{200}$$

Esta ecuación es válida para los  $(N_1)_{60} < 30$ . Para  $(N_1)_{60} \geq 30$ , los suelos granulares limpios tienen el grado de compactación demasiado alto para sufrir la licuación. Estos criterios involucran la gráfica de la relación de CSR con  $(N_1)_{60}$ . El  $(N_1)_{60}$  representa el número de golpes normalizado al esfuerzo vertical de 100kPa y a la energía del martillo con eficiencia de 60%.

El factor de seguridad contra licuación, FSL, se calculó para cada estrato licuable a fin de cuantificar el potencial de licuación. Este factor de seguridad se define como:

$$FSL = \frac{CRR_{7.5}}{CSR}$$

Adicionalmente Seed H. B. & Idriss I. M. (1982) propone un factor de escala para diferentes magnitudes de sismos.

Tabla 6.9. Factor de escala de magnitud.

Magnitud	Seed H. B. & Idriss I. M. (1982)
5.5	1.43
6.0	1.32
6.5	1.19
7.0	1.08



7.5	1.00
8.0	0.94
8.5	0.89

Fuente: Seed H. B. & Idriss I. M., 1982.

### 6.6. Modelación de estabilidad y deformación

Los diseños desarrollados se basaron en los principios de la mecánica de suelos; las modelaciones de las excavaciones se realizaron con los softwares de rosciencia slide6 para los temas de la estabilidad y Rs2 para el tema de las deformaciones

El método de estabilidad utilizado es el de dovelas janbú, (Sanhueza Plaza, C. Rodríguez Cifuentes L.) el cual es un método de análisis de estabilidad de laderas que puede usarse para estimar el factor de seguridad de superficies de falla de cualquier forma y de taludes con perfiles de suelo heterogéneo.

Los factores de seguridad básicos mínimos directos con los que se evaluó la estabilidad corresponde a los establecidos en la tabla H.2.4-1 de la NSR-10, esto se presentan en la Tabla 6.10.

Tabla 6.10 Factores de seguridad básicos indirectos para el análisis de estabilidad.

Condición	FSBM		FSBUM	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1,5	1,25	1,8	1,4
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1,25	1,1	1,4	1,15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1,1	1,00 (*)	No se permite	No se permite

Taludes – Condición Estática y Agua Subterránea Normal	1,5	1,25	1,8	1,4
Taludes – Condición pseudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1,05	1,00 (*)	No se permite	No se permite

Fuente: Título H, NSR-10.

Para construcciones temporales, como el caso de las excavaciones evaluadas, la norma permite tomar el 50% del sismo, por lo tanto, el coeficiente de aceleración para el análisis de los taludes de corte es de 0.072.

Las propiedades de los materiales para usados para los modelos corresponden a la actuación T01-SOC-AC04 los cuales son presentados en la Tabla 6.11

Tabla 6.11 Caracterización geotécnica de los materiales para la actuación T01-SOC-AC04.

Caracterización Geotécnica del material	Profundidad (m)	Peso Unitario (kN/m <sup>3</sup> )	Angulo de Fricción (°)	Cohesión (kPa)	Módulo de Elasticidad (kPa)	Relación de Poisson ( $\mu$ )
Rellenos Existentes	Varían entre 0,00 a 4,00	18,5	29,52	9,15	7765,31	0.30
Suelos Aluviales	Variable hasta una profundidad no determinada mayor a 10,0	20	35,37	27,69	13000	0.28

Fuente: SEDIC, 2023.

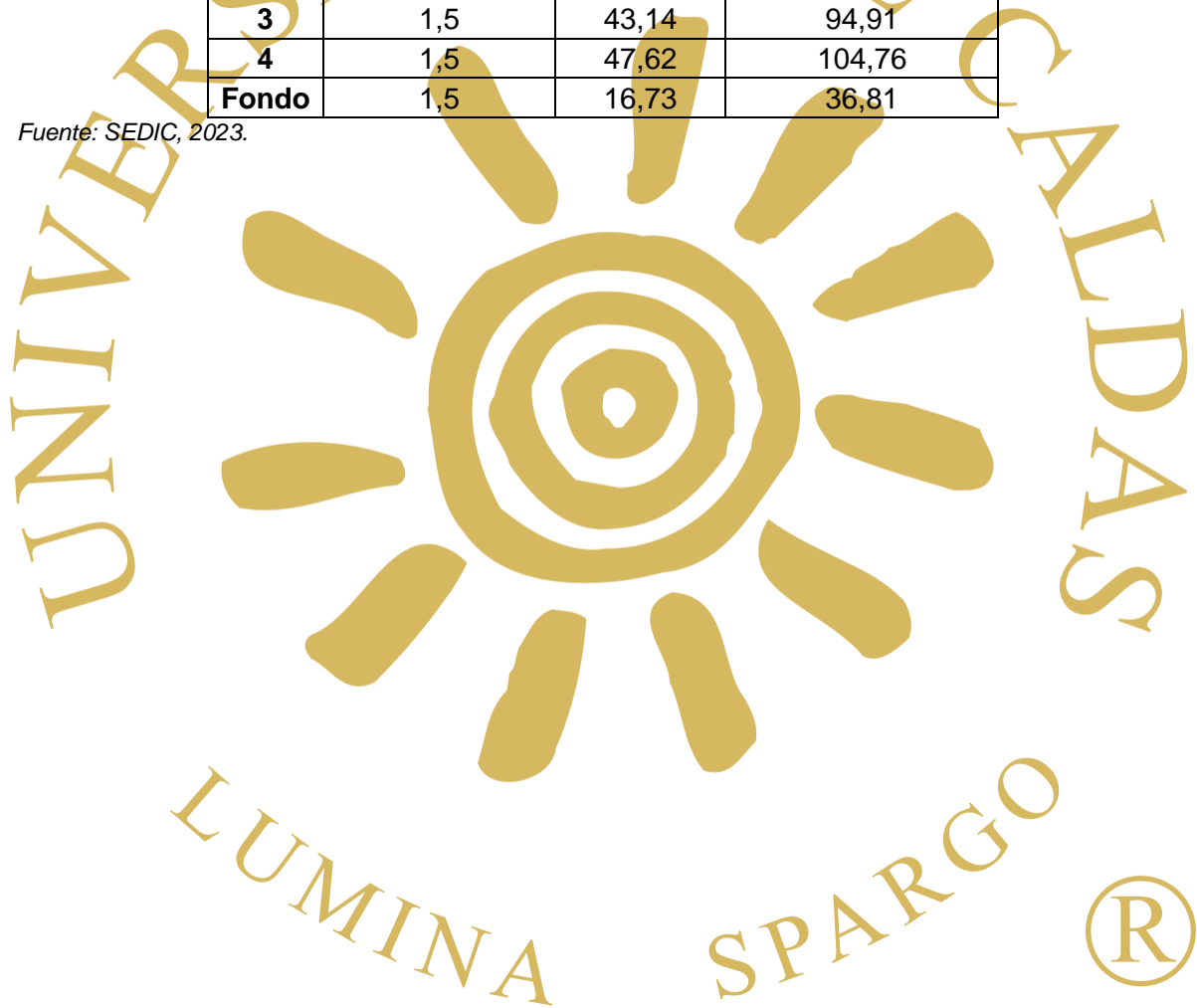
Los entibados son estructuras de madera los cuales ayudan a dar soporte y estabilidad durante la excavación, para el caso de la actuación T01-SOC-AC04 se usaron puntales, largueros y apuntalamientos con madera para una excavación 7m

de profundidad, en la Tabla 6.12 se encuentran las cargas y las distancias entre los puntales para el modelo de deformaciones

Tabla 6.12 Cargas sobre los codales

Separación horizontal, s(m)			2,2
Cargas en los puntales (kN)			
Nivel	Distancia (m)	Cargas/m	Carga en puntales
1	1	49,85	109,67
2	1,5	38,48	84,66
3	1,5	43,14	94,91
4	1,5	47,62	104,76
Fondo	1,5	16,73	36,81

Fuente: SEDIC, 2023.



## 7. MARCO GEOLÓGICO

### 7.1. Geología regional

El Valle de Aburrá está compuesto por un basamento metamórfico paleozoico, rocas ígneas ultrabásicas, una secuencia volcánico – sedimentaria, cuerpos graníticos intrusivos y depósitos de vertiente y aluviales (Maya y González, 1995). El basamento metamórfico, conformado por secuencias intercaladas de esquistos, anfibolitas y gneises, fue abducido durante el cretácico por cuerpos alargados de composición dunítica, basaltos y sedimentos de origen marino, fuertemente afectados tectónicamente (Restrepo y Toussaint, 1984). Adicionalmente, tonalitas y granodioritas cretácicas y triásicas de composición ácida a intermedia, intruyeron este complejo cuerpo metamórfico (McCourt et al., 1984; Kerr et al., 1996).

Tres grandes sectores pueden identificarse en el valle. La parte central que consiste en un valle amplio, limitado al oriente y occidente por valles tributarios de la quebrada Santa Elena y La Iguana, respectivamente, de gran extensión y evolución, mientras que los sectores norte y sur consisten en un estrecho valle asimétrico limitado por vertientes con fuertes pendientes.

En la Figura 7.1 se muestran las unidades geológicas a nivel regional, y en la Tabla 7.1 se encuentra un resumen de las unidades geológicas del mapa; el proyecto se encuentra en un 80% dentro la unidad Qal correspondiente a los depósitos aluviales del río Medellín y sus afluentes, el 20 % restante se encuentran dentro QII correspondiente a llenos antrópicos

Tabla 7.1 Unidades geológicas regionales

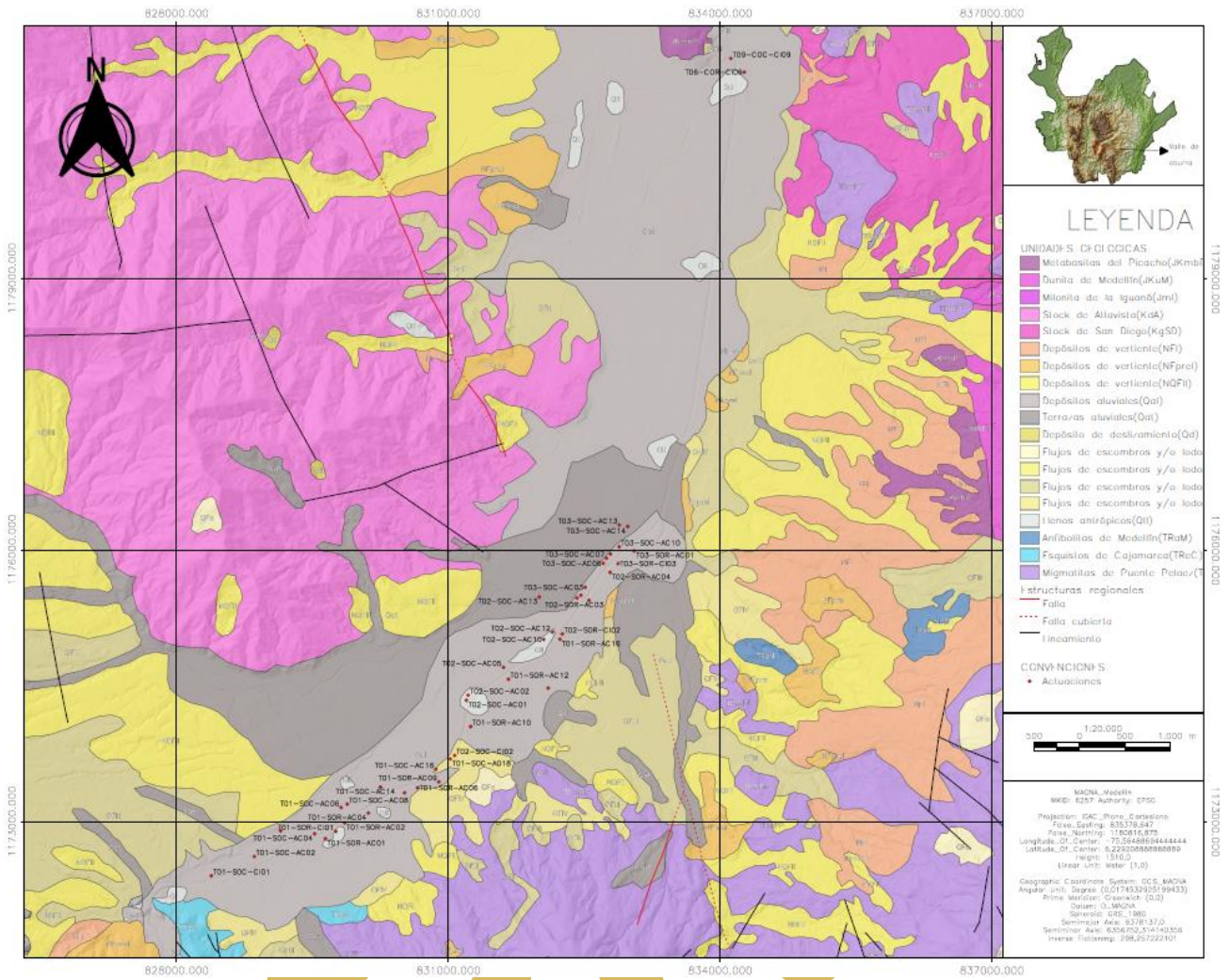
Unidad	Rocas	Código
Metabasitas del Picacho	Anfibolitas y metagabros	JKmbP
Dunita de Medellín	Dunitas	JKuM
Milonita de la Iguaná	Migmatitas, gneises feldespáticos	Jml
Stock de Altavista	Dioritas, cuarzodioritas y gabros	KdA
Stock de San Diego	Gabros y dioritas	KgSD
Depósitos de vertiente	Flujos de escombros y/o lodos	NFI, NQFII, Qfa, QFII, QFIII, QFIV
Depósitos aluviales	Depósitos aluviales	Qal
Depósitos aluviales	Terrazas aluviales	Qat
Depósitos de vertiente	Depósito de deslizamiento	Qd
Llenos antrópicos	Materiales derivados de la actividad urbanística y constructiva	QII
Anfibolitas de Medellín	Anfibolitas	TRaM
Esquistos de Cajamarca	Esquistos cuarzo sercíticos, cloríticos y grafitosos relacionados a cuerpos de anfibolitas	TReC
Migmatitas de Puente Pelaez	Migmatitas, gneises y granofels cuarzo feldespáticos intercalados con gneis biotítico	TRmPP

Fuente: SEDIC, 2023





Figura 7.1 Unidades geológicas regionales para el Valle de Aburrá



Fuente: SEDIC, 2023

En la Figura 7.1 se muestran las unidades geológicas a nivel regional, y en la Tabla 7.1 se encuentra un resumen de las unidades geológicas del mapa; el proyecto se encuentra distribuido del siguiente porcentaje:

- **Depósitos aluviales (Qal)(80%):** Corresponden a los depósitos del fondo del valle generados por el río Aburrá y sus afluentes. Estos depósitos están constituidos por diversos materiales, que incluyen arcillas, limos, arenas, gravas gruesas y fragmentos rocosos heterogéneos composicionalmente

estratificados con continuidad horizontal variable, formando abanicos, terrazas y llanuras aluviales, cabe destacar dentro de estos pequeños depósitos aluvio-torrenciales correspondientes a épocas de alta energía dentro de los afluentes al río Medellín

- **Depósitos antrópicos - Llenos (QII)(20%):** Corresponden a acumulaciones generadas por el hombre dentro de su proceso urbanístico y constructivo. Están constituidos por escombros y materiales de rezaga de las ladrilleras; los cuales deben ser dispuestos en otros lugares, desarrollándose acumulaciones artificiales que pueden llegar a tener una extensión y espesor tan importante que permite su cartografía a la escala del estudio.

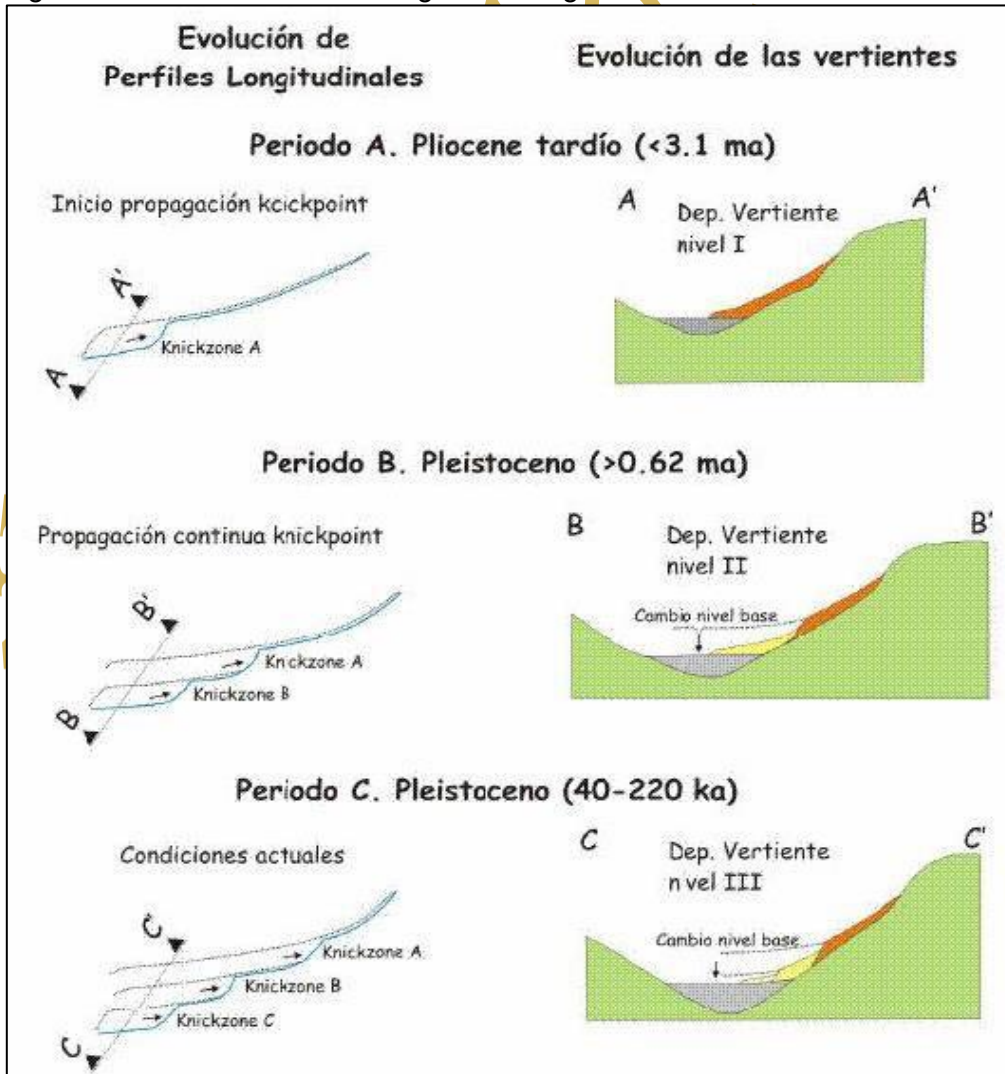
## 7.2. Geomorfología regional

El Valle de Aburrá se encuentra al norte de la cordillera central de Colombia en los Andes del Norte, constituye un sistema orogénico, situado en una zona tropical muy tórrida, lo que genera factores topográficos y climáticos encaminados a una alta actividad erosiva (Gregory-Wodzicki, 2000). tiene un área de 1.152 km<sup>2</sup> con una longitud de 65 km. Morfológicamente, es definido por Arias (2003) como una depresión con orientación norte – sur de fondo plano, localizada en la parte alta de la Cordillera Central (Aristizábal y Yokota, 2008).

En la Figura 7.2 se puede apreciar un modelo evolutivo desde la perspectiva geomorfológica, propuesto por Aristizábal y Yokota, 2008 de acuerdo con el análisis de perfiles longitudinales. Las superficies escalonadas del Valle de Aburrá sugieren que la evolución de las vertientes representa una combinación de periodos estáticos

y periodos de incisión y erosión. Los periodos de incisión fueron inducidos por los cambios en el nivel base del río Medellín, y estos migraron aguas arriba a lo largo de sus tributarios como knickpoints.

Figura 7.2 Modelo de evolución geomorfológica del Valle de Aburrá



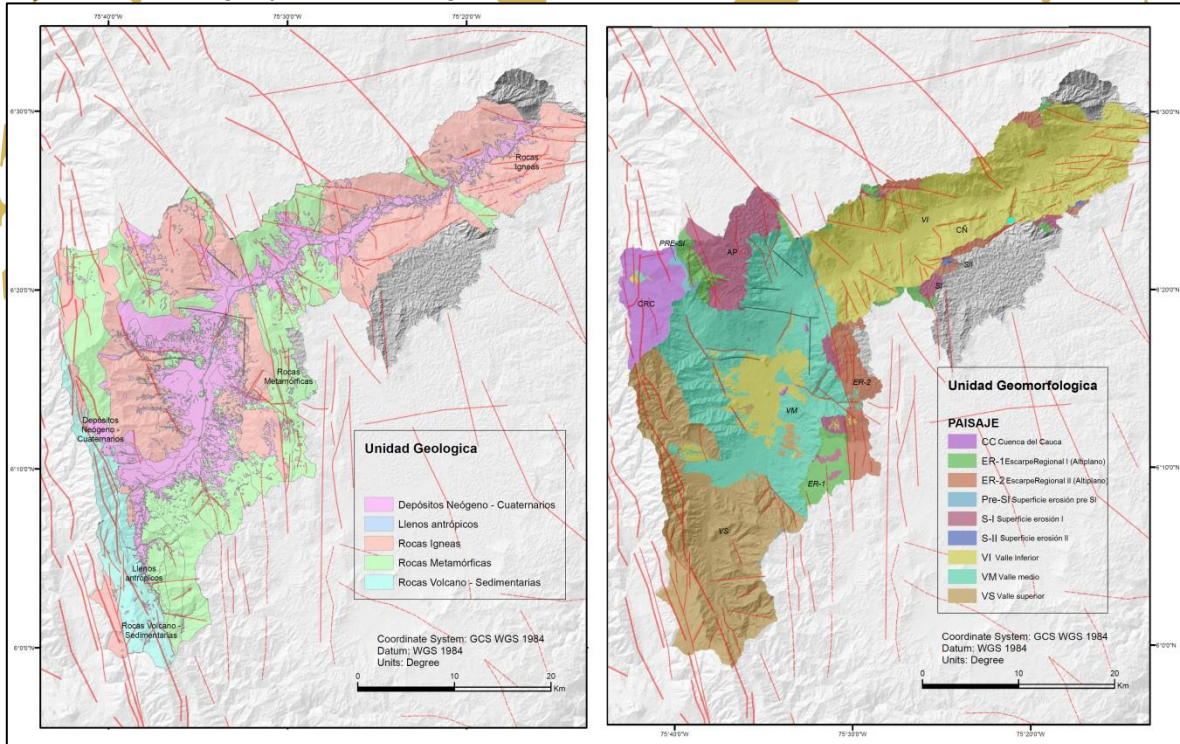
Fuente: Aristizábal y Yokota, 2008

Finalmente, episodios tectónicos asociados al origen del Valle de Aburrá generaron cambios en el nivel base del río. Estos cambios migraron aguas arriba como pulsos de disección, a través de knickpoints erodando hacia las partes más altas y antiguas secciones formadas por las quebradas. Las vertientes formadas por



recientes frentes erosivos son jóvenes, menores pendientes y más estables, conformando una nueva superficie en escalón en una posición más baja a la anterior (Aristizábal y Yokota, 2008). Tres grandes sectores pueden identificarse en el valle (Figura 7.3) La parte central que consiste en un valle amplio, limitado al oriente y occidente por valles tributarios de las quebradas Santa Elena y La Iguaná, respectivamente, de gran extensión y evolución, mientras que los sectores norte y sur consisten en un estrecho valle asimétrico limitado por vertientes con fuertes pendientes (Aristizábal y Yokota, 2008).

Figura 7.3 Geología y Geomorfología del Valle de Aburrá



Fuente: (Vélez, 2019)

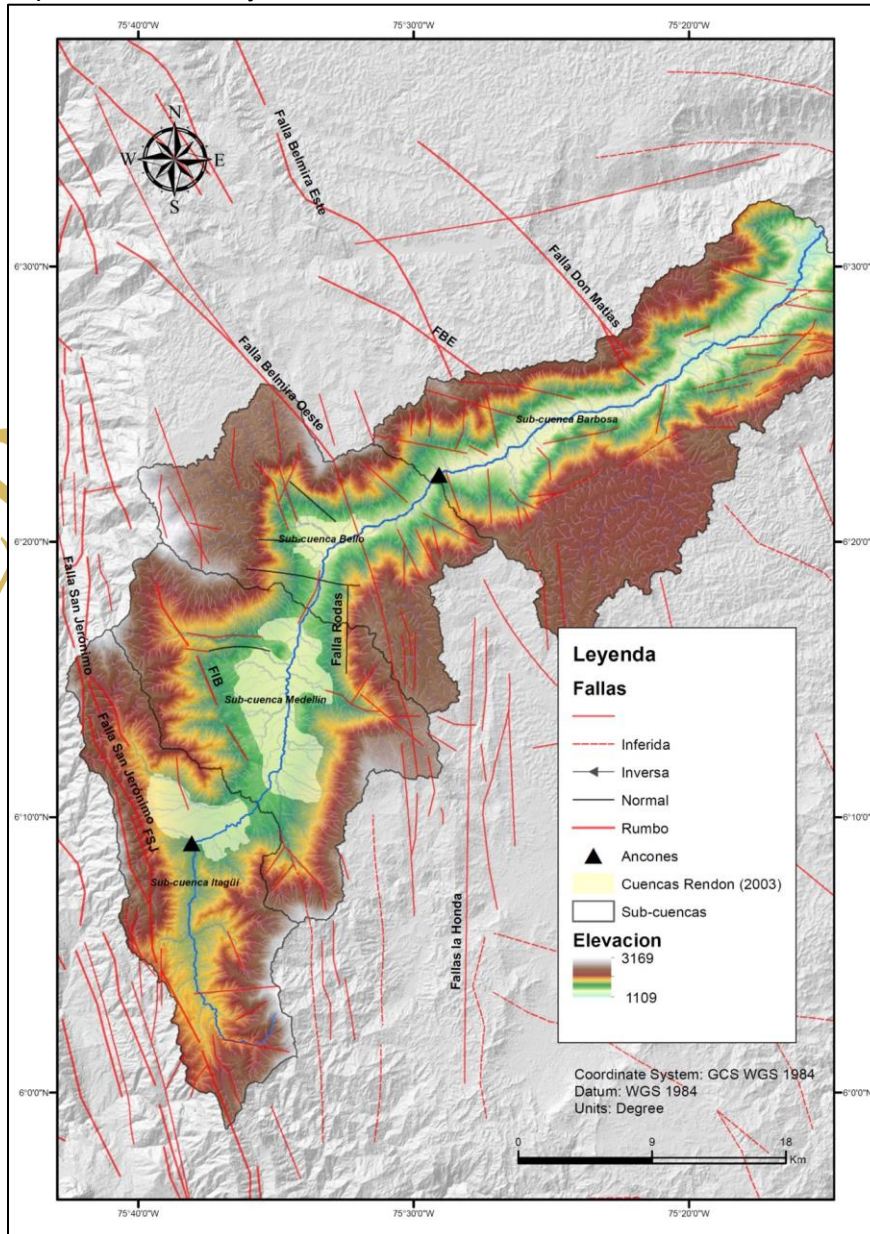
### 7.3. Tectónica

Regionalmente la zona está influenciada por el dominio de Romeral, constituido principalmente por las fallas de San Jerónimo, La Sucia y fracturas asociadas en

dirección NE y NW. Estas dos fallas son cortadas y desplazadas en sentido izquierdo por la falla de la quebrada Larga por cerca de 300 m. Sin embargo, la existencia de depósitos cuaternarios afectados tectónicamente relacionados directamente con el sistema NS y NW, muestran dicho sistema como reactivado en épocas recientes (Toro y Velásquez, 1984). Dentro de la Tabla 7.2 se encuentran las fallas geológicas regionales las cuales influyen al valle del aburra y la Figura 7.4 ilustra el mapa con las fallas previamente descritas para el Valle de Aburrá



Figura 7.4 Mapa de elevación y tectónica del Valle de Aburrá



Fuente : Rendón, D., 2003.



Tabla 7.2 Características de las fallas regionales

Falla geológica	Rumbo	Sentido del movimiento	Referencias
Cauca-Romeral	N-S a NNW-SSE	Sinistral/Inversa	Controla dos cuencas en el suroccidente del valle de Aburra (Restrepo y Tousaint, 1987) Presenta una alta expresión morfológica y deformación de depósitos recientes en San Antonio de Prado (Yokota y Ortiz, 2003).
Espíritu Santo	N25°E	Dextral/Inversa	Page (1986), Arias, (1981), Mesa y Lalinde, (2001).
Sopetrán o Jerónimo.	N10°W	Sinistral/Inversa	Microzonificación (2006)
Ancón Sur	N50°W	Inversa	Desde la quebrada el romeral hasta el Ancón Sur Aristizábal, E Yokota, S., 2008)
Iguaná Boquerón	SSE	Sinistral/Inversa	En la Quebrada Iguaná Boquerón (Rendón., 2003; Aristizábal., Yokota, S., 2008)
Belmira	N-S a N30-40W	Sinistral/Inversa	Controla la cuenca del río Chico y posee varios depósitos desplazados (Microzonificación, 2006). Falla Don Matías N30-40W en su porción sur
Belmira Este	N35°/45°O y SN	Sinistral/Inversa	(Rendón, 2003; Microzonificación, 2006)
Belmira Oeste	NO	Sinistral/Inversa	(Rendón, D., 2003)
Rodas	NS/45°E	Normal?	Contacto entre las dunitas de Medellín y las Anfibolitas. (Rendón, D., 2003; Aristizábal, E., 2004)
Santa Isabel	NS	Sinistral?	Contacto entre los esquistos de Cajamarca y las Anfibolitas granatíferas de Caldas (Rendón 2003; Microzonificación., (2006))
Quebrada La Seca			(Rendón, 2003; Microzonificación n, 2006)
La Reventona	NS		En la quebrada la Reventona (Microzonificación, 2006)
Tierra Amarilla	N60°S		Vereda Tierra amarilla (Microzonificación, 2006)
La Cachona	N50°W		Quebrada la Cachona (Toro y Velázquez 1984)
Don Matías	N45°W	Sinistral	En el río Aburrá (Botero 1963; Sierra, y Zapata 1989; Rendón., D., 2003))
Falla del Llano de Ovejas	N40°W		Microzonificación (2006)
Aurra	N10°W	Sinistral/Inversa	Page (1986)
El Guadual	N60°W		En la carretera que conduce al alto de Matasanos una falla de intrusión (Sierra y Zapata 1989; POT de Barbosa 2012)
El Salto	N7°W		Cuchilla el Contador hasta la vereda Peñolcito (Álvarez y Trujillo 1985)
Calles	NNW		Quebrada la Chiquita (Microzonificación, 2006)
Chagualones	N20°W	No determinado	Quebrada Chagualones (Microzonificación, 2006)
Don Diego Normandía	N45°E		Microzonificación (2006)
Sajonia			GSM (2002)
La Acuarela	NNW	Falla de Rumbo	Dunitas de Medellín y Gneis de Sajonia (Microzonificación, 2006)
La Chapa	N70°E		Loma Los Quinteros Loma El Guamal y Quebrada de Ovejas, (Sierra y Zapata 1989)
Santa Elena	N80°NS/45°E		Lineamiento de buenos Aires, cerro el Gallo quebrada el Viento (Sierra y Zapata 1989)

Fuente: (Vélez, 2019)

#### 7.4. Geología local

El proyecto está compuesto en un 100% dentro del área urbana del Valle de Aburra conformada por los municipios de Medellín, Envigado, Itagüí, Sabaneta y La Estrella; geográficamente, para el área del proyecto, los municipios fueron construidos sobre el lecho del río Medellín, geológicamente están sobre un depósito aluvial reciente, sin embargo debido a la alta intervención que se ha dado a la zona, parte del aluvial ha sido removido y sustituido por llenos; con motivo de tener un mayor nivel de detalle de los horizontes encontrados en las perforaciones se distinguen dos tipos de suelos

#### 7.4.1. Suelo aluvial de cauce activo (Sa1)

Son sedimentos recientes que han sido transportados y depositados por el Río Medellín y las Quebradas que desembocan en el afluente principal, conformando por cauces activos. Compuesto por clastos que varían su tamaño entre 2cm y 15cm, con forma subredondeada a redondeada, por lo general clasto soportados, con tamaños y granulometría heterogénea, en condición suelta, embebidos en matriz limosa (Sedic, 2023)

Se encuentran rocas de variadas litologías (ígneas y metamórficas) con forma redondeada a subredondeada sugiriendo transporte de los clastos, su matriz es limo-arcillosa con humedad y plasticidad medias, de color café, al momento de realizar la perforación se lava indicando poca consolidación. La relación clasto-matriz varía un poco a medida que se profundiza el sondeo con un porcentaje promedio de 60-40% (Sedic, 2023)

Estos suelos varían mucho según su ubicación geográfica dentro del proyecto, cercano a las quebradas Doña María y La Doctora presentan un comportamiento aluviotorrencial con clastos angulosos de gran tamaño y mala selección, opuesto a esto se encuentran zonas cercanas al río Medellín matriz soportados con clastos que no superan los 2cm, esto muestra que el depósito es heterogéneo con cambios bruscos en su estructura

#### 7.4.2. Suelo de llenos antrópicos (Sla)

Corresponden a materiales heterogéneos dispuestos por el hombre, generalmente caóticamente y sin ningún tratamiento o adecuación, con el objeto de cumplir los requerimientos de los diseños de obras de ingeniería o con la intención de aprovechar áreas de cauce de drenajes. El material encontrado en el área de estudio contiene como matriz abundante limo-arcillosa de color café parda, con presencia de restos de ladrillo, concreto, vidrios, basura y materia orgánica de color negro, bloques de variada composición litológica, los clastos presentes son de geometría sudredondeada, no permeable, con humedad media, baja dureza y plasticidad media, es común observar restos de sacos y basuras como parte de los componentes del relleno, al ser un suelo reciente he intervenido de manera constante por el hombre; para las diferentes obras que se realizan tiene poca compactación.

#### 7.5. Geomorfología local

Para el área del proyecto se desarrolla predominantemente sobre un ambiente geomorfológico de tipo antrópico que corresponde al área urbana de los municipios

intervenidos, también se encuentra las geoformas de ambiente fluvial como los cauces activos de ríos, y una geoforma perteneciente al ambiente denudacional, correspondiente al cerro Nutibara clasificado como un cerro residual; en la Tabla 7.3 se presenta un resumen del análisis geomorfológico realizado

Tabla 7.3. Resumen Geoformas proyecto Interceptor

GEOMORFO ESTRUCTURA	REGIÓN	UNIDAD	SUBUNIDAD	NOMENCLATURA
Orógeno Andino	Ambiente Fluvial	Depósitos aluviales	Cauce activo de río	Fca
	Ambiente Denudacional	Cerro residual	Cerro residual	Dcr
	Ambiente Antropogénico	Zonas urbanas	Zona urbana	Azu

Fuente: SEDIC, 2023

#### 7.5.1. Geoformas de Origen Fluvial

Esta geoforma se distingue por atravesar de norte a sur el área de influencia de estudio, a su alrededor se encuentra construido un 90% del Valle de Aburra siendo uno de los más importantes en Medellín o su zona metropolitana.

Se encuentra intervenido con canales y obras de estabilización por ir de manera paralela a una de las obras de construcción más importantes del país, el metro de Medellín que comunica desde el Municipio de Bello hasta el municipio de la Estrella toda el área metropolitana de la capital de Antioquia, conforman la característica geomorfológica más sobresaliente de la parte norte de la cordillera central colombiana. De acuerdo con Arias (1995) el Valle del Río Medellín es un relieve de segundo orden, posterior a los altiplanos a los cuales corta.

#### 7.5.2. Geoformas asociadas a zonas urbanas

Son aquellas zonas que ya han venido siendo intervenidas por el hombre creando rellenos para construcción.



### 7.5.3. Geformas de origen denudacional

Son aquellas formas del terreno asociadas a factores externos (acción del agua y el viento) que tienen que ver con procesos erosivos. El agua en forma de lluvia, ríos y de escorrentía superficial es el agente principal en los procesos de meteorización, erosión, transporte y deposición de los materiales que generan las geoformas de origen denudacional.



## 8. RESULTADOS

Dentro del capítulo se muestran los resultados obtenidos durante las actividades propuestas en la práctica; debido a la cantidad de material generado y que cada actuación fue trabajada de manera independiente, los resultados estarán asociados a las actuaciones T01-SOC-AC02, T01-SOC-AC04 y T09-COC-CI09

### 8.1. Análisis multitemporal

#### 8.1.1. Antecedentes

Los fenómenos naturales tales como movimientos en masa, inundaciones o avenidas torrenciales han sido recurrentes en el Valle de Aburrá, asociados al origen y evolución del territorio (¡Aristizábal, 2004; Aristizábal et al, 2006). Sin embargo, durante las últimas décadas, dichos fenómenos han causado centenares de muertos y millonarias pérdidas económicas. Entre ellos, se destacan los movimientos en masa de Rosellón (1927), Media Luna (1954), Santo Domingo Savio (1974), Villatina (1987), ¡La Cruz (2007); las avenidas torrenciales de La Iguaná (1880), La López (1954), ¡La Honda (1996) y El Barro (2005); y los incendios de Vallejuelos (2001), Mano de Dios (2002), El Trébol (2005) y Altos de la Virgen (2006).

En el Valle de Aburrá, durante el período comprendido entre 1880 y el primer semestre del año 2007, se registró un total de 6.750 eventos. Porcentualmente, las inundaciones representan el fenómeno de mayor recurrencia (42%), seguido por los movimientos en masa (35%), y los incendios forestales (15%) (Figura 8.1). La suma de estos 3 tipos de fenómenos equivale al 92% del total. Así, de cada 10 eventos que se presentan en la Región Metropolitana, aproximadamente 8 son generados

por inundaciones o movimientos en masa, lo que refleja la estrecha relación entre las condiciones geográficas e hidrometeorológicas del territorio con el tipo de amenaza o fenómeno natural más frecuente (Actualización POMCA Rio Aburrá, 2016).

Figura 8.1 Porcentaje de registros de acuerdo con el fenómeno de origen



Fuente: Modificado de Aristizábal y Gómez, 2007.

En relación con los eventos de origen antrópico (en el gráfico se identifica como “Otros”), se resaltan los incendios estructurales y derrames, con el 0,3% cada uno de ellos. El municipio de Itagüí registra el 15% del total de eventos tipo antrópico, situación explicable por su desarrollo y dinámica industrial. Los eventos generados por inundaciones se han concentrado en el municipio de Medellín (74%), seguido por Itagüí (8,5%), Bello (5,5%) y Envigado (4%). Con respecto a los movimientos en masa, el 82,4% se han presentado en Medellín, seguido por Caldas (3,6%) y Girardota (3%). Los incendios forestales se han concentrado en la ciudad de

Medellín (37%). Sin embargo, se destaca el municipio de Envigado con el 16% del total de eventos, teniendo en cuenta la diferencia del área del territorio entre ambos. Bello, Copacabana y La Estrella también presentan un número importante de estos eventos con 11%, 8,9% y 7,8%, respectivamente (Actualización POMCA Rio Aburrá, 2016)

Tabla 8.1 Eventos más críticos en el Valle de Aburrá, para el área de interés del proyecto

Movimiento en masa	Fecha	Localización	Muertos
Flujo de lodos	18/06/1927	Rosellón (Envigado)	22
Avenida torrencial	8/09/1947	Medellín	15
Deslizamiento de escombros	25/06/1973	La Manguala – San Antonio de Prado (Medellín)	13
Movimiento en masa	4/02/1975	Medellín	18
Avenida torrencial	25/09/1979	Quebrada Doña María (Itagüí)	11
Flujo de escombros	20/10/1980	San Antonio de Prado (Medellín)	>18
Deslizamiento de escombros	23/11/1984	Santa María (Itagüí)	10

Fuente: Aristizábal y Gómez, 2007.

Debido a las condiciones geomorfológicas del Valle y a la ocupación del territorio, los eventos más recurrentes con afectaciones considerables sobre la comunidad son aquellos generados por las inundaciones, los movimientos en masa y los incendios forestales, respectivamente. Dichos fenómenos presentan una distribución anual bimodal, similar a la distribución de lluvias mensuales medias en la Región Metropolitana. Ambas distribuciones se caracterizan por presentar dos picos en los meses de mayo y octubre, con un ligero incremento en las precipitaciones y eventos en la segunda temporada de invierno, correspondiente al mes de octubre

En la Tabla 8.2 se presenta la información recopilada por los reportes realizados por el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) que recopila información de todas las entidades (Servicio Geológico Colombiano, Invias, IDEAM, SIGPAD, INGEOMINAS, entre otros) los municipios del área de influencia del proyecto Estructuras de Desvío del interceptor de la etapa uno (Medellín, Envigado, La Estrella, Itagüí y Sabaneta); se ubican en total desde el año 1995, 30 reportes que se muestran a continuación

Tabla 8.2 . Antecedentes de movimientos en masa reportados por el SIMMA

ANÁLISIS MULTITEMPORAL								
LATITUD	LONGITUD	FECHA REPORTE	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	INSTITUCIÓN	TIPO DE MOVIMIENTO	CÓDIGO SIMMA	IMPORTANCIA
6° 10' 23.06"	-75° 35' 22.41"	23/11/2006	ANTIOQUIA	ENVIGADO	IDEAM INVENTARIO	DESLIZAMIENTO	8581	-
6° 10' 32.03"	-75° 35' 18.86"	24/04/2004	ANTIOQUIA	ENVIGADO	SIGPAD	DESLIZAMIENTO	6325	-
6° 10' 55.32"	-75° 35' 20.71"	18/12/1999	ANTIOQUIA	ENVIGADO	IDEAM INVENTARIO	DESLIZAMIENTO	5047	-
6° 10' 19.46"	-75° 35' 27.77"	15/11/1999	ANTIOQUIA	ENVIGADO	IDEAM INVENTARIO	DESLIZAMIENTO	4972	-
6° 10' 39.18"	-75° 35' 26.64"	24/10/1998	ANTIOQUIA	ENVIGADO	IDEAM INVENTARIO	DESLIZAMIENTO	4410	-
6° 9' 53"	-75° 34' 56"	12/12/2012	ANTIOQUIA	ENVIGADO	SGC	DESLIZAMIENTO	26228	ALTA
6° 10' 0.1"	-75° 36' 45"	15/01/2016	ANTIOQUIA	ITAGÜÍ	SGC	CAIDA DE ROCA	33019	MEDIA
6° 10' 12"	-75° 36' 35"	21/04/2011	ANTIOQUIA	ITAGÜÍ	INVIAS	DESLIZAMIENTO	15949	-
6° 9' 36"	-75° 37' 21"	05/06/2001	ANTIOQUIA	ITAGÜÍ	DESINVENTAR VALLE DE ABURRA	DESLIZAMIENTO	23599	BAJA
6° 10' 37"	-75° 36' 15"	04/06/2001	ANTIOQUIA	ITAGÜÍ	DESINVENTAR VALLE DE ABURRA	DESLIZAMIENTO	23590	BAJA
6° 9' 55.72"	-75° 36' 34.29"	19/05/1999	ANTIOQUIA	ITAGÜÍ	IDEAM INVENTARIO	DESLIZAMIENTO	4777	-
6° 8' 57.85"	-75° 38' 23.35"	16/08/2008	ANTIOQUIA	LA ESTRELLA	SIGPAD	DESLIZAMIENTO	6423	-
6° 9' 4.79"	-75° 37' 56.4"	16/10/2004	ANTIOQUIA	LA ESTRELLA	IDEAM INVENTARIO	DESLIZAMIENTO	6516	-

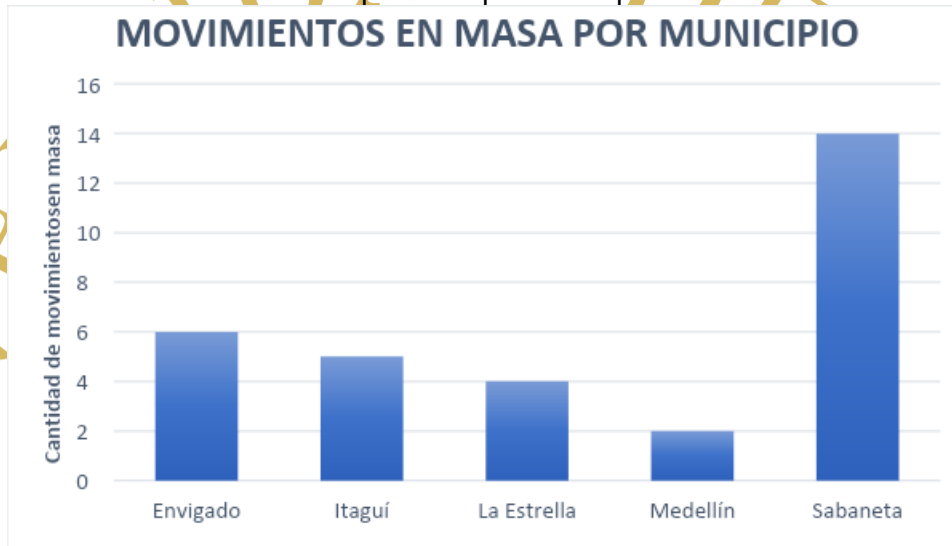
ANÁLISIS MULTITEMPORAL								
LATITUD	LONGITUD	FECHA REPORTE	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	INSTITUCIÓN	TIPO DE MOVIMIENTO	CÓDIGO SIMMA	IMPORTANCIA
6° 8' 54.67"	-75° 38' 15.11"	03/05/1998	ANTIOQUIA	LA ESTRELLA	IDEAM INVENTARIO	DESLIZAMIENTO	4238	-
6° 9' 0"	-75° 38' 0"	08/11/2012	ANTIOQUIA	LA ESTRELLA	SGC	DESLIZAMIENTO	26419	-
6° 14' 54.47"	-75° 34' 21.41"	28/08/2009	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	INGEOMINAS	FLUJO DE LODO	58	-
6° 12' 20"	-75° 32' 44"	12/12/2012	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	SGC	DESLIZAMIENTO	26221	ALTA
6° 9' 20.96"	-75° 37' 3.51"	22/10/2008	ANTIOQUIA	SABANETÁ	SIGPAD	DESLIZAMIENTO	6623	-
6° 9' 16.21"	-75° 36' 52.76"	13/06/2008	ANTIOQUIA	SABANETÁ	IDEAM INVENTARIO	DESLIZAMIENTO	9762	-
6° 9' 19.78"	-75° 36' 58.73"	19/11/2004	ANTIOQUIA	SABANETÁ	SIGPAD	DESLIZAMIENTO	6621	-
6° 9' 18.59"	-75° 36' 57.54"	31/05/2000	ANTIOQUIA	SABANETÁ	IDEAM INVENTARIO	DESLIZAMIENTO	5358	-
6° 9' 11.4"	-75° 37' 3.48"	30/05/2000	ANTIOQUIA	SABANETÁ	IDEAM INVENTARIO	DESLIZAMIENTO	5355	-
6° 9' 18.56"	-75° 37' 8.28"	06/06/1999	ANTIOQUIA	SABANETÁ	IDEAM INVENTARIO	DESLIZAMIENTO	4808	-
6° 9' 22.17"	-75° 36' 58.74"	05/06/1999	ANTIOQUIA	SABANETÁ	IDEAM INVENTARIO	DESLIZAMIENTO	4807	-
6° 9' 26.96"	-75° 36' 53.98"	05/06/1999	ANTIOQUIA	SABANETÁ	IDEAM INVENTARIO	DESLIZAMIENTO	4805	-
6° 9' 23.35"	-75° 37' 1.13"	14/11/1998	ANTIOQUIA	SABANETÁ	IDEAM INVENTARIO	DESLIZAMIENTO	4448	-
6° 9' 12.57"	-75° 37' 13.03"	25/10/1998	ANTIOQUIA	SABANETÁ	IDEAM INVENTARIO	DESLIZAMIENTO	4419	-
6° 9' 13.79"	-75° 37' 4.68"	09/06/1995	ANTIOQUIA	SABANETÁ	SD	FLUJO	6618	-
6° 9' 24.58"	-75° 36' 50.4"	07/06/1995	ANTIOQUIA	SABANETÁ	IDEAM INVENTARIO	DESLIZAMIENTO	3573	-
6° 9' 22.15"	-75° 37' 4.71"	07/06/1995	ANTIOQUIA	SABANETÁ	IDEAM INVENTARIO	DESLIZAMIENTO	3574	-
6° 9' 7"	-75° 37' 0"	24/04/2011	ANTIOQUIA	SABANETÁ	INVIAS	DESLIZAMIENTO	15974	-
		2007	ANTIOQUIA	VALLE ABURRA	DESINVENTAR VALLE DE ABURRA	DESASTRES	-	ALTA
		2008	ANTIOQUIA	VALLE ABURRA	ARISTIZÁBAL	DESASTRES	-	-
		2016	ANTIOQUIA	VALLE ABURRA	POMCA RÍO ABURRA	DESASTRES	-	-

Fuente: SEDIC, 2023.



El municipio que más reporta eventos es Sabaneta con un total del 46% (14) respecto a los eventos encontrados, continua el municipio de Envigado con un 20% (6) del total encontrado, Itagüí con un 16% (5), La Estrella con un 12% (4) y por último Medellín con un 6% (2), a continuación, la relación grafica de esto en la Figura 8.2

Figura 8.2. Movimientos en masa reportados por municipio en el Valle de Aburra



Fuente: SEDIC, 2023

En la clasificación de los eventos encontrados los deslizamientos tienen un dominio con un 93% (28), el resto de eventos son iguales en un 3%(1), las caídas de roca, flujos y flujos de lodo Ver Figura 8.3

Figura 8.3. Movimientos en masa clasificados según su tipología.

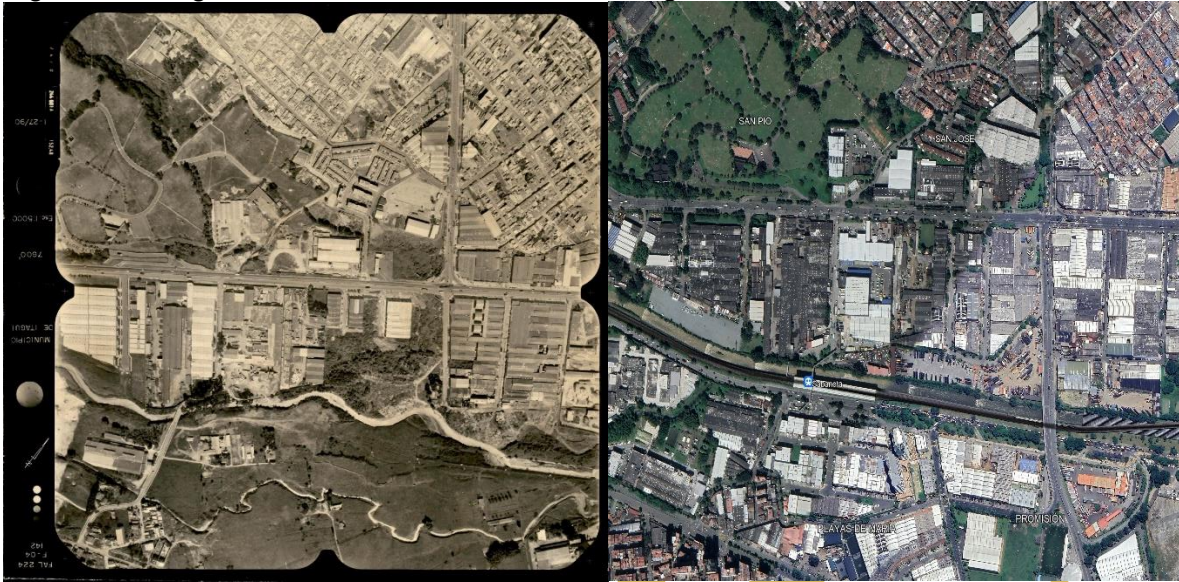


Fuente: SEDIC, 2023

### 8.1.2. Morfodinámica

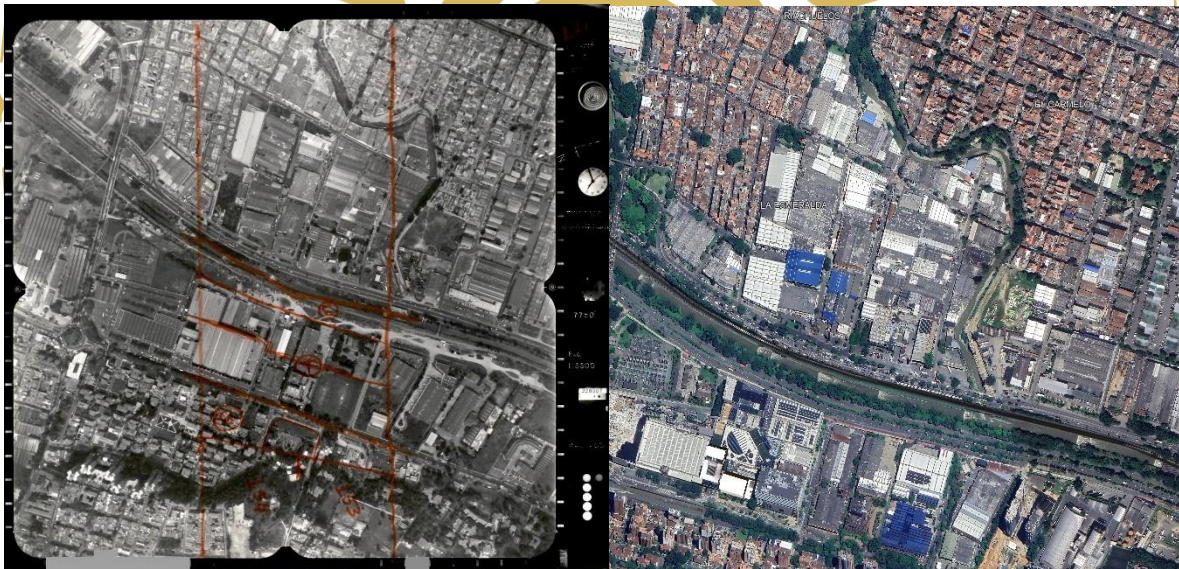
Las fotografías aéreas de años anteriores muestran socavaciones laterales de la quebrada Doña María y el río Medellín, sin embargo, hoy en día, ambos afluentes han sido intervenidos y canalizados por los municipios al cual pertenecen como se muestran en la Figura 8.4 y Figura 8.5; además no se tuvieron procesos morfodinámicos registrados en las fotografías que no fueran actuales, esto se debe al alto nivel de interés de la zona al pertenecer en su totalidad a zonas urbanas

Figura 8.4 fotografía de 1990 del río Medellín e imagen satelital del mismo punto 2022



Fuente: SEDIC, 2023

Figura 8.5 fotografía de 1993 de la quebrada Doña María e imagen satelital del mismo punto 2022



Fuente: SEDIC, 2023

### 8.1.3. Usos del suelo

Como ejemplo de la actividad realizada se usará los análisis realizados en las actuaciones T01-SOC-AC02



Para establecer los usos del suelo durante un rango de 32 años en el área directa de estudio en este caso la actuación T01-SOC-AC02, se realizó un análisis multitemporal identificando las evoluciones y cambios como se muestra en, también se tuvo en cuenta la información de las diferentes entidades territoriales que realizaron análisis evolutivos del uso del suelo como el POT de Medellín y el POMCA del Río Aburra.

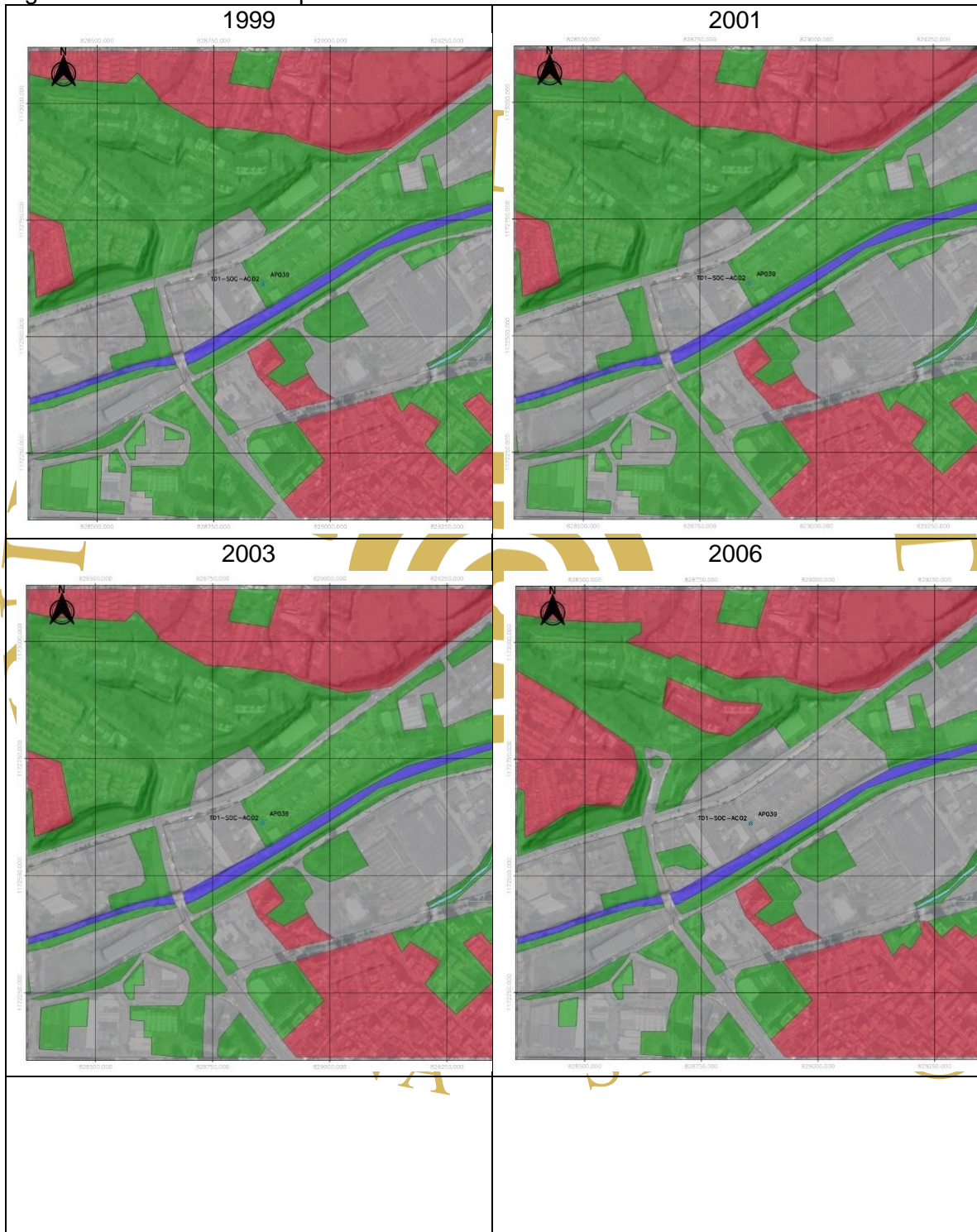
Las fotografías usadas para el análisis multitemporal de la actuación T01-SOC-AC02 se resumen en la Tabla 8.3

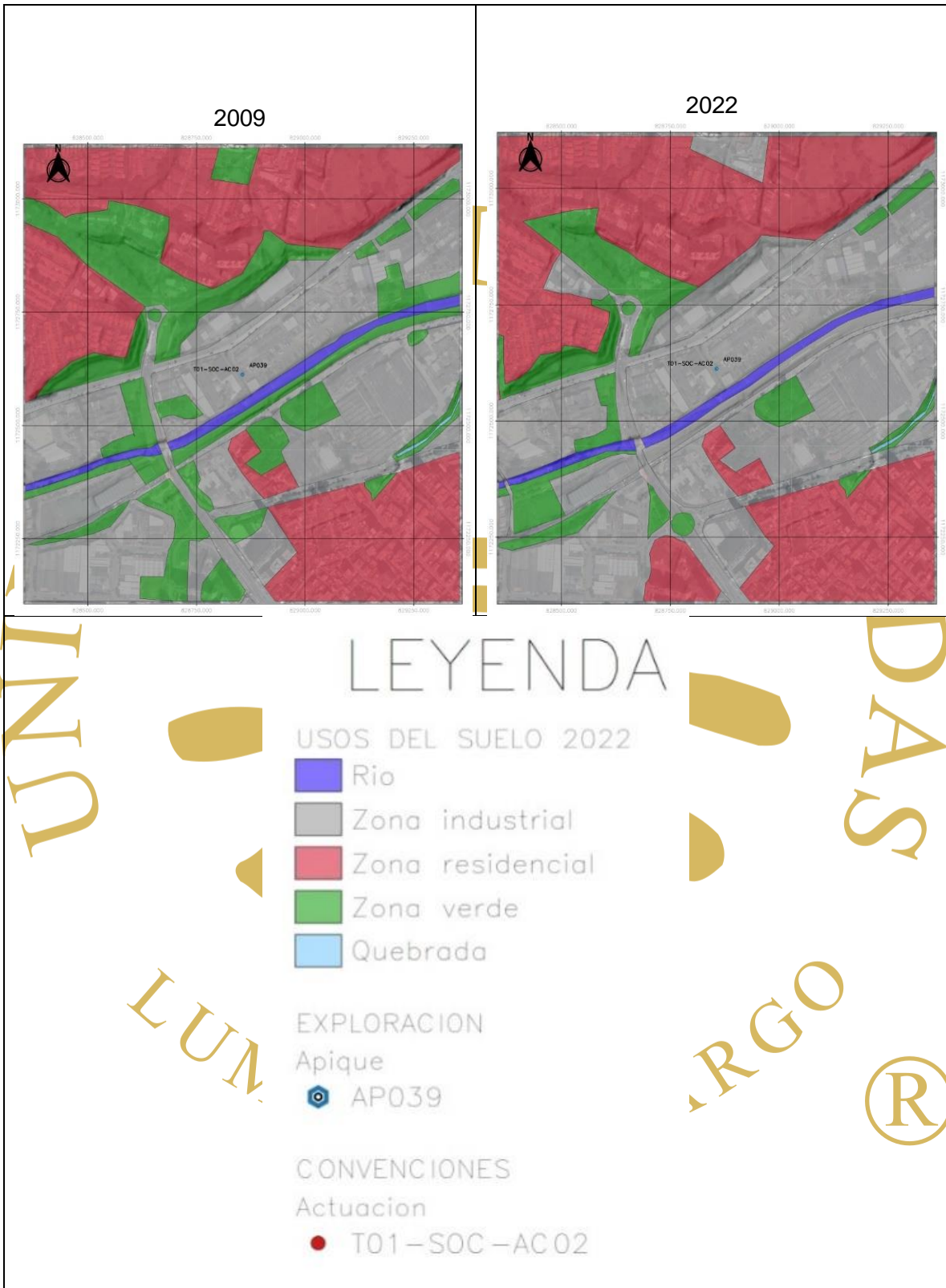
Tabla 8.3. Fotografías utilizadas para el análisis multitemporal

FOTO	AÑO
FAL224-F04-140	1990
FAL224-F04-139	
FAL224-F04-138	
F-02-264	2001
F-03-265	
F-03-267	
F-03-268	
F-07-149	2003
F-07-150	
F-7A-000	
F-7A-001	2006
F-2C-374	
F2C-373	
F-02-828	
F-01-813	
F-01-814	
F-01-815	2009
F-01-816	
F-01-605	
F-01-606	

Fuente: SEDIC, 2023

Figura 8.6 Análisis multitemporal de usos del suelo





Fuente: SEDIC, 2023



Tabla 8.4. Usos del suelo actuación T01-SOC-AC02

Año	Zona verde		Zona industrial		Zona residencial	
	(Ha)	%	(Ha)	%	(Ha)	%
1990	58.545	59	20.147	20	14.748	15
2001	44.396	44	23.678	24	23.597	24
2003	41.743	42	25.775	26	23.597	24
2006	28.098	28	31.324	31	31.412	31
2009	21	21	33.759	34	35.035	35
2022	10.485	10	41.584	42	37.619	38

Fuente: SEDIC, 2023

La Tabla 8.4 muestra el área en hectáreas y el porcentaje representativo de 500m de área de influencia; este porcentaje no suma un 100% debido a que el Río Medellín sumado a la quebrada La Doctora tendría un porcentaje del 5% del total del área tomada en cuenta, el porcentaje faltante hace parte de vías tanto principales como secundarias.

Para finalizar el análisis multitemporal de las actuaciones se da una serie de conclusiones relacionadas con el área de influencia, las siguientes son de las conclusiones dadas para la actuación T01-SOC-AC02 proporcionadas por (Sedic, 2023)

- El área de intervención en la actualidad se considera una zona industrial, siendo esta la mayor ocupación de uso del suelo con un 42% de cobertura.
- Desde la fecha más antigua analizada que es 1990 a la actualidad la zona verde disminuyó en un 49% su área de cobertura.
- Desde el año 1990 al presente la zona industrial aumentó en un 22% su área de cobertura.

- Desde la fecha más antigua analizada que es 1990 al presente la zona residencial aumento en un 23% su área de cobertura.
- El área no presenta procesos morfológicos que lleguen a afectar el proyecto de manera relevante.
- Se muestra una canalización del río Medellín la cual es apreciada en el intervalo entre 1990 y 2001.
- El desarrollo y cambio de la zona de estudio se da mayoritariamente por ampliaciones en la vía regional y el desarrollo industrial.
- Para el sector su mayor cambio se da entre 1990 y 2001 donde la zona verde disminuye un 15%.”

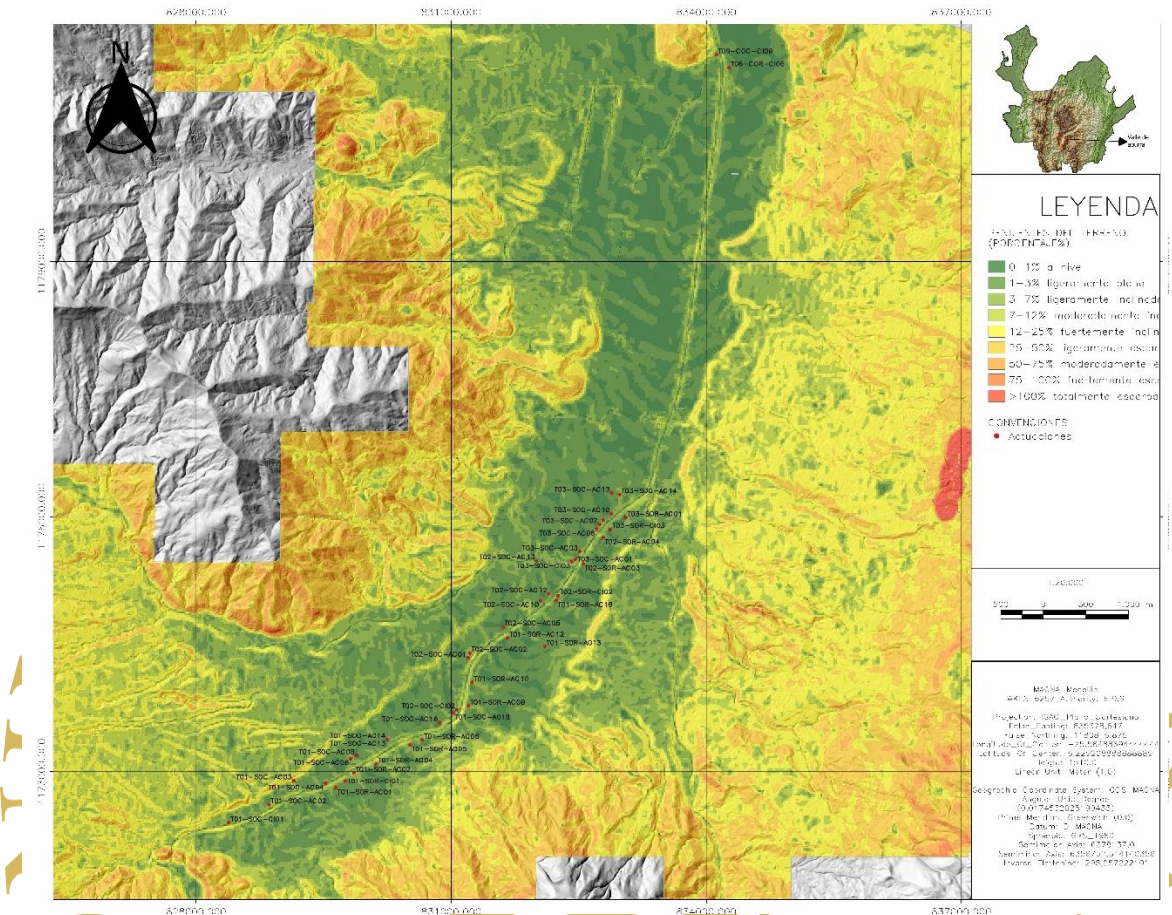
## 8.2. Parámetros geológicos

A continuación se presenta información relevante dentro de los diseños detallados de las actuaciones, para los casos de la quebrada doña maría, el cerro Nutibara; además de la morfometría de la zona de estudio

### 8.2.1. Morfometría

Al generar con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), el mapa de pendientes, la topografía no presenta mayor variación, indicando que las pendientes presentes en la zona de estudio se encuentran predominantemente en los rangos de 0% a 1% (a nivel) y de 1% al 3% (ligeramente planas)” como se muestra en la Figura 8.7

Figura 8.7. Mapa de pendientes para el área de influencia del Interceptor.



Fuente: SEDIC, 2023

### 8.2.2. Morfodinámica

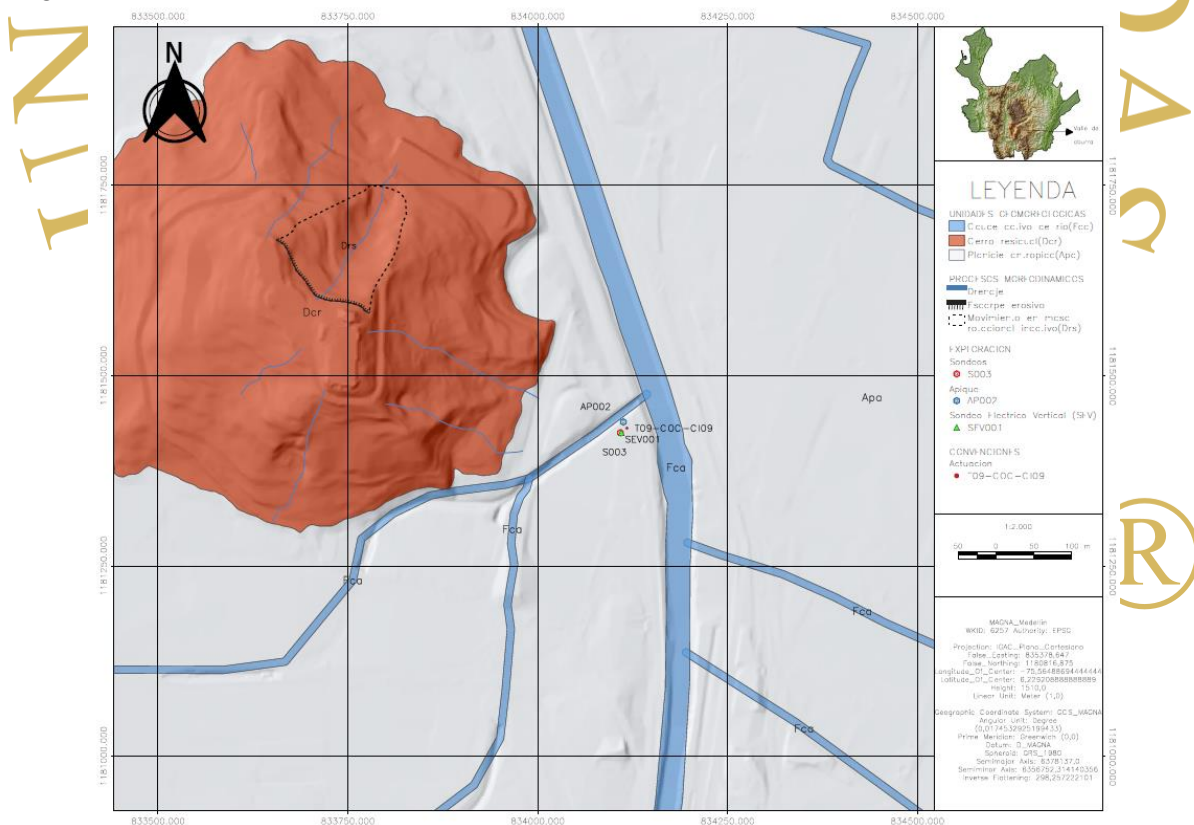
Dentro de la exploración realizada se encontraron inestabilidades dadas por las quebradas Doña María y La Doctora; aunque éstas cuentan con obras de estabilidad, dentro del análisis de antecedentes, ambas quebradas tienden a desbordar sus cauces, causando inundaciones en los sectores cercanos. Otro caso es el cerro Nutibara el cual cuenta con un reporte de un movimiento en masa para su costado Norte-Este y erosiones dadas por drenajes; el resto de las actuaciones del proyecto no cuentan con procesos morfodinámicos que vayan a causar afectación o que se vayan a desencadenar a partir de la intervención a realizar

### 8.2.3. Geología y geomorfología

Como parte de los diseños detallados, previamente explicado en Introducción; se usará la actuación T09-COC-CI09 como ejemplo de realizado para las demás actuaciones

La proyección de obra perteneciente a la actuación T09-COC-CI09 se encuentra al costado de la quebrada AltaVista y el río Medellín, a 50m del cerro Nutibara, en este último elemento se reconoció un movimiento en masa rotacional inactivo, el movimiento se reconoce en las fotografías aéreas de 1989 por lo que este es anterior a la fecha como se muestra Figura 8.8, correspondiente al mapa geomorfológico para la zona de la actuación, donde se encontraron las siguientes unidades:

Figura 8.8 Mapa de unidades geomorfológicas de la actuación T09-COC-CI09



Fuente: SEDIC, 2023

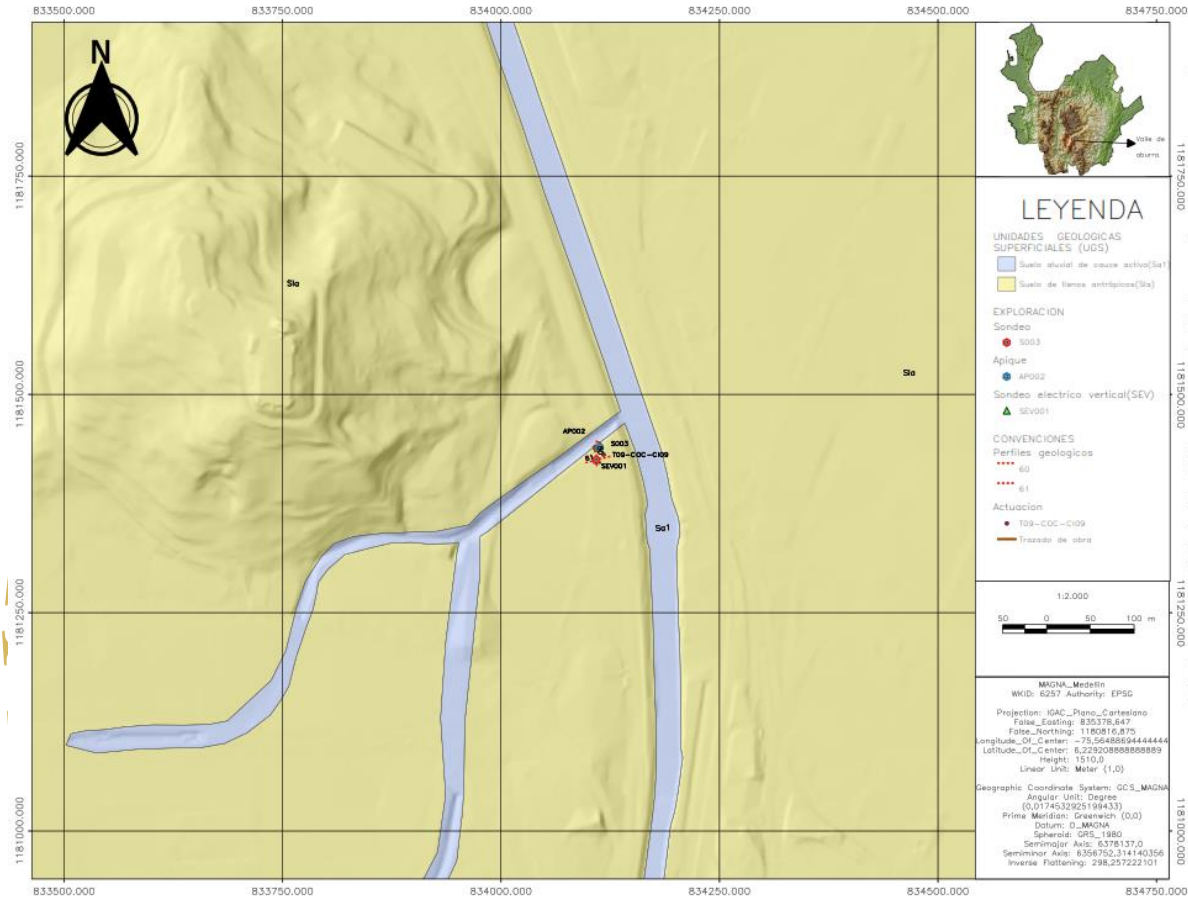


- **Cauce activo de río (Fca):** Representa al Río Medellín y sus afluentes más cercanos, presenta pendientes bajas y topografía plana, contiene materiales producto del transporte y sedimentación que le aportan las pequeñas quebradas y corrientes que llegan a su afluente principal, en el área de influencia de esta actuación es común ver grandes cantos con composición tanto ígnea (rocas porfiríticas) como metamórfica, el tamaño de los clastos puede variar entre 20 y 30 cm así como la relación clastos matriz a medida que profundiza el sondeo según (Sedic, 2023)
- **Planicies Urbanas (Apa):** Son unidades recientes que han sido generadas a modo de llenos antrópicos (excavaciones, llenos sanitarios, explanaciones, laderas terraceadas, etc.), esto con el fin de desarrollar vías de comunicación y obras de infraestructura. (Sedic, 2023)
- **Cerro residual (Dcr):** Geoforma asociada al Cerro Nutibara que se compone de rocas metabásicas y anfibolitas, con una resistencia alta a la meteorización y en consecuencia tanto el Río Medellín como la Quebrada AltaVista en el caso puntual de la zona de estudio han hecho que tome esa forma particular por su mismo proceso erosivo. También ha influido la intervención antrópica y la construcción del Pueblito Paisa icónico en la capital de Antioquia según (Sedic, 2023)

Los perfiles, mapas y otro de entregables fueron realizados con la información de la perforación S003, el apique AP002 y el SEV01, en la Figura 8.9 se muestra el mapa de UGS para la zona de la actuación en escala 1:2000, en la Figura 8.10 se muestran

los dos perfiles correspondientes a los perfiles 60 y 61; por último en la Figura 8.11 se muestra la obra proyectada sobre la geología para la localidad.

Figura 8.9 Mapa de UGS 1:2000 para T09-COC-C109

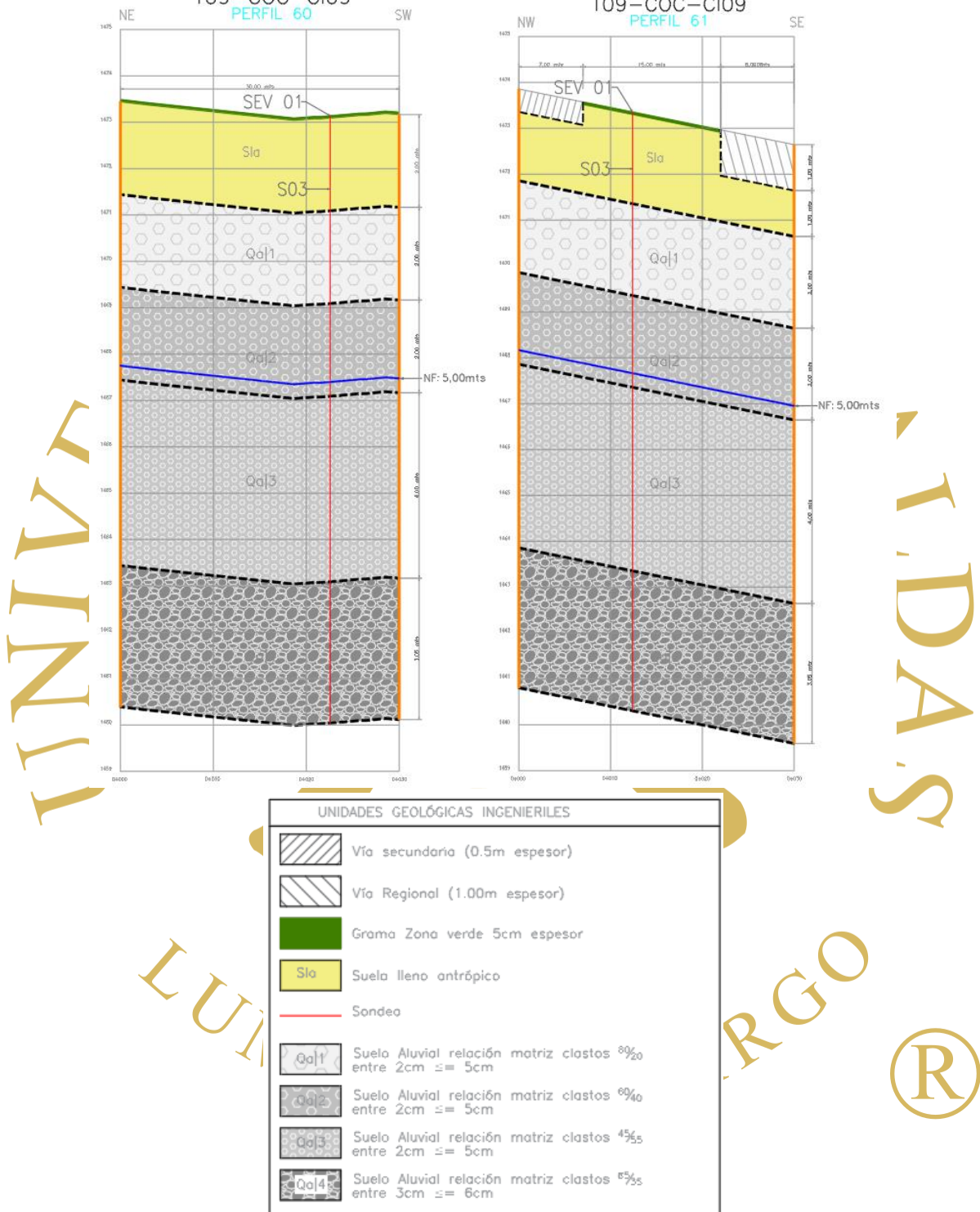


Fuente: SEDIC, 2023

LUMINA SPARGO®

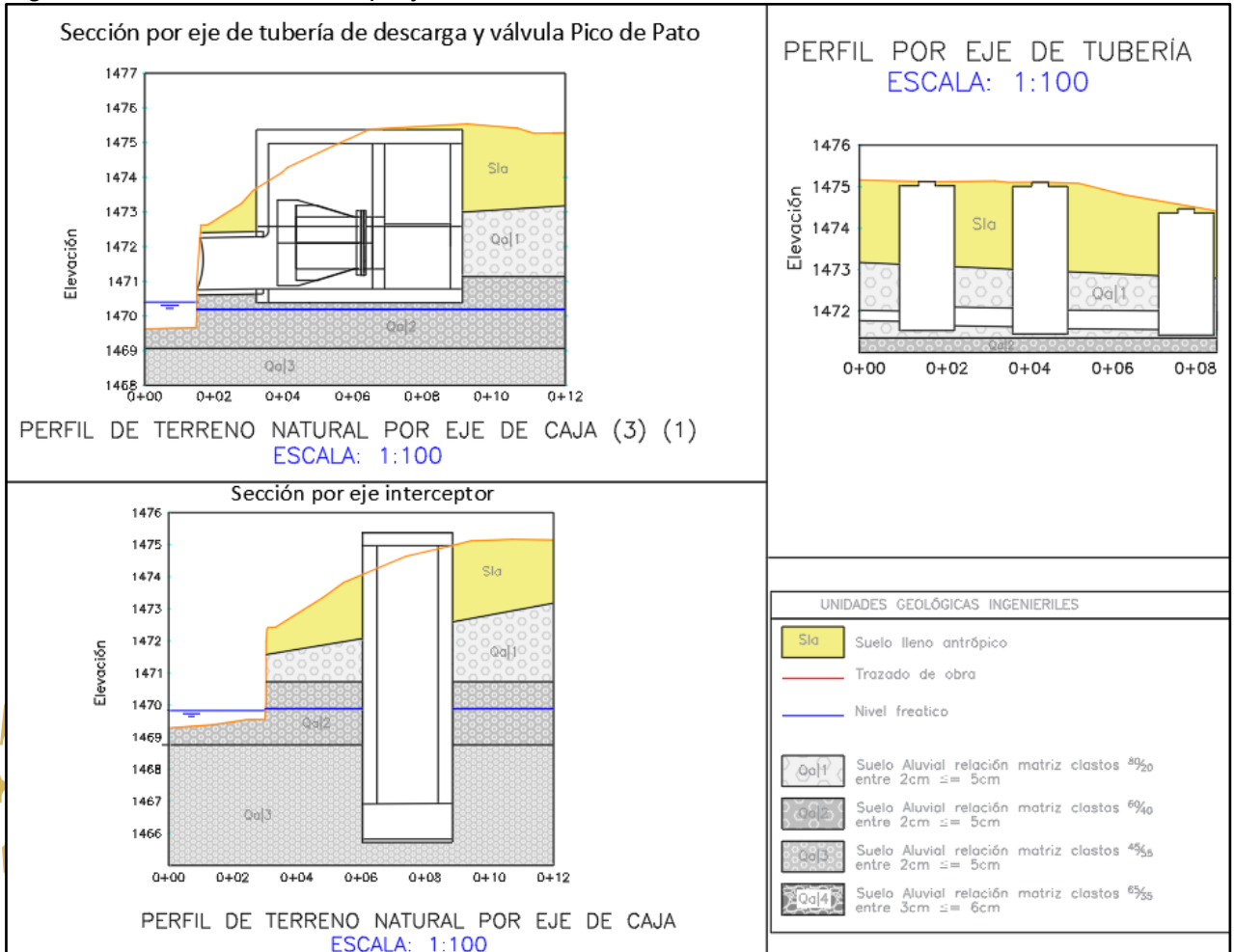


Figura 8.10 Perfiles geológicos 60 Y 61  
T09-COC-C109



Fuente: SEDIC, 2023

Figura 8.11 Perfiles con obra proyectada



Fuente: SEDIC, 2023

Durante la exploración se reconocieron 2 unidades de suelo:

- Suelo aluvial de cauce activo (Sa1):** Son sedimentos recientes que han sido transportados y depositados por el Río Medellín y la Quebrada AltaVista que desemboca en el afluente principal, conformando por cauces activos. Compuesto por clastos que varían su tamaño entre 2 y 5 cm, con forma subredondeada a redondeada, por lo general clasto soportados, con tamaños y granulometría heterogénea, en condición suelta, embebidos en matriz limosa (Sedic, 2023). Se encuentran rocas de variadas litologías (ígneas y

metamórficas) con forma redondeada a subredondeada sugiriendo transporte de los clastos, su matriz es limo-arcillosa con humedad y plasticidad medias, de color café, al momento de realizar la perforación se lava indicando poca consolidación. La relación clasto-matriz varía un poco a medida que se profundiza el sondeo con un porcentaje promedio de 60-40% (Sedic, 2023)

- **Suelo de llenos antrópicos (Sla):** Corresponden a materiales heterogéneos dispuestos por el hombre, generalmente caóticamente y sin ningún tratamiento o adecuación, con el objeto de cumplir los requerimientos de los diseños de obras de ingeniería o con la intención de aprovechar áreas de cauce de drenajes. El material encontrado en el área de estudio contiene como matriz abundante limo-arcillosa de color café parda, con presencia de restos de ladrillo, concreto, vidrios, basura y materia orgánica de color negro, bloques de variada composición litológica, los clastos presentes son de geometría sudredondeada, no permeable, con humedad media, baja dureza y plasticidad media, es común observar restos de sacos y basuras como parte de los componentes del relleno, al ser un suelo reciente he intervenido de manera constante por el hombre para las diferentes obras que se realizan tiene poca compactación.

El perfil de la Figura 8.12 resume la información obtenida proveniente del registro de perforación y los resultados de las muestras que fueron enviadas a laboratorio para su respectivo análisis

Figura 8.12 Perfil geológico geotécnico

PERFORACIÓN		NÚMERO DE GOLPES										RQD (%)				DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO						
PROFUNDIDAD (m)	Nº DE MUESTRA	TIPO	LITOLÓGIA	S.U.C.S	RECUPERACIÓN (%)	15	30	45	NSPT	% FINOS	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	HUMEDAD NATURAL %	NIVEL FREÁTICO			20	40	60	80	100	
0.50	M1	SPT			42																	Muestra de suelo orgánico limo-arcilloso de tonalidad café oscuro con moteado color negro, con presencia de raíces, se observan algunos clastos tamaño arena media a gruesa muy alargada, dispuestos aleatoriamente, se observan restos de basura en la muestra. Muestra con humedad media, consistencia medio firme, plasticidad baja. Se relacionan con llenos antrópicos de residuos de basura arrojados.	
1.00	M2	SPT		SM	40	2	3	4	9	23,60	43	30	13	43,4								Muestra de suelo de tonalidad café pardo oscuro con moteado color negro, presencia de raíces. Se observan algunos clastos de aproximadamente 3 cm subangulares a subredondeados, embudidos en una matriz limo-arcillosa con algunos clastos tamaño arena fina a media, estos clastos se disponen aleatoriamente subredondeados, relación matriz/clastos (75/25). Se observan residuos de concretos y basura. Muestra con humedad media, consistencia medio firme a blanda, plasticidad baja. Se relacionan a llenos antrópicos de estériles de construcción.	
1.50	M3	SPT			95	3	3	3	9													Muestras de suelo de tonalidad café pardo oscuro con moteado color negro, presencia de raíces. Se observan algunos clastos de aproximadamente 3 cm subangulares a subredondeados, embudidos en una matriz limo-arcillosa con algunos clastos tamaño arena fina a media, estos clastos se disponen aleatoriamente subredondeados, relación matriz/clastos (70/30). Se observan residuos de concretos y basura. Muestra con humedad media, consistencia medio firme a blanda, plasticidad baja. Se relacionan a llenos antrópicos de basura - material estéril de construcción.	
2.00	M4	SH		SC	96	3	3	4	10	30,10	30	18	12	30								Muestra con matriz limo-arcillosa de tonalidad café pardo con moteado negro, con contenido de materia orgánica, se observan clastos de roca volcánica y cuarzo de 1 cm, de forma angular a subangular, estos clastos se disponen aleatoriamente, también se identifican restos de plásticos y vidrio; relación clastos/matriz (30/70). Muestra con humedad baja, consistencia firme a muy firme, plasticidad baja en cuanto a la matriz se refiere. Se relacionan a llenos antrópicos de basura - material estéril de construcción.	
2.50	M5	SPT			98	7	9	11	27													Muestra con matriz limo-arcillosa de tonalidad café pardo con moteado negro, con contenido de materia orgánica, se observan clastos de roca volcánica y cuarzo de 1 cm, de forma angular a subangular, estos clastos se disponen aleatoriamente, también se identifican restos de plásticos y vidrio; relación clastos/matriz (30/70). Muestra con humedad baja, consistencia firme a muy firme, plasticidad baja en cuanto a la matriz se refiere. Se relacionan a llenos antrópicos de basura - material estéril de construcción.	
3.00	M6	SPT			60	7	5	7	19													Suelo arcillo- limoso de tonalidad gris verdosa con presencia de óxido de hierro en matriz, se observan clastos de cuarzo tamaño arena fina con diámetros que varían entre 0.4 cm hasta 2 cm distribuidos aleatoriamente, contiene materia orgánica y restos de plástico. Relación clasto matriz (30/70). Humedad media, consistencia blanda a medio firme, plasticidad media a alta. Se relacionan con lleno antrópico de basura - material estéril de construcción.	

LUMINA SPARGO®

PERFORACIÓN										NÚMERO DE GOLPES				ÍNDICE DE PLASTICIDAD	HUMEDAD NATURAL %	NIVEL FREÁTICO	RQD (%)					DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTOGRAFICO
PROFUNDIDAD (m)	No. DE MUESTRA	TIPO	LITOLOGÍA	S.U.C.S	RECUPERACIÓN (%)	15	30	45	NSPT	% FINOS	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	20				40	60	80	100			
3.50	M7	SPT			68	3	3	4	10										Suelo con matriz limo-arcillosa de tonalidad café oscura, se observan fragmentos de roca de aproximadamente 0.05cm a 1cm, dispuestos aleatoriamente, angulares, con materia orgánica, se identifican plástico y vidrio en la muestra. Relación clasto/matriz (89/20). Humedad media, consistencia firme a medio firme, plasticidad media. Se relaciona a un leno antrópico de material estéril de construcción - basura.				
3.65	M8	SPT			50	5													Suelo con matriz arcillo-limosa de tonalidad café oscura a gris oscura, se observan clastos finos de roca tamaño arena fina a media 0.03 cm a 0.5 cm, la matriz se observa con parches de oxidación. Se identifican restos de plástico y vidrio. Relación clasto/matriz (80/20). Humedad media, consistencia firme a muy firme, plasticidad media a alta. Se relaciona a un leno antrópico de material estéril de construcción - basura.				
4.00	M9	NQ			46	BARRENA													Zona de transición por contacto deposicional. A 3.65 m se encuentra el contacto deposicional del antrópico sobre un depósito aluvial de alta energía caracterizado por presentar un material compacto de matriz limo-arenosa de tonalidad café oscura, se observan clastos tamaño arena fina (0.02 cm) subangulares con disposición aleatoria. Fragmentos de roca basáltica con textura porfírica de grano fino con bordes subredondeados. Grado II de meteorización de los clastos según Dearman. Relación clastos/matriz (54/46). Compacidad densa, plasticidad baja. Se relaciona a zona aluvial con incremento de energía del río.				
5.00	M10	NQ			46	BARRENA													Depósito aluvial con recuperación de fragmentos de roca, no se aprecia matriz por tratarse de un aluvial con pobre cementación de la matriz que embebe los clastos. El material es reciente y no presenta buena consolidación a niveles superficiales, lo que hace que el agua usada para perforar lave la matriz, se encuentran clastos de 5 cm a 15 cm mostrando una dinámica cambiante de energía de deposición del río. Se encuentran clastos de roca volcánica porfírica a afanítica.				
6.00	M11	NQ			58	BARRENA													con bordes subredondeados que indican que hubo transporte por parte del río. Se presentan pátinas de oxidación en las caras de las fracturas por lo que se intuye que no han sufrido fracturamiento mecánico. Meteorización grado I y II en los clastos según Dearman. La relación matriz/clastos (42/58), el origen de los materiales se da por deposición en intervalos de tiempo de alta y media energía por actividad del cauce del río.				
7.00	M12	NQ			40	BARRENA													Depósito aluvial con recuperación de fragmentos de roca no se aprecia matriz por tratarse de un aluvial con pobre cementación de la matriz que embebe los clastos. Se encuentran clastos entre 4 cm y 22 cm, mostrando una dinámica cambiante de energía de deposición del río, clastos de roca volcánica porfírica a afanítica, con bordes subredondeados que indican que hubo transporte por parte del río. Se presentan pátinas de oxidación. Grado de meteorización I y II según Dearman, relación matriz/clastos (80/40).				
8.00	M13	NQ			37	BARRENA													Depósito aluvial con recuperación de fragmentos de roca, no se aprecia matriz por tratarse de un aluvial con pobre cementación de la matriz que embebe los clastos. El material es reciente y no presenta buena consolidación a niveles superficiales, lo que hace que el agua usada para perforar lave la matriz, se encuentran clastos desde 4 cm hasta 22 cm, mostrando una dinámica cambiante de energía de deposición del río. Se presentan pátinas de oxidación en las caras de las fracturas por lo que se intuye que no han sufrido fracturamiento mecánico. Meteorización grado I y II según Dearman. La relación matriz/clastos (66/34). El origen de los materiales se da por deposición en intervalos de tiempo de media a alta energía, por actividad del cauce del río.				
9.00	M14	NQ			31	BARRENA																	
9.65	M14	NQ			33	BARRENA																	



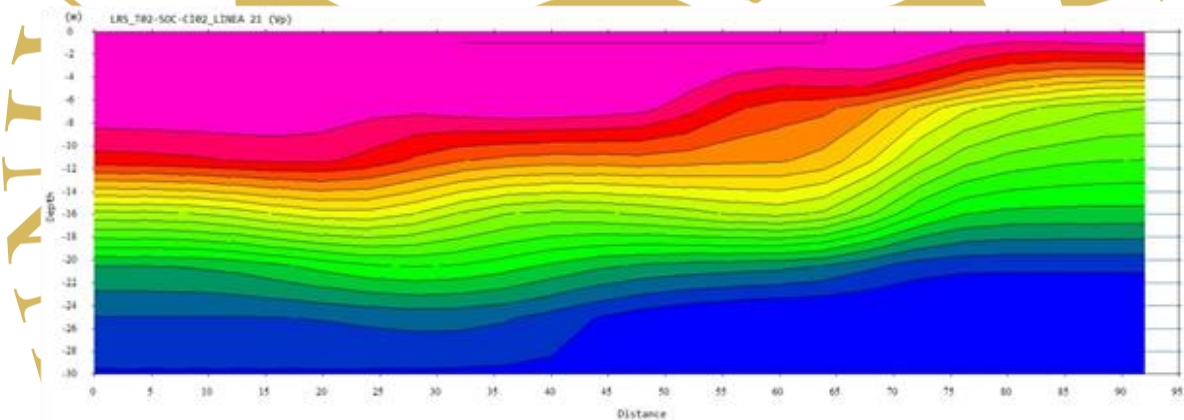
### 8.3. Interpretación de la exploración indirecta

Las interpretaciones expuestas en los siguientes numerales son tomados de los ensayos LRS021 y SEV03 del proyecto, cabe aclarar que estos pertenecen a las actuaciones T02-SOC-CI02 y T02-SOC-AC02 ambos en el municipio de Itagüí, al costado del río Medellín, a 500m de distancia entre ellos

#### 8.3.1. Línea de refracción sísmica (LRS)

En la Figura 8.13 se encuentra el perfil de la tomografía sísmica realizada para la línea LRS021, en la Tabla 8.5 se presenta un resumen de la información

Figura 8.13 Tomografía sísmica (velocidad de onda primaria,  $V_p$ ) para la LRS021.



Fuente: SEDIC, 2023.

Tabla 8.5 Resumen velocidad de onda primaria promedio con respecto a la profundidad para la LRS021.

Profundidad (m)	Espesor (m)	Velocidad promedio (m/s)
0	0	329,66
-0,96	0,96	341,86
-2,88	1,92	379,55
-4,79	1,91	412
-6,71	1,92	469,83
-11,31	4,6	597,39
-15,91	4,6	779,22

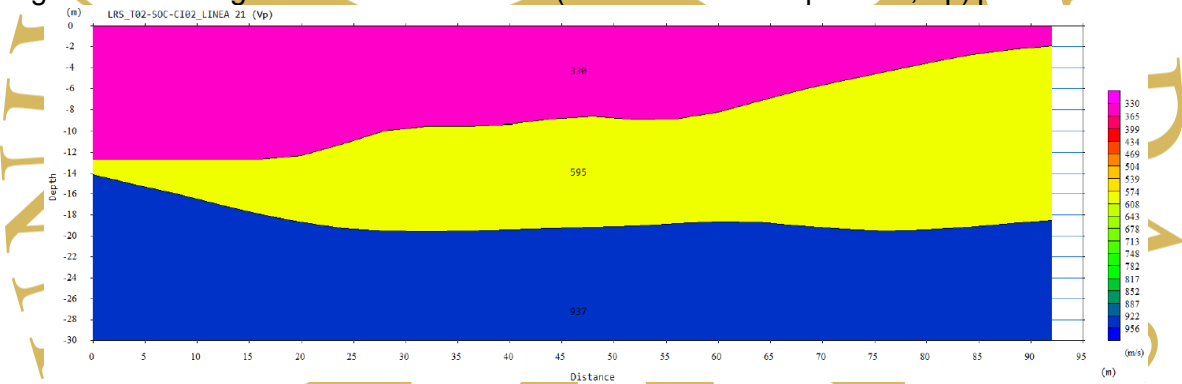


-20,51	4,6	928,26
-25,11	4,6	961,05
-29,71	4,6	961,31

Fuente: SEDIC, 2023.

Una vez procesados los registros de refracción obtenidos para el ensayo denominado LRS021, se obtiene como resultado un modelo constituido por tres capas como se muestra en la Figura 8.14; las cuales se encuentran directamente asociadas a transiciones incrementales en la velocidad de onda compresional con respecto a la profundidad.

Figura 8.14 Tomografía sísmica suavizada (velocidad de onda primaria, Vp) para la LRS021.



Fuente: SEDIC, 2023.

El incremento en la velocidad de onda compresional se encuentra relacionada a incrementos en la rigidez y densidad de los estratos que conforman el subsuelo:

- **Capa 1:** Este horizonte se puede observar a una profundidad variable; en promedio 9.0 m, en la cual se registran velocidades medias de onda compresional del orden de 330 m/s.

- **Capa 2:** Subyaciendo la capa anteriormente mencionada se puede observar a una profundidad variable de hasta máximo 19.0 m, en la cual se registran velocidades medias de onda compresional del orden de 595 m/s.
- **Capa 3:** A partir de los 19.0 m hasta la profundidad explorada correspondiente a aproximadamente 30.0 m, se observa un incremento de la velocidad de onda compresional, con magnitud del orden de 937 m/s.

### 8.3.2. Método de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)

se procede a obtener los perfiles unidimensionales que relacionan la velocidad de onda de corte con la profundidad, los resultados se muestran en la Tabla 8.6, Tabla 8.7 y la Figura 8.15.

Tabla 8.6 Velocidades del perfil de suelo MASW para la LRS021

Clasificación del perfil de suelo			
Estrato No.	Espesor Si (m)	Profundidad Si (m)	Velocidad S Vi (m/s)
1	0,8	0,8	222
2	1	1,9	218,3
3	1,2	3,1	193,2
4	1,5	4,6	188,3
5	1,7	6,3	243,5
6	1,9	8,1	320,8
7	2,1	10,2	411,7
8	2,3	12,5	404,1
9	7,5	20	497,4
10	20	40	581

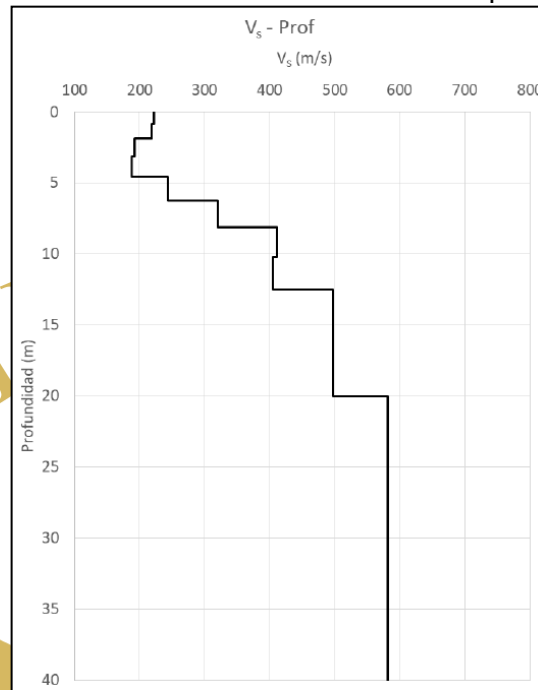
Fuente: SEDIC, 2023.

Tabla 8.7 Resultado de velocidades del perfil de suelo MASW para la LRS021

$V_{S30} =$	<b>382 m/s</b>
TIPO DE SUELO =	<b>C</b>

Fuente: SEDIC, 2023.

Figura 8.15 Distribución velocidades de onda de corte MASW para la LRS021



Fuente: SEDIC, 2023.

Una vez procesados los registros, se obtiene como resultado un modelo constituido por tres capas referentes a variaciones en la velocidad de onda cortante en profundidad, asociadas a diferencias de rigidez y densidad de los estratos que conforman el subsuelo:

- **Capa 1:** Dicho horizonte se encuentra a una profundidad aproximada entre 0.0 m y 6.3 m, en el cual se registra una velocidad media de onda cortante que varía en magnitud desde 188 m/s a 244 m/s.
- **Capa 2:** Subyaciendo el horizonte anteriormente mencionado, a una profundidad aproximada entre 6.3 m y 20.0 m, se encuentra un horizonte en el cual se registra una velocidad media de onda cortante que varía en magnitud desde 321 m/s a 497 m/s.

- **Capa 3:** Finalmente entre 20.0 m hasta la profundidad explorada, se observa un leve aumento en la velocidad media de onda cortante de magnitud 581 m/s.

Según la clasificación de la NSR-10, estipulado en la tabla A.2.4-1 ( ver Figura 6.3) el perfil de suelo es clasificado como Tipo C, correspondiente a una Velocidad de onda de corte en los 30m superiores del perfil estratigráfico  $V_{s30} = 382$  m/s, determinada mediante el ensayo MASW.

### 8.3.3. Sondeo eléctrico vertical (SEV)

Para la interpretación de la resistividad se usó la información de la Figura 8.16 la cual, muestra la correlación litológica con los valores de resistividad encontrados

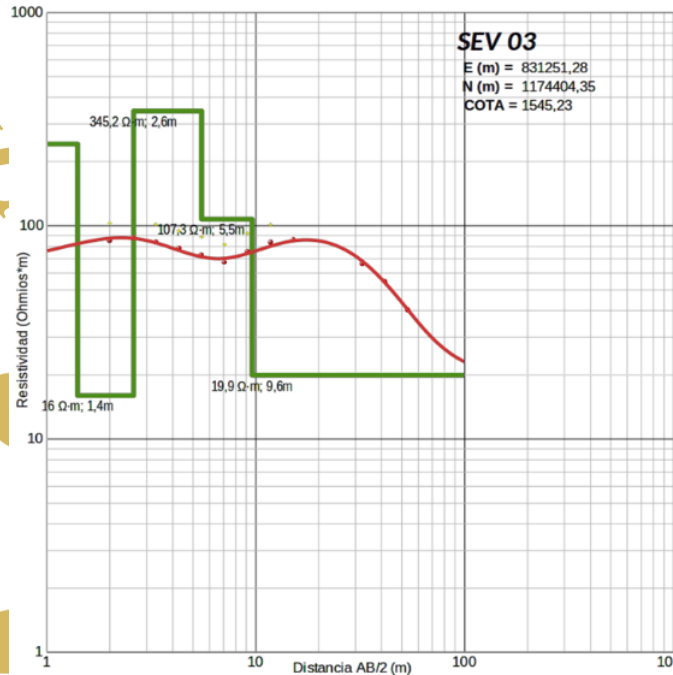
Figura 8.16 Correlación litológica y valores de resistividad.

ID	RESISTIVIDAD ( $\Omega \cdot m$ )	CORRELACIÓN LITOLÓGICA
1	< - 10,0	Materiales arcillosos / Suelos con materia orgánica / Partes metálicas / Aguas residuales
2	10,0 – 12,8	Materiales finos (arcillo-limosos)
3	12,8 – 16,4	Limos arcillosos húmedos
4	16,4 – 21,0	Limos, materiales húmedos
5	21,0 – 26,8	Limos arenosos húmedos
6	26,8 – 34,4	Arenas finas saturadas
7	34,4 – 44,0	Materiales finos superficiales secos / Arenas medias saturadas
8	44,0 – 56,3	Materiales superficiales / Limos arcillosos secos / Arenas medias saturadas
9	56,3 – 72,1	Materiales superficiales secos / Arenas gruesa saturadas?
10	72,1 – 92,2	Materiales superficiales secos / Arenas y gravas potencialmente saturadas?
11	92,2 – 118,1	Materiales superficiales secos / Arenas y gravas finas potencialmente saturadas?
12	118,1 – 151,1	Materiales superficiales secos / Arenas y gravas potencialmente saturadas?
13	151,1 – 193,4	Materiales superficiales secos / Arenas y gravas secas
14	193,4 – 247,6	Materiales superficiales secos / Gravas y arenas secas
15	247,6 – 316,9	Materiales superficiales secos / Gravas secas
16	316,9 – 405,6	Materiales antrópicos secos (concreto?) / Materiales granulares gruesos secos (arenas y gravas)
17	405,6 - <	Materiales antrópicos secos (concreto?) / Arenas y gravas secas / Roca?

Fuente: SEDIC, 2023.

El sondeo SEV-03 tiene una profundidad de 53.7m; Figura 8.17 y representa la curva correspondiente a la resistividad encontrada a profundidad, mientras que Figura 8.18 nos especifica la correlación litológica correspondiente.

Figura 8.17 Curva resultante del Sondeo-03.



Fuente: SEDIC, 2023.

Figura 8.18 Correlación litológica del Sondeo-03

SEV	Este (m)	Norte (m)	COTA (msnm)	MUNICIPIO	
SEV 03	831251,28	1174404,35	1545,23	Itagüí - Antioquia	
Capa	Resistividad (Ω·m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Correlación Litológica	
9	1	68,0	0,8	0,0	Materiales superficiales secos
14	2	241,7	0,6	0,8	Gravas y arenas secas
3	3	16,0	1,2	1,4	Limos arcillosos húmedos
16	4	345,2	2,9	2,6	Materiales antrópicos / Materiales granulares gruesos secos
11	5	107,3	4,1	5,5	Arenas y gravas finas potencialmente saturadas?
4	6	19,9	4,1	9,6	Limos, materiales húmedos

Fuente: SEDIC, 2023

Se interpretaron 6 capas que se alternan entre medias y altas resistividades. Hasta los 2,6 m de profundidad, las resistividades corresponden con los materiales

asociados a las obras adyacentes y en ese sentido corresponden con rellenos antrópicos tipo gravas y arenas y una base limo-arcillosa.

A partir de los 2,6 se presentan altas resistividades que bien podrían asociarse con los coluviones o depósitos de derrubio que podrían estar debajo de los materiales aluviales hasta los 5,5 m de profundidad, y a partir de allí hasta los 9,6 m con materiales más finos, que finalmente terminan en una resistividad de 19,9  $\Omega \cdot m$  en materiales limosos, potencialmente saturados.

#### 8.4. Propiedades mecánicas del suelo

Estas propiedades pertenecen a la caracterización de la actuación T09-COC-CI09 usando la información del sondeo SO03 el apique AP01 y la información recopilada en la perforación P8 de INTEINZA

##### 8.4.1. Cohesión y ángulo de fricción

La Tabla 8.8 presenta los resultados del análisis de los datos para el ángulo de fricción en grados y la cohesión en KPa para los dos tipos de suelos encontrados

Tabla 8.8 Resultados del análisis para los datos de ángulo de fricción y cohesión (kPa) para la actuación T09-COC-CI09

RESUMEN	$\Phi'$ (°)	C' (KPA)
Relleno	28,73	7,75
Aluvial	48,76	0,00

Fuente: SEDIC, 2023.

##### 8.4.2. Consistencia del suelo

A partir de las unidades geológicas encontradas se definieron las siguientes zonas geotécnicas con características similares presentadas en la Tabla 8.9



Tabla 8.9 Caracterización geotécnica T09-COC-CI09

Caracterización geotécnica	Profundidad (m)	Peso unitario (kn/m <sup>3</sup> )	Cohesión (kpa)	Angulo de fricción (°)	Módulo de elasticidad (kpa)	Relación de poisson ( $\mu$ )
Rellenos existentes	1,5	18,5	7,75	28,73	4367,75	0.30
Suelos aluviales	Variable hasta una profundidad no determinada mayor a 10,0	20	0	48,76	24500	0.28

Fuente: SEDIC, 2023.

Teniendo en cuenta la exploración de campo realizada para la actuación, se encontró el siguiente perfil estratigráfico (ver Tabla 8.10) tipo para el área en estudio.

Tabla 8.10 Perfil estratigráfico típico

Unidad geológica	Profundidad (m)	Descripción
Suelo de llenos antrópicos (qll)	Variable desde 0,0 hasta 3,00 metros	Material heterogéneo compuesto principalmente de una matriz limosa de tonalidad café parda rojiza, con presencia de fragmentos de cuarzo, ladrillos y rocas máficas. La relación matriz/clastos (70/30). El origen de los materiales del antrópico se relaciona con lleno para conformación de obra urbanística. (I <sub>l</sub> entre 23 y 50; I <sub>p</sub> entre 44 y 69, I <sub>p</sub> entre 24 y 45, y %finos entre 65.40 y 76.50)
Suelos aluviales (qal)	Variable desde 1,50 hasta una profundidad no determinada mayor a 13,00 metros	Depósito aluvial con recuperación de bolos de roca. El origen de los materiales se da por depositación de energía baja a media asociada a la actividad del cauce del río.

Fuente: SEDIC, 2023.

### 8.4.3. Suelos especiales

Habiendo caracterizado los suelos, llama la atención las características de suelo proveniente del lleno antrópico, por lo que se opta por dividir el suelo del lleno en dos, cada uno de 1,50 m de espesor, terminando con el suelo aluvial

#### 8.4.3.1. Suelos expansivos

La Tabla 8.11 muestra la profundidad y las características del suelo para discriminar su potencial de expansión

Tabla 8.11. Evaluación suelos expansivos.

Sondeo	Profundidad	% finos	LL	IP	Potencial de expansión
S003	0,00 - 1,50	76,5	53	30	Marginal
	1,50 - 3,00	65,4	44	20	Bajo
	9,00 - 10,00	82,9	69	24	Alto

Fuente: SEDIC, 2023.

Se concluye que el potencial de expansión tiende a estar en el rango de medio a bajo y teniendo en cuenta las características del material a mayor profundidad se considera que el cambio volumétrico generado por expansión tiene una probabilidad de ocurrencia baja

#### 8.4.3.2. Suelos colapsables

La Tabla 8.12 muestra la profundidad y las características del suelo para discriminar su potencial de colapso, en esta se puede apreciar que los suelos encontrados son colapsables

Tabla 8.12 Verificación de suelos colapsables.

Sondeo	Z (m)	LL	IP	γ	γ <sub>d</sub>	γ <sub>critico</sub>	Tipo de suelo ante colapso
				(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	
S003	0,00 – 1,50	53	30	18.50	14.27	10.65	Estable
	1,50 - 3,00	44	20	18.50	15.80	11.80	Estable
	3,00 – 10,00	69	24	20.00	12.14	9.07	Estable

Fuente: SEDIC, 2023.

#### 8.4.3.3. Suelos licuables

La Tabla 8.13 muestra la profundidad y las características del suelo, al final de la tabla se encuentra el valor del factor de seguridad para los suelos, donde se aprecia que el FS es mayor al mínimo requerido (FS>1)

Tabla 8.13 Verificación potencial de licuación

Profundidad (m)	N160	%Finos	N160cs			N160cs	CRR 7.5	CRR 5.5	CSR	FS
			< 5%	5%< CF<35%	>35%					
1,5	13	76,5	0	0	20,6	21	0,23	0,33	0,15	2,19
3,0	11	65,4	0	0	18,2	18	0,19	0,27	0,15	1,86
10	69	82,9	0	0	87,8	33	1,24	1,77	0,18	9,69

Fuente: SEDIC, 2023.

### 8.5. Modelaciones

Una vez determinada la configuración de los elementos de contención temporal para el sistema de entibado se procede a verificar la estabilidad de los taludes de corte y las deformaciones generadas en superficie

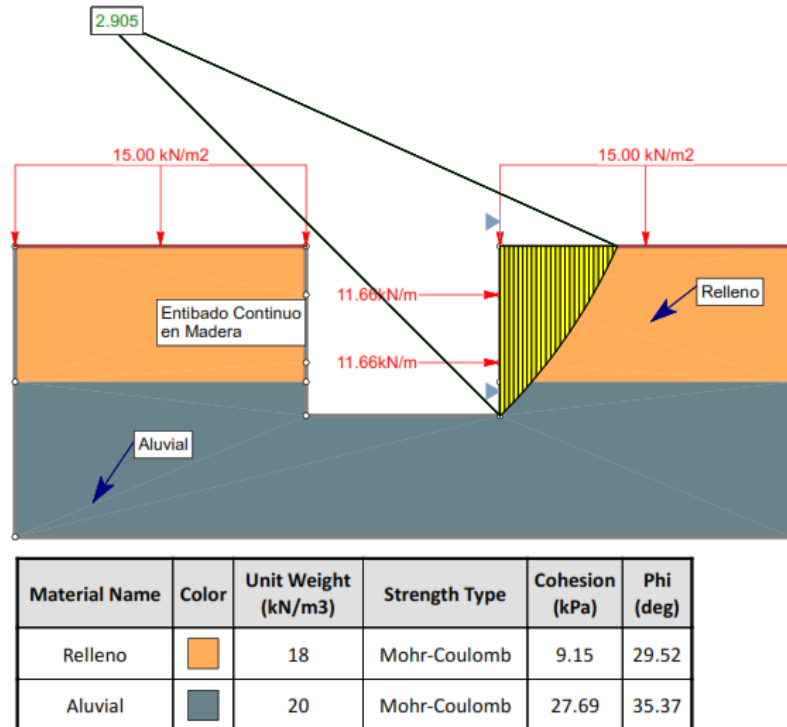
Finalmente, se verifica la condición de sismo en la excavación, para efectos de diseño, la NSR-10 permite reducir la aceleración pseudoestática ( $S_a$ ) a la mitad para una construcción temporal, es decir, que el coeficiente que se emplea en la modelación corresponde a 0,072.

### 8.5.1. Estabilidad de excavaciones

#### 8.5.1.1. Excavación H=1.75m, con entibado

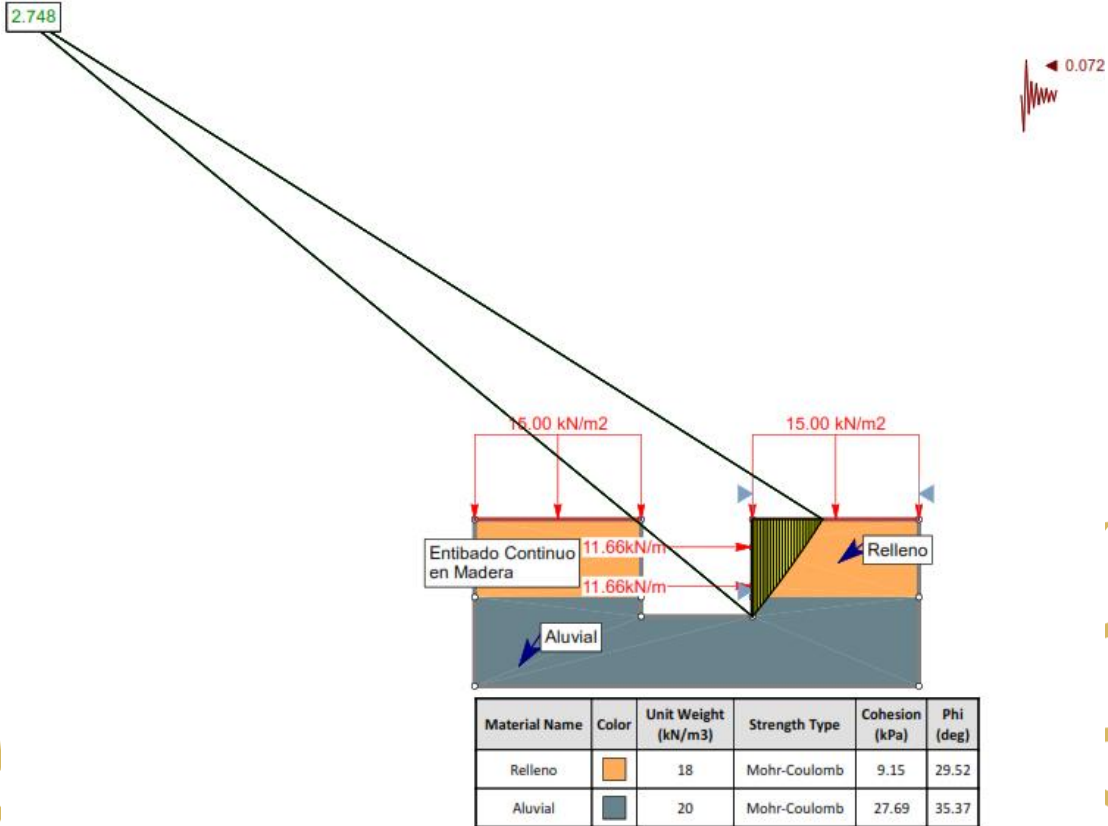
En la Figura 8.19 se presenta el modelo de estabilidad estático para la etapa 1 de excavación de 1.75m con entibado y la Figura 8.20 presenta la misma etapa, pero siendo este último el modelo dinámico

Figura 8.19 Resultados modelo estabilidad estático para excavación a 1.75m con entibado.



Fuente: SEDIC, 2023. Tomado de Slide 6.0.

Figura 8.20 Resultados modelo estabilidad dinámica para excavación a 1.75m con entibado.



Fuente: SEDIC, 2023. Tomado de Slide 6.0.

Los modelos estáticos y dinámicos de la etapa 1, muestran factores de seguridad de 2.9 y 2.7 correspondientes, ambos valores son mayores que el mínimo requerido (1.00) para construcciones temporales

LUMINA

SPARGO

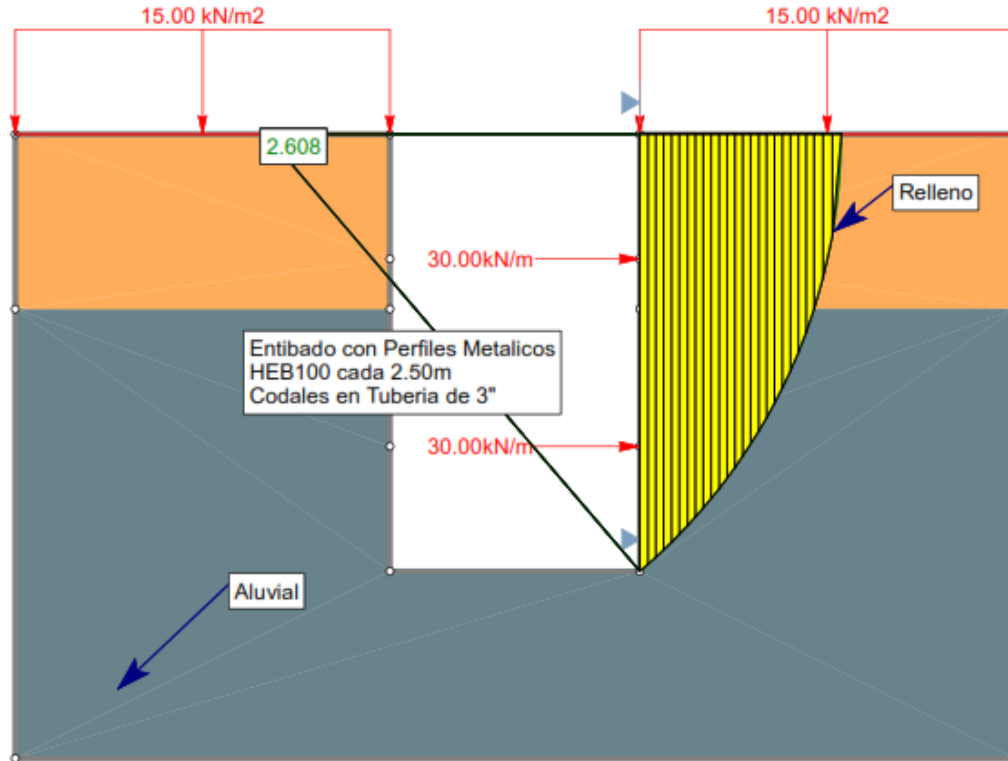




### 8.5.1.2. Excavación H=3.50 m, con entibado

En la Figura 8.21 se presenta el modelo de estabilidad estático para la etapa 2 de excavación de 3.50m con entibado y la Figura 8.22 presenta la misma etapa, pero siendo este último el modelo dinámico

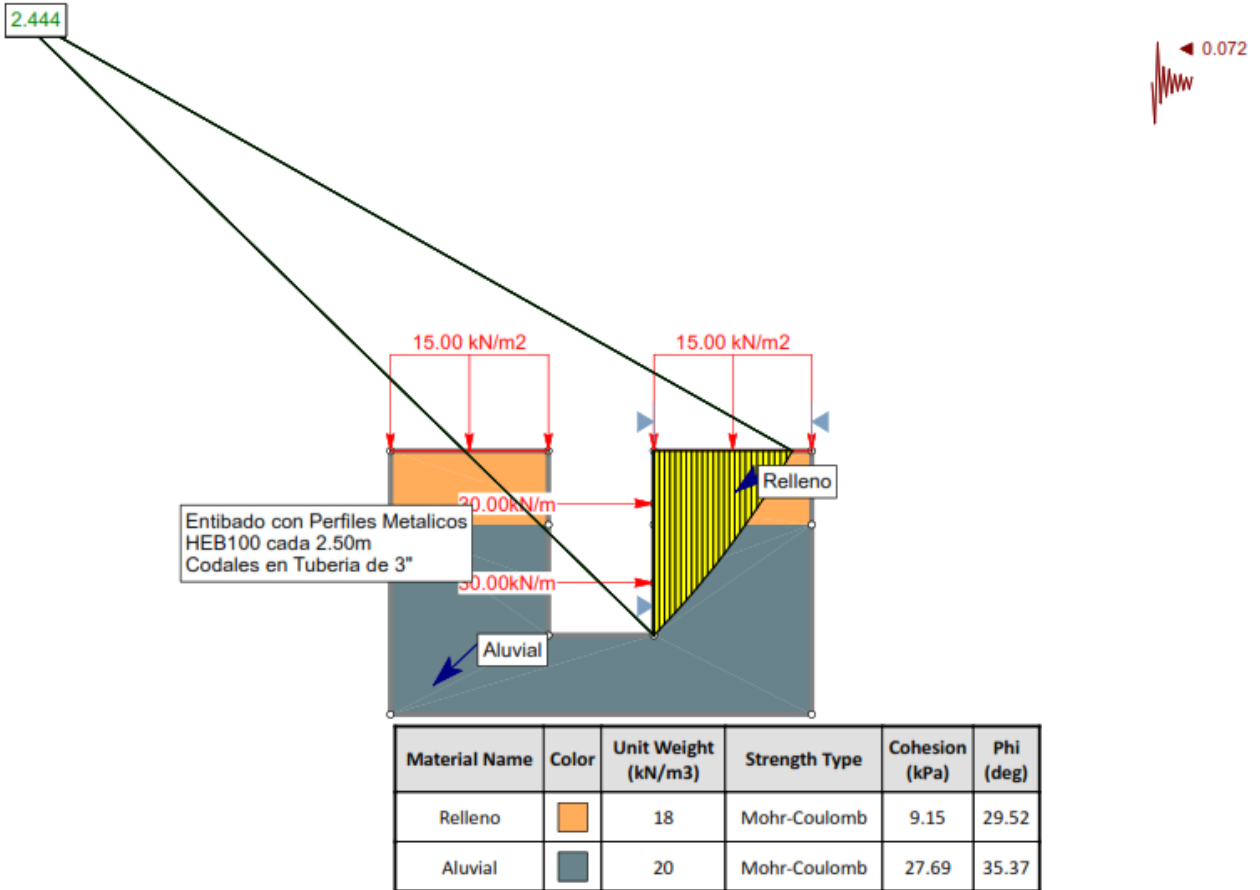
Figura 8.21 Resultados modelo estabilidad estático para excavación a 3.50 m con entibado.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Relleno		18	Mohr-Coulomb	9.15	29.52
Aluvial		20	Mohr-Coulomb	27.69	35.37

Fuente: SEDIC, 2023. Tomado de Slide 6.0.

Figura 8.22 Resultados modelo estabilidad dinámica para excavación a 3.50 m con entibado.



Fuente: SEDIC, 2023. Tomado de Slide 6.0.

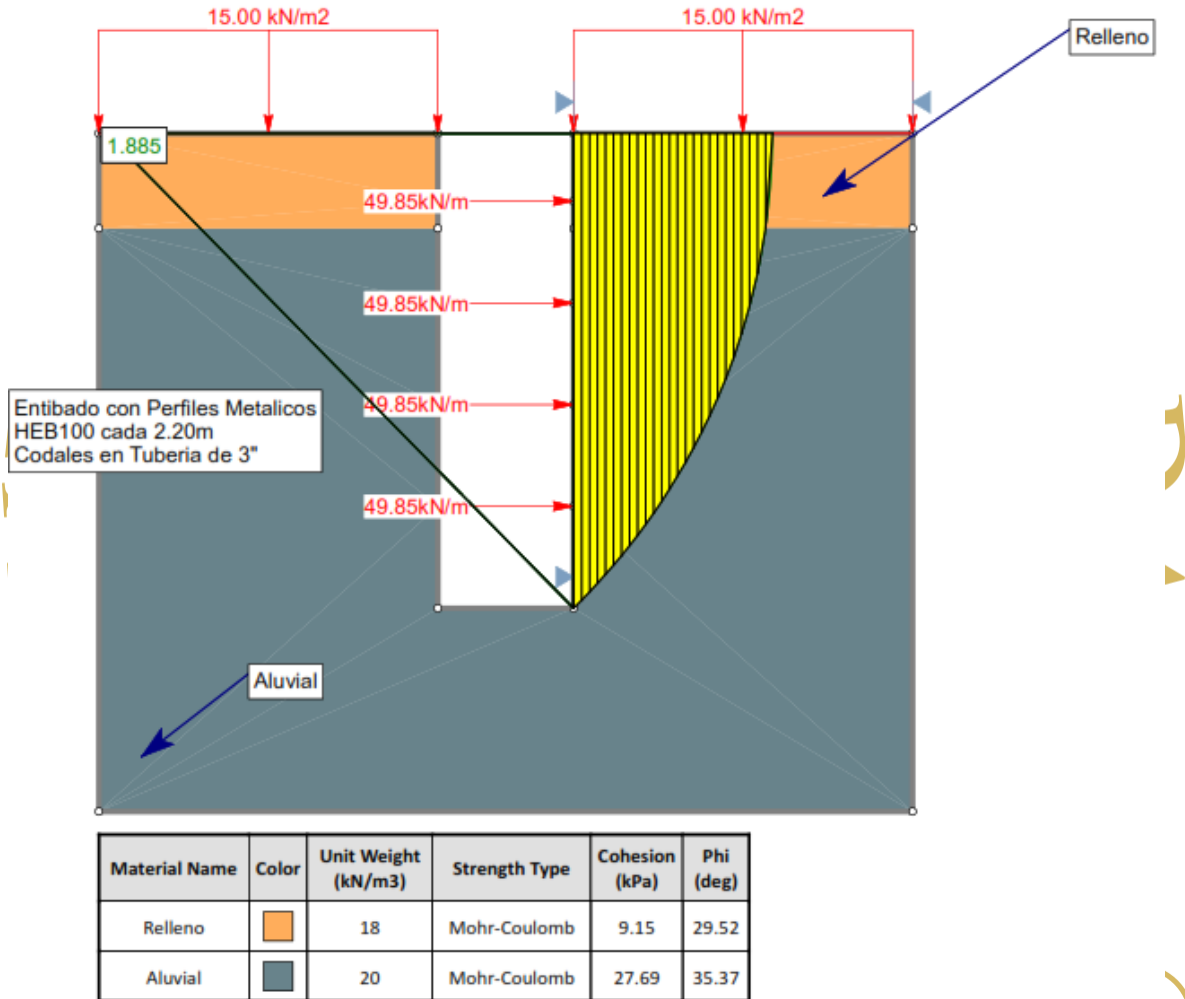
Los modelos estáticos y dinámicos de la etapa 2, muestran factores de seguridad de 2.6 y 2.4 correspondientes, ambos valores son mayores que el mínimo requerido (1.00) para construcciones temporales

LUMINA SPARGO®

### 8.5.1.3. Excavación H=7.0 m, con entibado

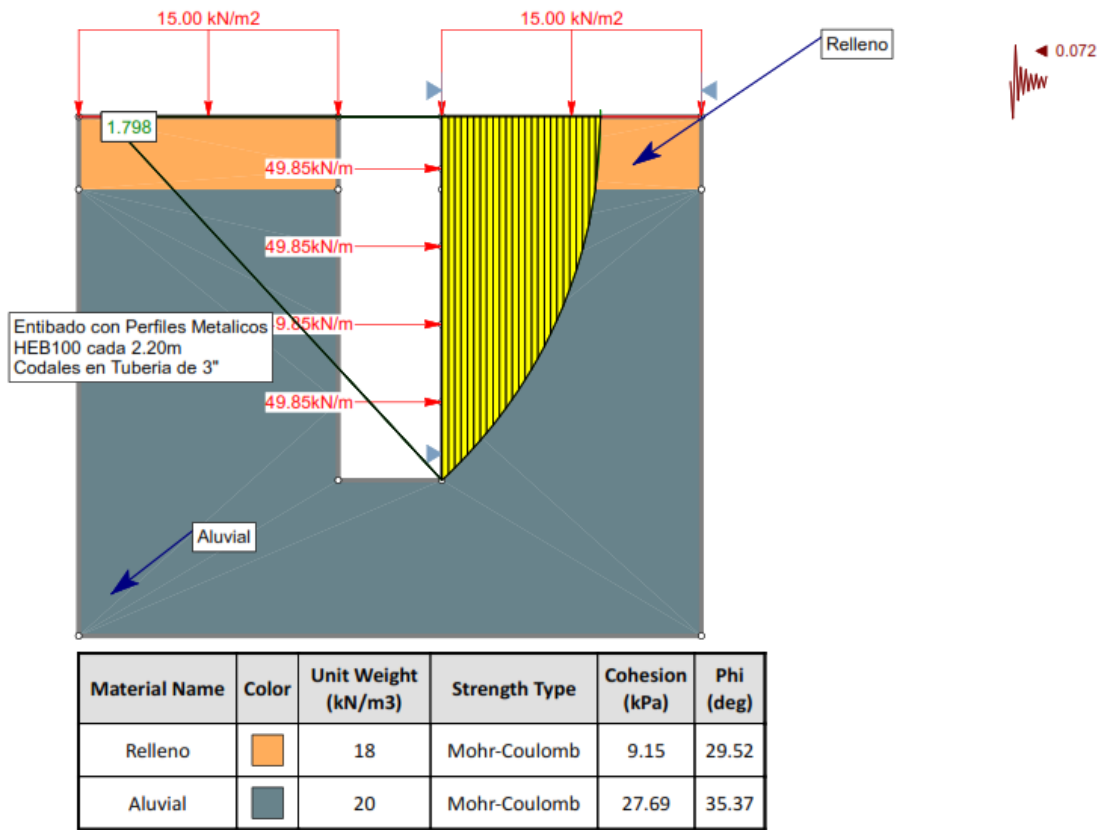
En la Figura 8.23 se presenta el modelo de estabilidad estático para la etapa 3 de excavación de 7.00m con entibado y la Figura 8.24 presenta la misma etapa, pero siendo este último el modelo dinámico

Figura 8.23 Resultados modelo estabilidad estático para excavación a 7.00 m con entibado.



Fuente: SEDIC, 2023. Tomado de Slide 6.0

Figura 8.24 Resultados modelo estabilidad dinámica para excavación a 7.00 m con entibado.



Fuente: SEDIC, 2023. Tomado de Slide 6.0.

Los modelos estáticos y dinámicos de la etapa 1, muestran factores de seguridad de 1.8 y 1.7 correspondientes, ambos valores son mayores que el mínimo requerido (1.00) para construcciones temporales

LUMINA SPARGO®

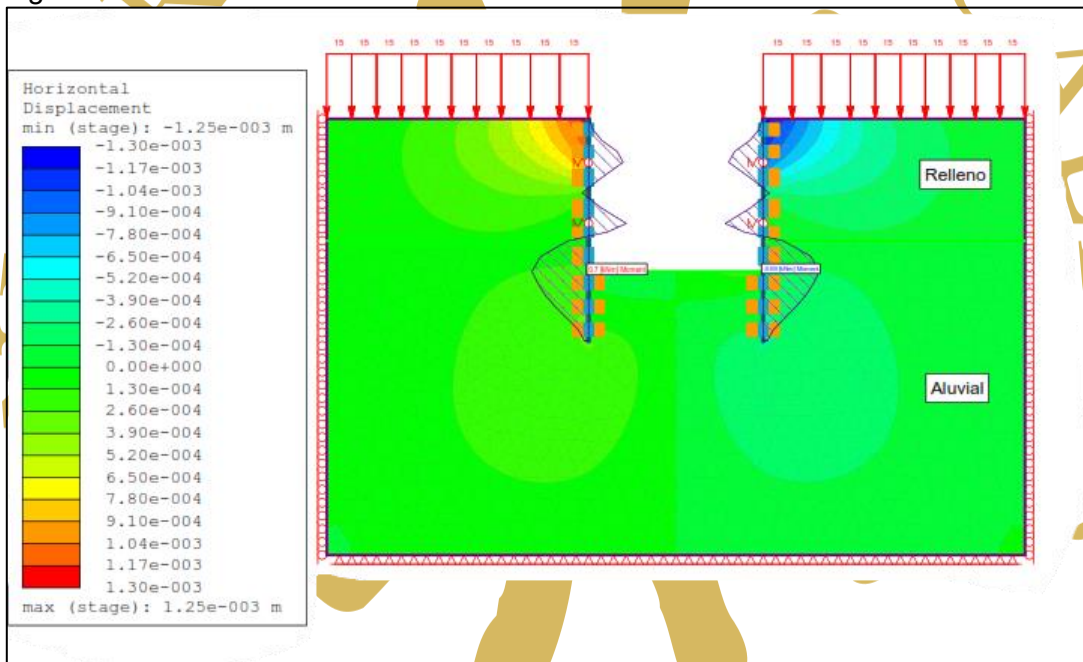
## 8.5.2. Deformaciones de excavaciones

Como parte del análisis se verifica la afectación generada en superficie mediante la estimación de deformaciones haciendo uso del software de elementos finitos RS2.

### 8.5.2.1. Excavación inicial H=1,75 m con entibado

En la Figura 8.25 se presenta el modelo de deformación para la etapa 1 de excavación de 1.75m con entibado

Figura 8.25 Deformaciones excavación inicial H=1.75m con entibado



Fuente: SEDIC, 2023. Tomado de RS2 9.0.

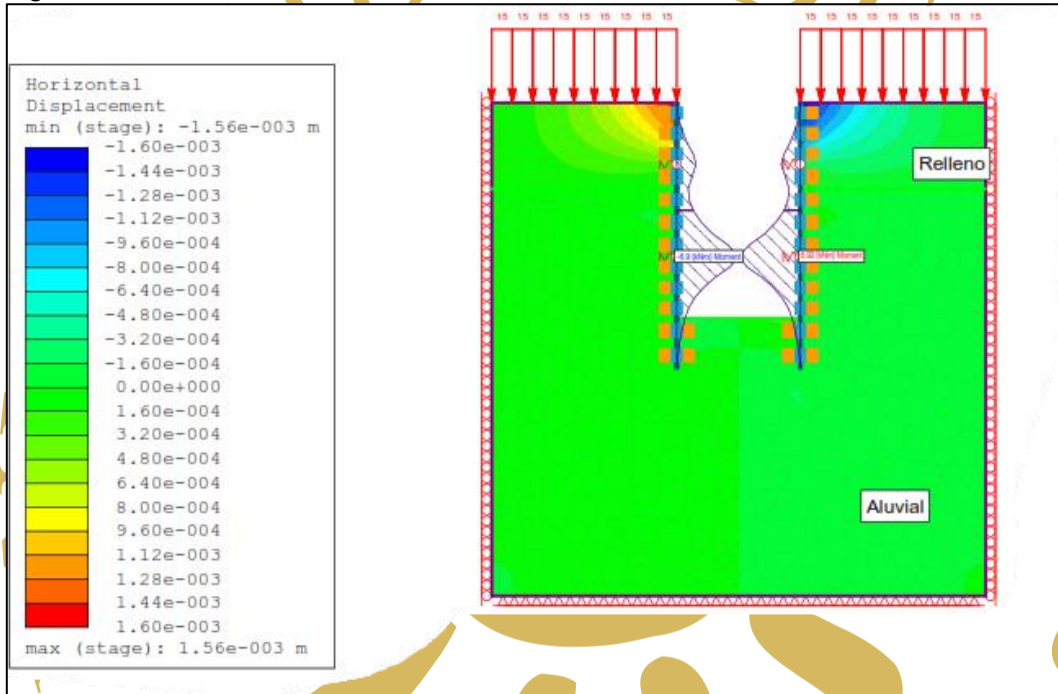
La deformación máxima obtenida para este caso es de 1,25 mm, siendo este valor bastante cercano al máximo permitido igual a  $H/500$  (3.50mm). Debido a que la excavación inicial permanece poco tiempo sin apuntalamiento, el valor de la deformación se considera tolerable.



### 8.5.2.2. Excavación final H=3,50m con entibado

En la Figura 8.26 se presenta el modelo de deformación para la etapa 2 de excavación de 3.50m con entibado

Figura 8.26 Deformaciones excavación inicial H=3.50m con entibado



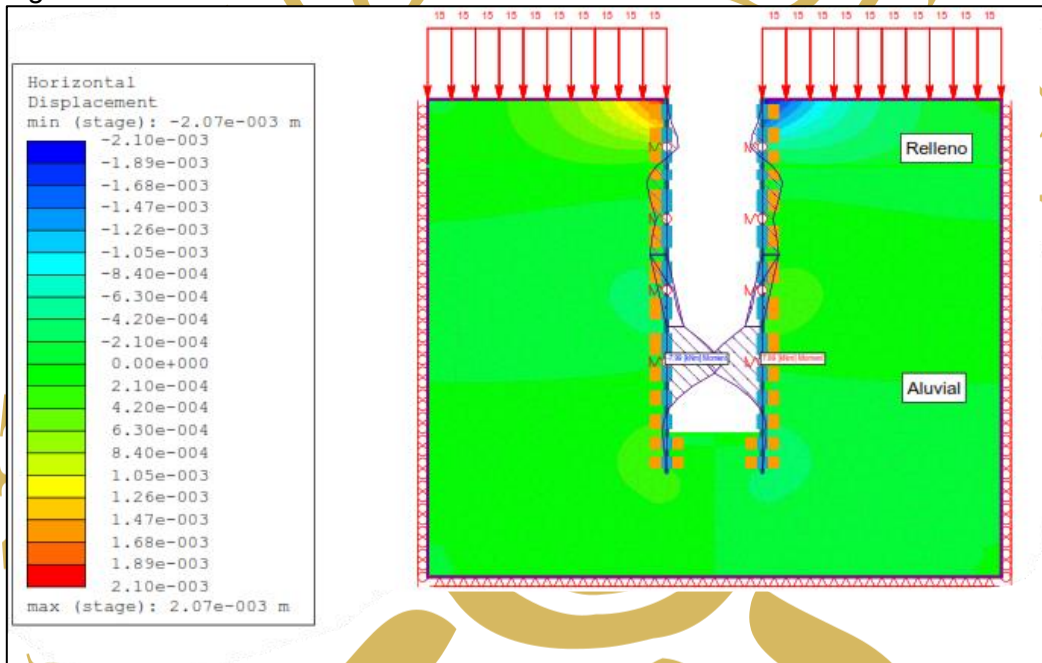
Fuente: SEDIC, 2023. Tomado de RS2 9.0.

La deformación máxima obtenida para este caso es de 1.56 mm, siendo este valor menor al máximo permitido igual a  $H/500$  (7 mm); se concluye que las excavaciones planteadas con entibados son estables y no generan deformaciones considerables en las áreas adyacentes.

### 8.5.2.3. Excavación final H=7,00m con entibado

En la Figura 8.27 se presenta el modelo de deformación para la etapa 2 de excavación de 3.50m con entibado

Figura 8.27 Deformaciones excavación inicial H=7.00m con entibado



Fuente: SEDIC, 2023. Tomado de RS2 9.0.

La deformación máxima obtenida para este caso es de 2.07 mm, siendo este valor menor al máximo permitido igual a  $H/500$  (14 mm). se concluye que las excavaciones planteadas con entibados son estables y no generan deformaciones considerables en las áreas adyacentes.

## 9. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en el estudio y diseño del proyecto interceptor, a continuación, se presentan las siguientes conclusiones

El estudio de suelos es de vital importancia para realizar construcciones seguras y resistentes, la no realización de este puede llevar problemas como erosión del terreno, falla del terreno, deslizamiento, hundimiento y otros problemas que se pudieron haber previsto

El área urbana del Valle del Aburrá, aunque geológicamente fue construido sobre un terreno aluvial, el desarrollo, crecimiento y expansión de los municipios a través de los años han generado rellenos antrópicos de 1.5m a 3m de espesor.

Las actuaciones T09-COC-CI09 y T01-SOC-AC04 que fueron usadas de ejemplo para este informe de las actividades realizadas de los diseños detallados, son aptos para la construcción de las obras proyectadas (como nota aclaratoria, ambos informes fueron aceptados y aprobados por EPM para su construcción)

LUMINA

SPARGO



## 10. REFERENCIAS

- Actualización POMCA Rio Aburrá. (2016). *CONSULTORÍA PARA ACTUALIZAR EL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ - NSS (2701-01). LOCALIZADA EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA, JURISDICCIÓN DE CORANTIOQUIA, AMVA Y CORNARE.*
- AIS. (2010). *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente, NSR-10.* Bogotá: ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA.
- AMVA. (2016). Microzonificación sísmica detallada de los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado. .
- Area Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA). (2006). *Microzonificación sísmica detallada de los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado.*
- Aristizábal, E., & Gómez, J. (2007). Inventario de emergencias y desastres en el Valle de Aburrá. Originados por fenómenos naturales y antrópicos en el periodo 1880-2007. *Gestión y Ambiente*, Volumen 10 - No.2.
- Aristizábal, E., & Yokota, S. (2008). Evolución geomorfológica del Valle de Aburrá y sus implicaciones en la ocurrencia de movimientos en masa. .
- Arvizu, G., & Dávila, M. (2013). *Geología aplicada a la construcción de infraestructura*. Naucalpan de Juárez: Fundación Prociendas de la Tierra FECIT.
- ASTM-D2488-00. (2018). *ASTM Designación: D 2488 - 00. Método de Ensayo Normalizado para Descripción e Identificación de Suelos (Procedimiento Visual y Manual).* West Conshohocken.
- Braja. (2001). *Fundamentos ingeniería geotécnica.*
- Budhu, M. (2015). *Soil Mechanics Fundamentals.* West Sussex, United Kingdom.: John Wiley & Sons, Ltd.
- Carvajal P., J. H. (2012). *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia.* Bogotá: Servicio Geológico Colombiano. Colección Guías y Manuales.
- Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de teledetección espacial .*
- Conae, D. D. (2012). Manual de información técnica de Neumaticos. En D. d. Conae.
- Corantioquia, Amva y Cornare. (2016). Actualización pomca rio aburrá Consultoría para actualizar el plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del



río aburrá - nss (2701-01). Localizada en el departamento de antioquia, jurisdicción de corantioquia, amva y cornare.

Das, B. (2012). *Principles of Foundation Engineering*. México, D.F.: Cengage Learning.

Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, M. d. (2000). *TITULO G: REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS - 2000*. Bogotá D.C.

Esquivel, D. (2022). Diseño estructural de tuberías perfiladas de PVC.

Gonzalez, A. (1999). ESTIMATIVOS DE PARAMETROS EFECTIVOS DE RESISTENCIA CON EL SPT. X JORNADAS GEOTECNICAS DE LA INGENIERIA COLOMBIANA - SCI -SCG, 1-12.

Harr, M. E. (1991). *Groundwater and seepage*. Courier Corporation.

IDEAM. (2013). *Robertson, K., Jaramillo, O. y Castiblanco, M. Guía Metodológica Para La Elaboración De Mapas Geomorfológicos*.

IMSA. (2005). Investigación tecnológica para desarrollar y probar el sistema de fabricación de túnel liner y sus especificaciones técnicas de montaje e instalación.

INTEINSA. (2020). *Consultoría, asesoría y ejecución de estudios y diseños técnicos en las áreas de geología, geotecnia, hidráulica e hidrología para las Empresas Públicas de Medellín E.S.P. Contrato No. CW88351. Informe de Exploración Geotécnica*. Medellín.

Kirar, M. y. (2016). Correlation Between Shear Wave Velocity ( $V_s$ ) and SPT Resistance (N) for Roorkee Region. *Int. J. of Geosynth. and Ground Eng.*, 1-11.

Londoño Naranjo, Cipriano y Alvarez Pabón, Jorge Alberto. (2008). Manual de Diseño de pavimentos de concreto: para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Medellín.

MINISTERIO DE AMBIENTE, V. Y. (2003). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000*. Bogotá: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo económico.

Moser, A. (1990). *Buried Pipe Design*. USA: McGraw Hill.

Orozco, J. y. (2020). Apuntes de clase enfocados a la ingeniería de cimentaciones.





- Pinzón, J. (2011). *Evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado de Bogotá.* .
- Rossiter, D. (2002). *Metodologías para el levantamiento del recurso suelo.* International Institute for Geo-information Science & Earth Observation (ITC).
- Sabatini, P. P. (1999). *GEOTECHNICAL ENGINEERING CIRCULAR NO. 4: Ground Anchors and Anchored Systems.* Washington D.C.: U.S. Department of Transportation: Federal Highway Administration.
- SEDIC. (2019). *IK-GPY-08 Manual para el trabajo de campo geológico - geotécnico.* Medellín.
- Sedic. (2023). *Informe criterios de diseño.* .
- Servicio Geológico Colombiano. (2017). *Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa. Escala 1:25.000.* Colección de Guías y Manuales.
- Tamez, E. R. (1997). *Diseño Geotécnico de Túneles.* México, D.F.: TGC GEotecnica S.A. de C.V.
- Tecnovial. (s.f.). *Tecnovial.* Obtenido de <https://tecnovial.cl/tunnel-liner/>
- Terzagui, K. P. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice.* New York, NY: John Wiley & Sons, Inc.
- Toro, G. y. (1994). *Estudio geomorfológico y estructural del Valle de Aburrá. Proyecto de Grado.*
- Torres, J. P. (2017). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LAS COBERTURAS Y USOS DEL SUELO DE LA RESERVA FORESTAL PROTECTORA-PRODUCTORA "CASABLANCA" EN MADRID, CUNDINAMARCA ENTRE LOS AÑOS 1961 Y 2015: APORTES PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPAL.*
- TREJOS, N. (2004). *Dinámica del uso de la tierra e identificación de las áreas críticas de la región de playa Venado, provincia de Los Santos, república de Panamá.*
- Valencia, U. P. (s.f.). *procedimientosconstruccion.* Obtenido de <http://procedimientosconstruccion.blogspot.com>
- Vélez, C. A. (2019). *Contribuciones desde la geomorfometría y la geomorfología tectónica: Valle de Aburrá, Cordillera Central de Colombia.*
- Youd, T. a. (2001). *LIQUEFACTION RESISTANCE OF SOILS: SUMMARY REPORT FROM THE 1996 NCEER AND 1998 NCEER/NSF WORKSHOPS AND*





FACULTAD DE  
CIENCIAS EXACTAS  
Y NATURALES

EVALUATION OF LIQUEFACTION RESISTENCE OF SOILS. *JOURNAL OF  
GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING*, 297-313.

