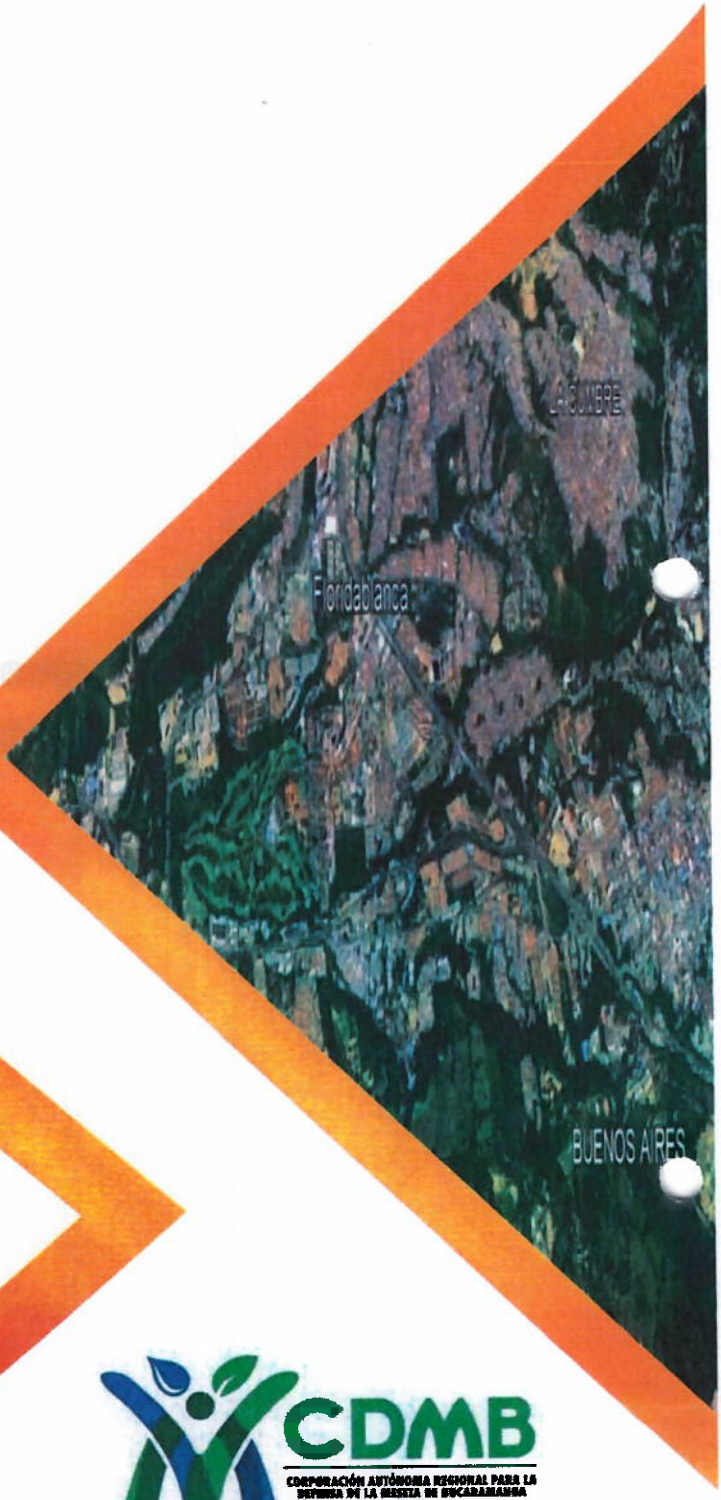
# BARRIO 23 DE JUNIO

# ANEXO CARACTERIZACION GEOTECNICA

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB)

# CARACTERIZACIÓN GEOTECNICA TALUD – SECTOR 23 DE JUNIO

## SECTOR XXIII DE JUNIO




**CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN EN ZONAS PRIORIZADAS DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, DEFINIDAS POR LA CDMB, COMO APOYO AL CUMPLIMIENTO DE ÓRDENES, ACCIONES JUDICIALES Y ACTUACIONES PREVENTIVAS DE LOS ÓRGANOS DE CONTROL RELACIONADAS CON LA GESTIÓN DEL RIESGO.**

CDMB
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA

## TABLA DE CONTENIDO

1. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA ..... 4
1.1. METODOLOGIA ..... 4
1.2. EXPLORACION GEOTECNICA ..... 5
2. TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 2D # 1 ..... 7
2.1. INTRODUCCIÓN ..... 7
2.2. OBJETIVOS ..... 7
2.3. LOCALIZACIÓN GENERAL ..... 8
EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO ..... 9
2.4. LOCALIZACIÓN DE LAS LÍNEAS TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS ..... 9
EXPLORACIÓN DE CAMPO ..... 12
2.5. TOMOGRAFÍA ELÉCIRICA ..... 12
2.6. PROCEDIMIENTO EN CAMPO ..... 13
2.7. TIPO DE ARREGLO ..... 14
2.8. EQUIPO DE TRABAJO ..... 15
2.9. ENSAYO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA LÍNEA LGE1 ..... 15
INTERPRETACIÓN TOMOGRAFÍA GEOELÉCTRICA LGE1 ..... 16
2.10. ENSAYO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA LÍNEA LGE2 ..... 18
INTERPRETACIÓN TOMOGRAFÍA GEOELÉCTRICA LGE2 ..... 18
CONCLUSIONES ..... 20
3. REFRACCIÓN SÍSMICA 2D ..... 21
3.1. INTRODUCCIÓN ..... 21
3.2. OBJETIVOS ..... 21
3.3. LOCALIZACIÓN GENERAL ..... 22
EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO ..... 22
3.4. LOCALIZACIÓN DE LA LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA ..... 22
EXPLORACIÓN DE CAMPO ..... 25
3.5. EXPLORACIÓN MEDIANTE LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA ..... 25
PARÁMETROS DE REGISTRO Y MUESTREO DE LA REFRACCIÓN SÍSMICA ..... 26
3.6. ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES (MASW) ..... 27
PARÁMETROS DE REGISTRO Y MUESTREO ..... 28
3.7. TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA ..... 30
3.8. EQUIPO DE TRABAJO ..... 31
RESULTADOS OBTENIDOS ..... 31
3.9. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS ..... 31
3.10. CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN NSR-10 ..... 32
3.11. ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA LÍNEA LRS1 ..... 33
3.12. ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA LÍNEA LRS2 ..... 33
CONCLUSIONES ..... 34
4. ANALISIS GEOLÓGICO ..... 36
4.1. METODOLOGÍA ..... 37

**4.2. GEOLOGÍA ..... 38**

4.2.1. GEOLOGÍA REGIONAL ..... 38
4.2.2. UNIDADES GEOLÓGICAS DE INGENIERÍA (UGI) ..... 49
- 4.2.2.1 SUELO RESIDUAL DEL MIEMBRO LIMOS ROJOS (Sraml) ..... 49
- 4.2.2.2 SUELO RESIDUAL FINO (Srmf) ..... 49

4.2.2.3 SUELOS ALUVIALES DE CAUCE ACTIVO (SACA) ..... 50
- 4.2.2.4 SUELO RESIDUAL GRAVOSO (Srg) ..... 50
- 4.2.2.5 SUELOS COLUVIALES RECIENTES (Scr) ..... 50

**4.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL ..... 52**

4.3.1. MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO DE COLOMBIA ..... 52
4.3.2. MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER ..... 53

**5. GEOMORFOLOGÍA ..... 55**

**5.1. MORFOGÉNESIS ..... 55**

**5.2. MORFOMETRÍA ..... 55**

5.2.1. PENDIENTE ..... 55
5.2.2. CURVATURA ..... 57
5.2.3. RUGOSIDAD ..... 58

**5.3. MORFODINÁMICA ..... 59**

**5.4. ELEMENTOS GEOMORFOLOGICOS ..... 59**

5.4.1. GEOFORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL ..... 60
- 5.4.1.1 LADERA DENUDACIONAL ABRUPTA (Dla) ..... 60
- 5.4.1.2 LADERA DENUDACIONAL MUY ABRUPTA (Dlma) ..... 60
- 5.4.1.3 LADERAS DENUDACIONALES INCLINADAS (Dli) ..... 60

5.4.1. GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL ..... 60
- 5.4.3.1 CAUCE ALUVIAL ACTIVO (Fca) ..... 60
- 5.4.3.2 TERRAZAS DE CAUCE ALUVIAL ACTIVO (Ftca) ..... 61

5.4.2. GEOFORMAS DE ORIGEN ANTRÓPICO ..... 61
- 5.4.4.1 SUPERFICIE DE EXPLANACIÓN (Ase) ..... 61

**6. REGISTRO FOTOGRAFICO ..... 63**

**7. RESULTADOS ..... 73**

**7.1. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS ..... 73**
**7.2. ENSAYOS DE LABORATORIO ..... 82**
**RESULTADO DEL MODELO GEOLOGICO – GEOTECNICO ..... 83**

- SUELO RESIDUAL DEL MIEMBRO LIMOS ROJOS (Sraml) ..... 83
- SUELO RESIDUAL FINO (Srmf) ..... 83
- SUELOS ALUVIALES DE CAUCE ACTIVO (Saca) ..... 84
- SUELO RESIDUAL GRAVOSO (Srg) ..... 84
- 4.2.2.5 SUELOS COLUVIALES RECIENTES (Scr) ..... 84

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 85**

# 1. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

## 1.1. METODOLOGIA

La metodología adoptada corresponde a un enfoque semiempírico, en el cual la caracterización del medio se fundamenta en un componente empírico predominante, apoyado en el juicio experto del geotecnista para la selección y jerarquización de los parámetros representativos del comportamiento del subsuelo, la definición de sus dominios de variabilidad y la estructuración del modelo de integración, correlación y ponderación entre variables.

La cuantificación de dichos parámetros se establece en la interpretación y procesamiento de los resultados derivados de las campañas de exploración in situ, ensayos de laboratorio y prospección geofísica, ejecutados conforme a los protocolos técnicos aplicables durante el desarrollo del estudio.

El proceso metodológico general se presenta en la ilustración 1 y se estructura en una actividad integral de caracterización. Esta se derivará de la investigación del subsuelo mediante la aplicación combinada de métodos directos de exploración y técnicas indirectas de prospección geofísica, cuyos resultados serán integrados para la definición del modelo del medio estudiado.

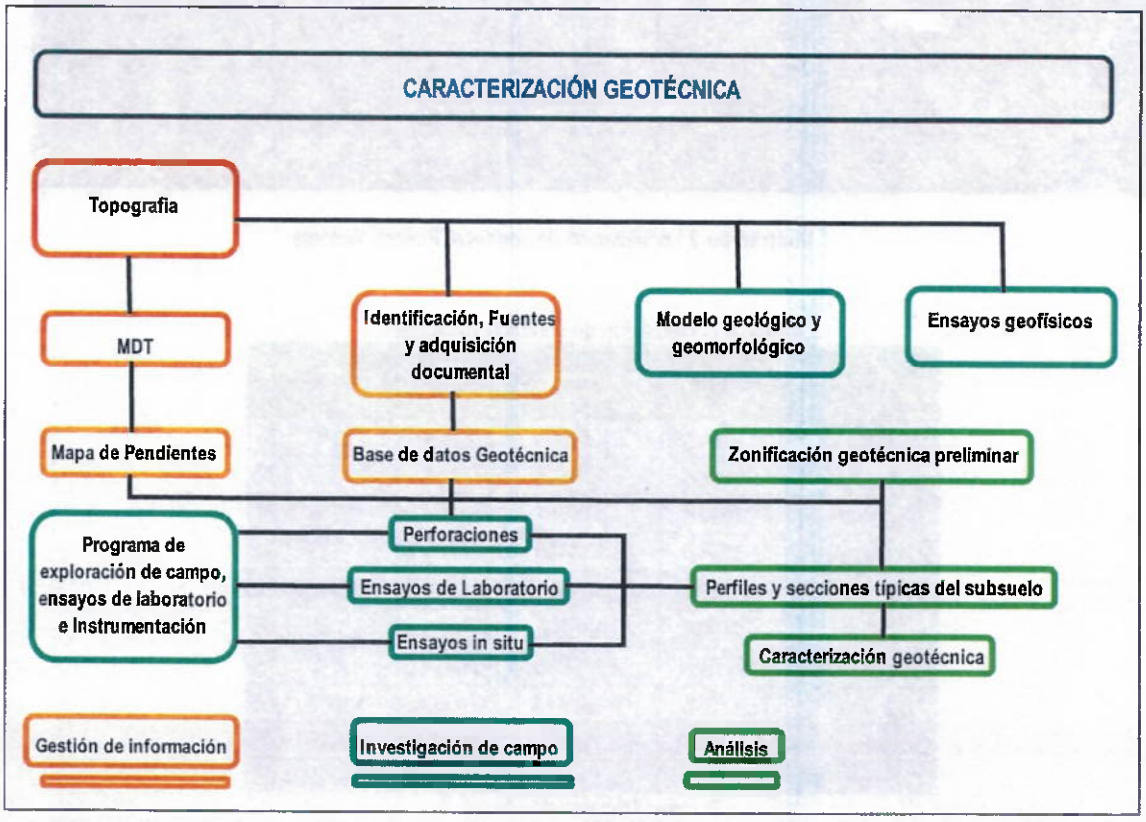



Ilustración 1 Metodología general para la caracterización geotécnica.

## 1.2. EXPLORACION GEOTECNICA

Para las exploraciones realizadas en el lugar de se planteó una investigación compuesta por tres sondeos que se realizaron de la siguiente manera:




**Ilustración 2** Localización de sondeos. Fuente: Autores

**Tabla 1.** Localización de sondeos y apiques.

| Exploracion Geotecnica | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Exploracion | Norte | Este | Norte | Este |
| Apique 1 | 7.11730431 | -73.1360477 | 1278904.71 | 1104005.23 |
| Apique 2 | 7.116828 | -73.136428 | 1278851.94 | 1103963.32 |
| Apique 3 | 7.116423 | -73.136864 | 1278807.05 | 1103915.24 |
| Apique 4 | 7.116347 | -73.137438 | 1278798.51 | 1103851.84 |
| Apique 5 | 7.117599 | -73.135651 | 1278937.39 | 1104048.99 |
| Apique 6 | 7.117946 | -73.135208 | 1278975.87 | 1104097.86 |
| Sondeo 1 | 7.1173884 | -73.135953 | 1278414.05 | 1104015.75 |
| Sondeo 2 | 7.116936 | -73.136443 | 1278863.88 | 1103961.64 |
| Sondeo 3 | 7.11792 | -73.135372 | 1278972.96 | 1104079.75 |
| Sondeo 4 | 7.11644 | -73.136965 | 1278808.91 | 1103904.08 |

Fuente: Trabajos de campo.

Para la localización de los sondeos y apiques, se basó en métodos de observación, en los cuales se determinaron los lugares de exploración por factores como:

- Fácil acceso al lugar de exploración.
- Cercanía de servicio de agua para la refrigeración durante la perforación.
- Cercanía a bordes de lomos y escarpes
- Zonas cercanas a pie de taludes.
- Lugares de intercambio de unidades geológicas superficiales.
- Zonas donde se evidencie afectación por erosión superficial o posibles fenómenos de movimientos en masa

Como se mencionó anteriormente, las exploraciones de campo se realizaron a rotación y percusión, por lo cual la se usó el siguiente equipo:

- Equipo de perforación marca PETTY, motor diésel Ruggerini 24 HP.
- Motobomba para lodos.
- 30 metros de tubería BW-AW.
- Tubería de revestimiento NW.
- Torre de perforación (trípode).
- pesa de 140 libras, 1 contrapesa.
- Dos diferenciales para extraer los núcleos,
- 10 metros de tubería de perforación AW,
- 3 muestreadores cuchara partida estándar (split spoon) y lazo.
- Llaves de tubo de 24 y 36".
- Muestreador de pared delgada U-100.
- Barrena con broca en tricono diamantada.

Durante la exploración mecánica, efectuada, se recolecta una serie de muestras para aplicar ensayos de laboratorio, los cuales se muestran en el capítulo 6.2.

# 2. TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 2D # 1

## 2.1. INTRODUCCIÓN

Las tomografías Geoeléctricas son un método geofísico económico que permite interpretar el subsuelo utilizando corriente eléctrica y midiendo de las variaciones de resistividad; para posteriormente interpretar los cambios como los diversos tipos de litologías.

Útil para detección de interfaces entre cuerpos de distinta resistividad, tales como depósitos aluviales y roca, depósitos saturados (prospección de agua), y depósitos de diversos tamaños de grano.

El resultado final de este tipo de estudio es una sección en profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos o geotécnicos.

Para este estudio se realizó una tomografía eléctrica, con el objeto de determinar zonas con mayor conductividad favorables para la detección de niveles aguas superficiales y exploración geotécnica.

## 2.2. OBJETIVOS

### GENERAL

Determinar mediante estudios geofísicos, el perfil estratigráfico del suelo en profundidad en el área de estudio obteniendo información básica de la resistividad y las velocidades de onda con el objeto de determinar zonas con mayor conductividad favorables para la detección de niveles aguas superficiales y exploración geotécnica.

### ESPECÍFICOS

- Adquirir una tomografía eléctrica para la prospección del subsuelo.
- Realizar en los puntos adecuado la tomografía Geoeléctrica, con el objetivo de identificar los extractos del suelo y las velocidades de onda.

- Elaborar un modelo Geoeléctrico y de velocidades de las capas del subsuelo en los puntos seleccionados, con el fin de determinar los niveles freáticos, acuíferos presentes, espesores y sus profundidades estimadas.

## 2.3. LOCALIZACIÓN GENERAL

El proyecto se encuentra localizado en el barrio 23 de Junio en la autopista Bucaramanga – Girón en el municipio de Bucaramanga en el departamento de Santander.

**Ilustración 3** Localización geográfica de la tomografía eléctrica.




Fuente: Localización general del área de Estudio tomada de Google Earth 2025

## EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

### 2.4. LOCALIZACIÓN DE LAS LÍNEAS TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS

Las coordenadas de las líneas tomografía eléctrica se presentan en la tabla 1, en coordenadas geográficas.

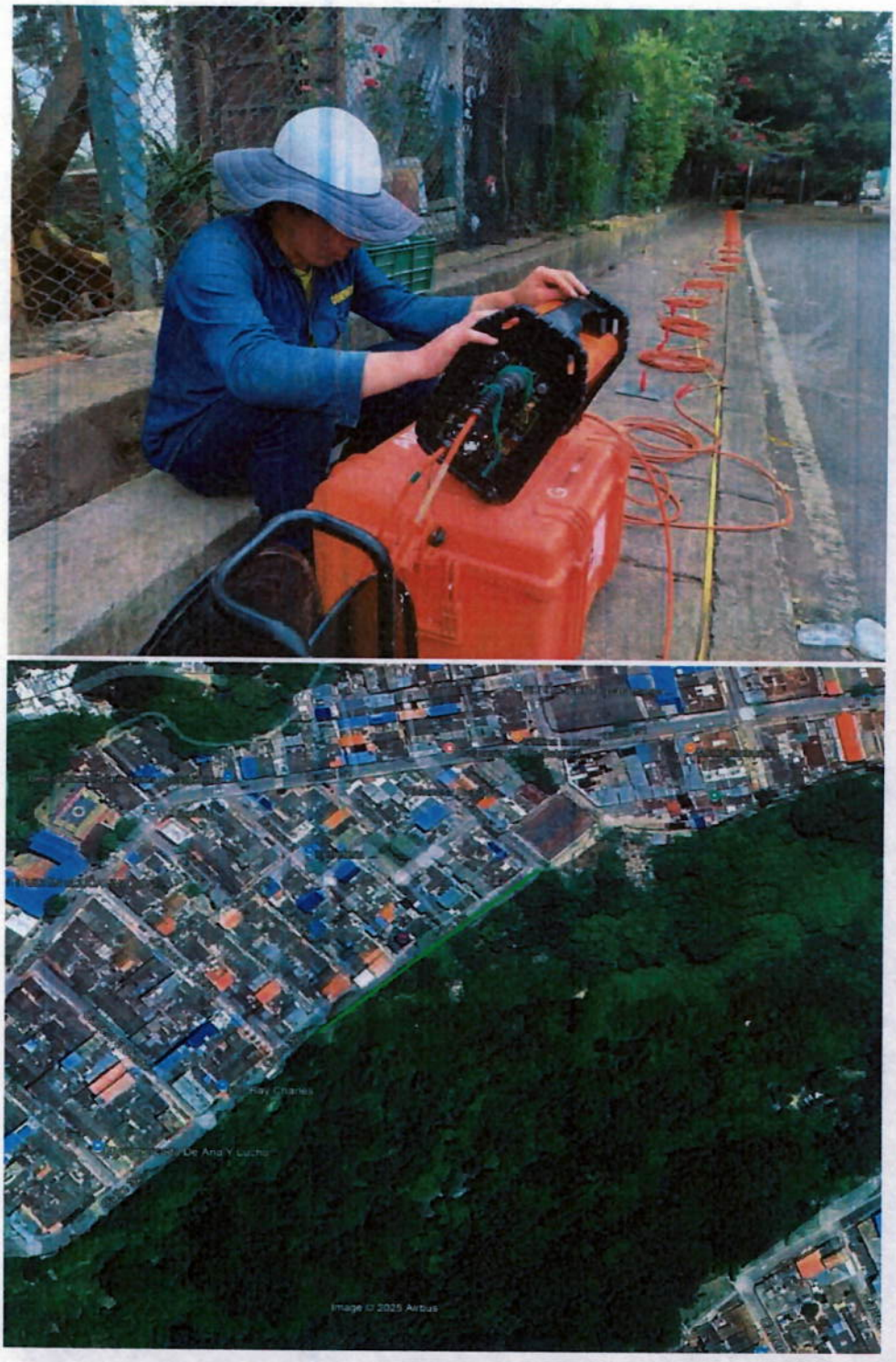
Tabla 2. Coordenadas de inicio y fin de las líneas de tomografías eléctricas

| LINEA | COORDENADAS | | | |
|---|---|---|---|---|
| | INCIO | | FIN | |
| | latitud | longitud | latitud | longitud |
| TOMO 1 | 7° 7'2.82"N | 73° 8'9.31"O | 7° 7'5.62"N | 73° 8'6.12"O |

| LINEA | COORDENADAS | | | |
|---|---|---|---|---|
| | INCIO | | FIN | |
| | latitud | longitud | latitud | longitud |
| TOMO 2 | 7° 6'59.32"N | 73° 8'13.01"O | 7° 7'2.50"N | 73° 8'9.60"O |

Ilustración 4 Localización de la unidad central de la tomografía eléctrica.






Fuente autores.







Fuente autores.

## EXPLORACIÓN DE CAMPO

### 2.5. Tomografía eléctrica

El método de tomografía eléctrica (TE) en dos dimensiones es una técnica de investigación de resistividad (res) de áreas con anomalías complejas (resistivas o conductivas), donde los empleos de otras técnicas no permiten obtener información de detalle en 2D a profundidades someras y moderadamente profundas. La Tomografía eléctrica consiste en obtener una serie de medidas de resistividades aparente con un microdispositivo tetraelectródico determinado con una separación constante entre electrodos denominada "a", por lo que (aumentar) las distancias entre los pares de electrodos emisor-receptor por múltiplos de un valor denominado "n", de tal forma que el resultado final será una sección de resistividades aparentes a varios niveles "n" en profundidad. Estos datos necesariamente deben ser tratados por algoritmos matemáticos para llegar a obtener una imagen de res-profundidad verdadera, proceso denominado inversión.

La Tomografía eléctrica tiene por objetivo específico determinar la distribución real de la resistividad del subsuelo en el ámbito comprendido entre dos sondeos o bien hasta un cierto rango de profundidad a lo largo de un perfil de medida, a partir de los valores de resistividad aparente obtenidos mediante medidas realizadas por métodos convencionales de corriente continua.

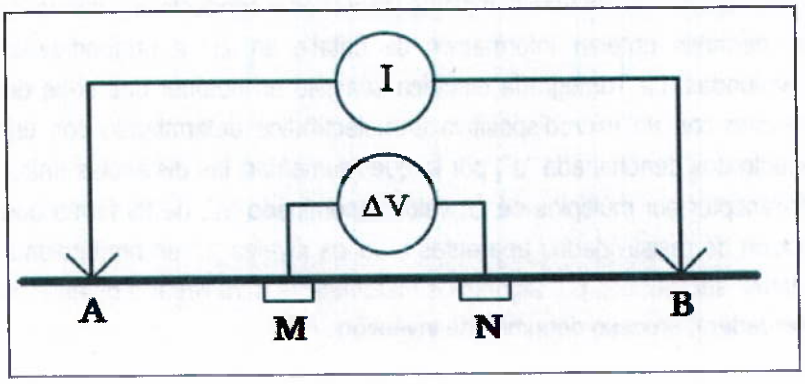
El resultado obtenido mediante la técnica de Tomografía es una imagen geo eléctrica o sección de alta resolución con una muy buena aproximación del modelo de resistividades y profundidades verdaderas del subsuelo, resultado que puede ser, en la mayoría de los casos, correlacionado y constatado con las observaciones de campo, información geológica, perforaciones, calicatas mecánicas, geoquímica, hidrogeología, edafología, etc.

## 2.6. Procedimiento en campo

La toma de datos en campo se trabajó con el arreglo Wenner Y Schlumberger, el cual consiste en un espaciamiento entre los electrodos C1-C2 y electrodos potenciales P1-P2. (Ver Figura 5). La relación de la distancia entre los electrodos C1 y P1 para separaciones con este dispositivo se conoce como "a" este se mantiene a medida que aumenta las aperturas, al aumentar los espaciamientos entre electrodos van disminuyendo los datos en profundidad. Para el dispositivo Wenner el factor geométrico (k) es igual 2πa y para el arreglo schlumberger $k = \pi \frac{(AB/2)^2 - (MN/2)^2}{MN}$ la constante geométrica de wenner tiene una fortaleza significativa en la señal en comparación a otros arreglos en entornos con ruido de fondo alto más sin embargo el schlumberger tiene una buena fortaleza en vertical.

Se procedió con el tendido del cable de adquisición y puesta de los electros en el sitio, luego de la instalación se adquirieron unas secuencias de medidas para obtener una matriz de resistividades aparentes.

**Ilustración 5** Muestra esquemática de un arreglo tetra-electrónico.



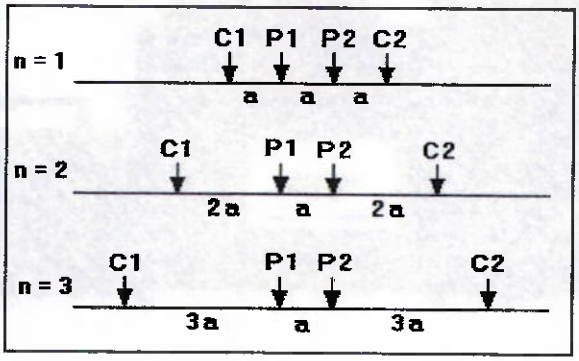

**Fuente:** Autores.

## 2.7. Tipo de arreglo

El arreglo Schlumberger es empleado tanto para el ensayo del sondeo eléctrico vertical y de tomografía. Este consiste en colocar los electrodos de medida de potencial separados una distancia a desde el centro del arreglo y en los extremos, cada electrodo de medida de corriente a una distancia na desde el electrodo de potencial más cercano.

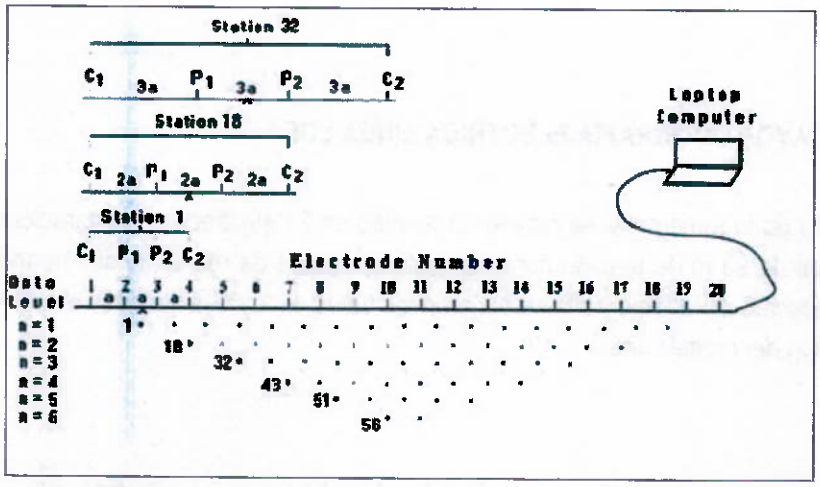
En el sondeo eléctrico vertical, la distancia P1P2 (electrodos de potencial eléctrico) mantiene su distancia a y la distancia C1P1 y P2C2 va aumentando en un múltiplo de a.

**Ilustración 6** Esquema del arreglo Schlumberger para el sondeo eléctrico vertical (SEV) (Loke, 2020).




**Fuente:** Autores.

**Ilustración 7** Dispositivo electródico para prospecciones y secuencia de medidas.




Fuente: Autores

## 2.8. Equipo de trabajo

El equipo que se utilizó en campo para la adquisición de los datos fue el GEOAMP 203 este cuenta con cuatro canales de salida para A, B, M Y N que se conectan unida de multiflexado y cables de cables de adquisición lo que permite la toma de las diferentes medidas del subsuelo.

**Ilustración 8** Unidad sismógrafo digital y de tomografía electica.

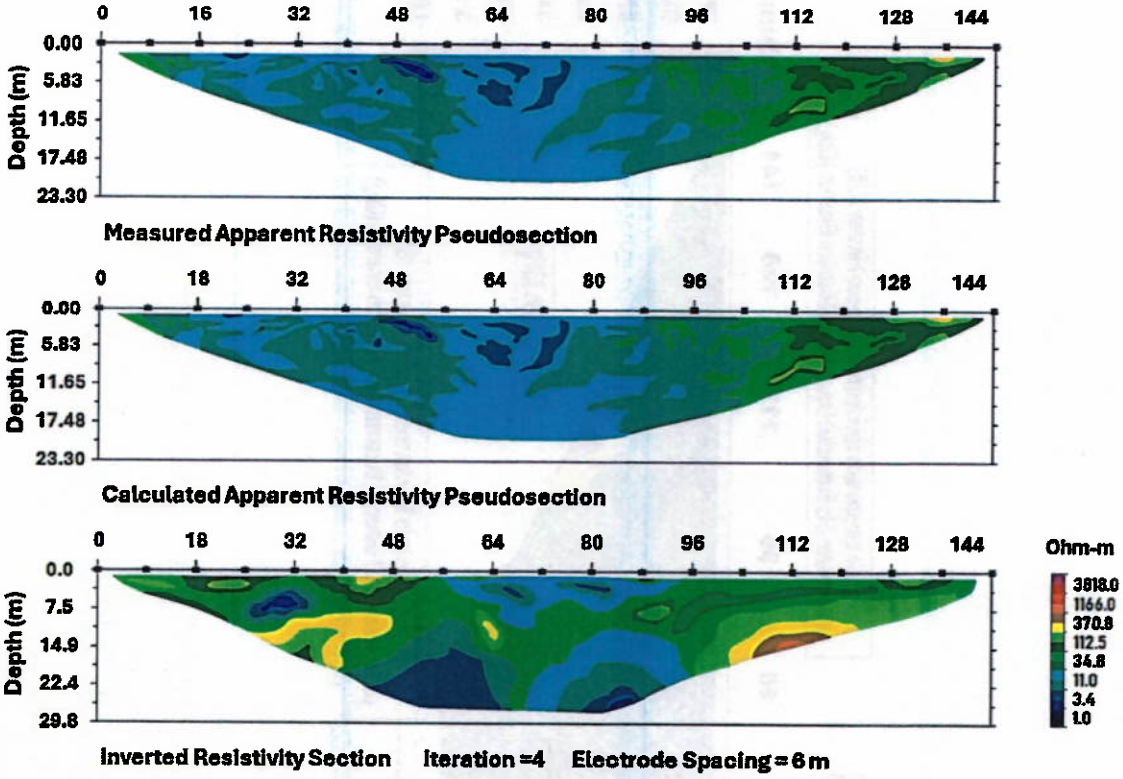


Equipo ABEM TERRAMETER LS 2 fabricado por la empresa Guideline Geo. Es un equipo multicanal portátil, medidor de resistividad del subsuelo e IP, con almacenamiento de lecturas en memoria con ciclos de medidas definidos por el usuario. El equipo cuenta con 2 canales de adquisición y 48 electrodos.

## 2.9. ENSAYO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA LÍNEA LGE1

Para el desarrollo de la tomografía se realizó un tendido de 24 electrodos a separación de 2 m con una apertura total de 99 m de tendido donde se adquirió datos de resistividades aparentes para el proceso de generación de la tomografía se apilaron los datos de los dos métodos con el fin conseguir la mejor resolución del modelo final.

**Ilustración 9** Proceso de generación de la tomografía mediante la inversión método schlumberger tomografía Geoeléctrica línea LGE1.

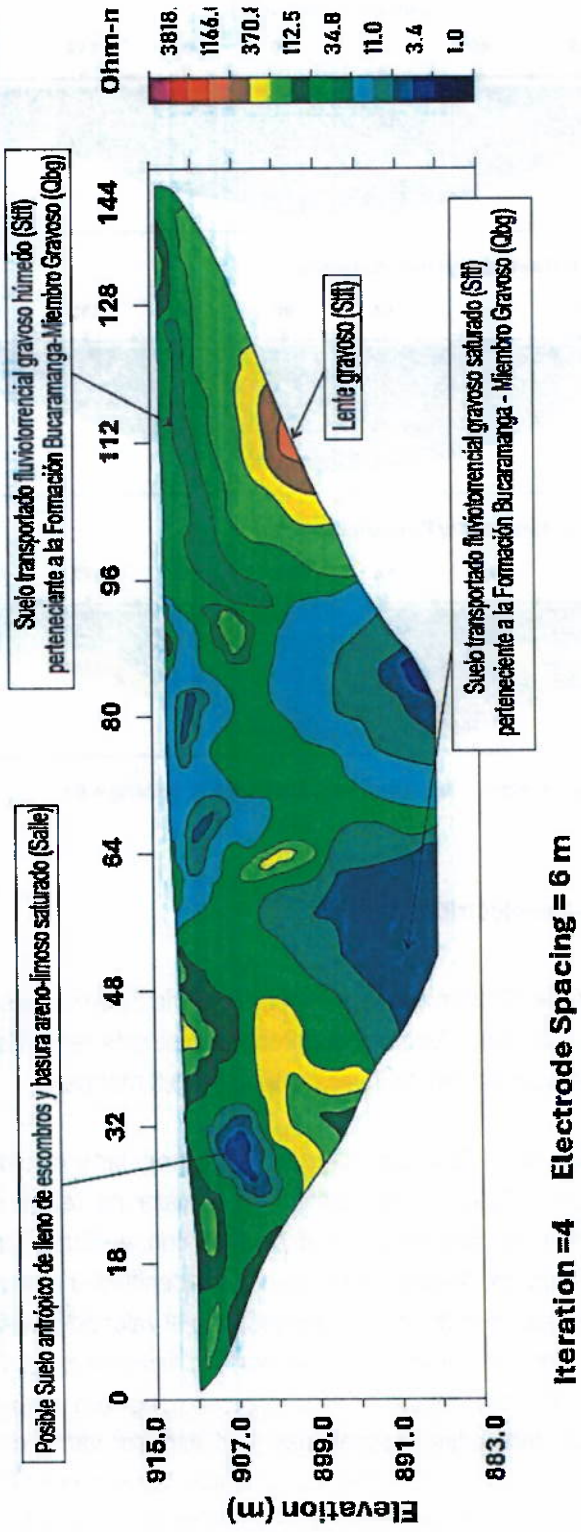



## Interpretación tomografía Geoeléctrica LGE1

La línea fue adquirida en la calle 32 entre carreras 1 y 4 en el barrio 23 de junio, su resistividad invertida y en la sección a analizar e interpretar fue posible apreciar registro de resistividad eléctrica desde de 1 Ω*m a 3818 Ω*m con una profundidad de investigación de 29.8 metros.

La región superficial corresponde a una capa de geometría irregular y distribución discontinua, de espesor variable, entre 0.6m a 22.4 m, con registro en el valor de resistividades entre 1Ω*m y 34.8Ω*m. Esta primera capa se relaciona probablemente con el Suelo antrópico areno-limoso saturado (Salle). Luego, en contacto lateral e infrayacente, se identifica una capa de espesor variable entre 1m y 29.8m (el total es desconocido) con un contraste en el valor de la resistividad, con registros mayores a 112.5 Ω*m, interpretado como Suelo transportado fluviotorrencial gravoso húmedo (Stft) perteneciente a la Formación Bucaramanga-Miembro Gravoso (Qbg) con lentes gravosos; Así mismo, capas de geometría irregular alargadas, discontinuas, con espesor variable entre 2m y 22m, con resistividades entre 1Ω*m y 11 Ω*m, definidas como Suelo transportado fluviotorrencial gravoso saturado (Stft) perteneciente a la Formación Bucaramanga-Miembro Gravoso (Qbg)

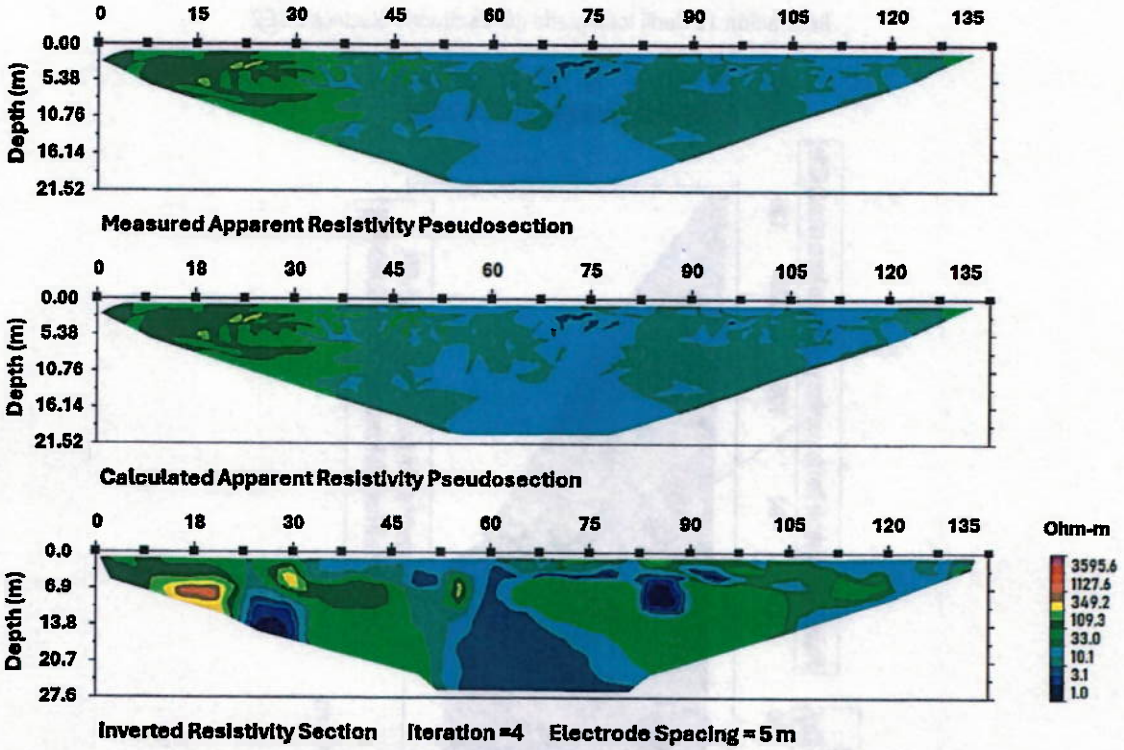
Ilustración 10 Perfil tomografía de resistividad eléctrica LGE1



## 2.10. ENSAYO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA LÍNEA LGE2

Para el desarrollo de la tomografía se realizó un tendido de 24 electrodos a separación de 5 m con una apertura total de 133 m de tendido donde se adquirió datos de resistividades aparentes para el proceso de generación de la tomografía se apilaron los datos de los dos métodos con el fin conseguir la mejor resolución del modelo final.

**Ilustración 11** Proceso de generación de la tomografía mediante la inversión método schlumberger tomografía Geoeléctrica línea LGE2.

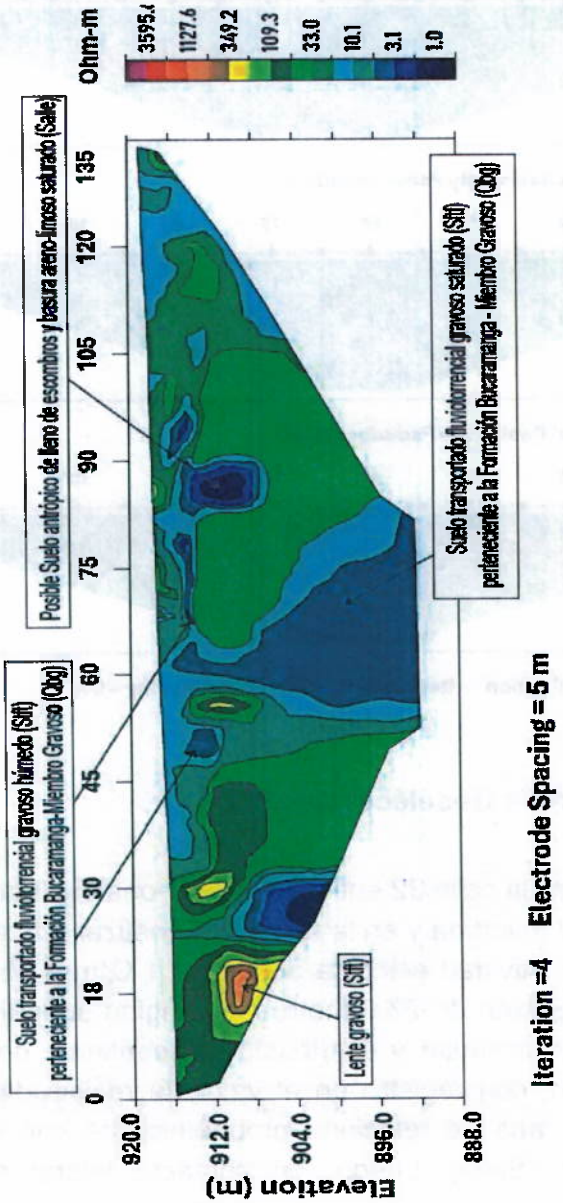



### Interpretación tomografía Geoeléctrica LGE2

La línea fue adquirida en la calle 32 entre carreras 1 oeste y 3 oeste en el barrio 23 de junio, su resistividad invertida y en la sección a analizar e interpretar fue posible apreciar registro de resistividad eléctrica desde de 1 Ω*m a 3595.6 Ω*m con una profundidad de investigación de 27.6 metros. La región superficial corresponde a una capa de geometría irregular y distribución discontinua, de espesor variable, entre 0.7 m a 21.52 m, con registro en el valor de resistividades entre 1Ω*m y 33Ω*m. Esta primera capa se relaciona probablemente con el Suelo antrópico areno-limoso saturado (Salle). Luego, en contacto lateral e infrayacente, se

identifica una capa de espesor variable entre 1m y 27.6m (el total es desconocido) con un contraste en el valor de la resistividad, con registros mayores a 109.3 Ω*m, interpretado como Suelo transportado fluviotorrencial gravoso húmedo (Stft) perteneciente a la Formación Bucaramanga-Miembro Gravoso (Qbg) con lentes gravosos; Así mismo, capas de geometría irregular alargadas, discontinuas, con espesor variable entre 2m y 22m, con resistividades entre 1Ω*m y 10.1 Ω*m, definidas como Suelo transportado fluviotorrencial gravoso saturado (Stft) perteneciente a la Formación Bucaramanga-Miembro Gravoso (Qbg)

**Ilustración 12** Perfil tomografía de resistividad eléctrica LGE2



## CONCLUSIONES

De acuerdo con las observaciones de campo y la interpretación de las líneas de tomografías 1 y 2 se tienen las siguientes conclusiones.

- **TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA LGE1**

El material asociado a la región de estudio corresponde para la Tomografía 1, a una capa de geometría irregular y distribución discontinua, de espesor variable, entre 0.6m a 22.4 m, con registro en el valor de resistividades entre 1Ω*m y 34.8Ω*m. Esta primera capa se relaciona probablemente con el Suelo antrópico areno-limoso saturado (Salle). Luego, en contacto lateral e infrayacente, se identifica una capa de espesor variable entre 1m y 29.8m (el total es desconocido) con un contraste en el valor de la resistividad, con registros mayores a 112.5 Ω*m, interpretado como Suelo transportado fluviotorrencial gravoso húmedo (Stft) perteneciente a la Formación Bucaramanga-Miembro Gravoso (Qbg) con lentes gravosos; Así mismo, capas de geometría irregular alargadas, discontinuas, con espesor variable entre 2m y 22m, con resistividades entre 1Ω*m y 11 Ω*m, definidas como Suelo transportado fluviotorrencial gravoso saturado (Stft) perteneciente a la Formación Bucaramanga-Miembro Gravoso (Qbg).

- **TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA LGE2**

El material asociado a la región de estudio corresponde para la Tomografía 2, a una capa de geometría irregular y distribución discontinua, de espesor variable, entre 0.7 m a 21.52 m, con registro en el valor de resistividades entre 1Ω*m y 33Ω*m. Esta primera capa se relaciona probablemente con el Suelo antrópico areno-limoso saturado (Salle). Luego, en contacto lateral e infrayacente, se identifica una capa de espesor variable entre 1m y 27.6m (el total es desconocido) con un contraste en el valor de la resistividad, con registros mayores a 112.5 Ω*m, interpretado como Suelo transportado fluviotorrencial gravoso húmedo (Stft) perteneciente a la Formación Bucaramanga-Miembro Gravoso (Qbg) con lentes gravosos; Así mismo, capas de geometría irregular alargadas, discontinuas, con espesor variable entre 2m y 22m, con resistividades entre 1Ω*m y 10.1 Ω*m, definidas como Suelo transportado fluviotorrencial gravoso saturado (Stft) perteneciente a la Formación Bucaramanga-Miembro Gravoso (Qbg).

# 3. REFRACCIÓN SÍSMICA 2D

## 3.1. INTRODUCCIÓN

El presente informe contiene los resultados del análisis de la información geofísica, adquirida mediante ensayos de refracción sísmica, en el municipio de Bucaramanga, departamento de Santander.

Los métodos sísmica se basan en la medición de variaciones de velocidad de propagación de ondas de choque, producidas de forma natural o artificial, con los cuales se puede obtener una imagen aproximada de la estratigrafía del terreno. Los métodos sísmicos más utilizados son Up-Hole, Down-Hole y Cross-Hole; MASW, SASW, Método de reflexión y refracción sísmica. Así, en este estudio se utiliza el método de Refracción Símica y MASW; a continuación, se describen los conceptos básicos utilizados en la propagación de ondas.

## 3.2. OBJETIVOS

### GENERAL

Realizar exploración geofísica, mediante ensayos de refracción sobre en el sector de 23 de Junio del municipio de Bucaramanga.

### ESPECÍFICOS

- Adquirir una línea de refracción sísmica para la prospección del subsuelo en el barrio 23 de Junio.
- Analizar la información geofísica, adquirida mediante ensayos de refracción sísmica y análisis multicanal de ondas superficiales – MASW2D, en el municipio de Bucaramanga, departamento de Santander,

### 3.3. LOCALIZACIÓN GENERAL

El proyecto se encuentra localizado en el barrio 23 de Junio en el municipio de Bucaramanga en el departamento de Santander.

**Ilustración 13** Localización geográfica de la refracción sísmica.




Fuente: Localización general del área de Estudio tomada de Google Earth 2025

## EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

### 3.4. LOCALIZACIÓN DE LA LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA

Las coordenadas de las líneas de refracción sísmica se presentan en la tabla 1, en coordenadas geográficas.

Tabla 3. Coordenadas de inicio y fin de la línea de refracción.

| LINEA | COORDENADAS | | | |
|---|---|---|---|---|
| | INICIO | | FIN | |
| | latitud | longitud | latitud | longitud |
| LRS 1 | 7° 7'3.22"N | 73° 8'9.00"O | 7° 7'5.43"N | 73° 8'6.45"O |
| LRS 2 | 7° 6'59.63"N | 73° 8'12.73"O | 7° 7'2.33"N | 73° 8'9.87"O |

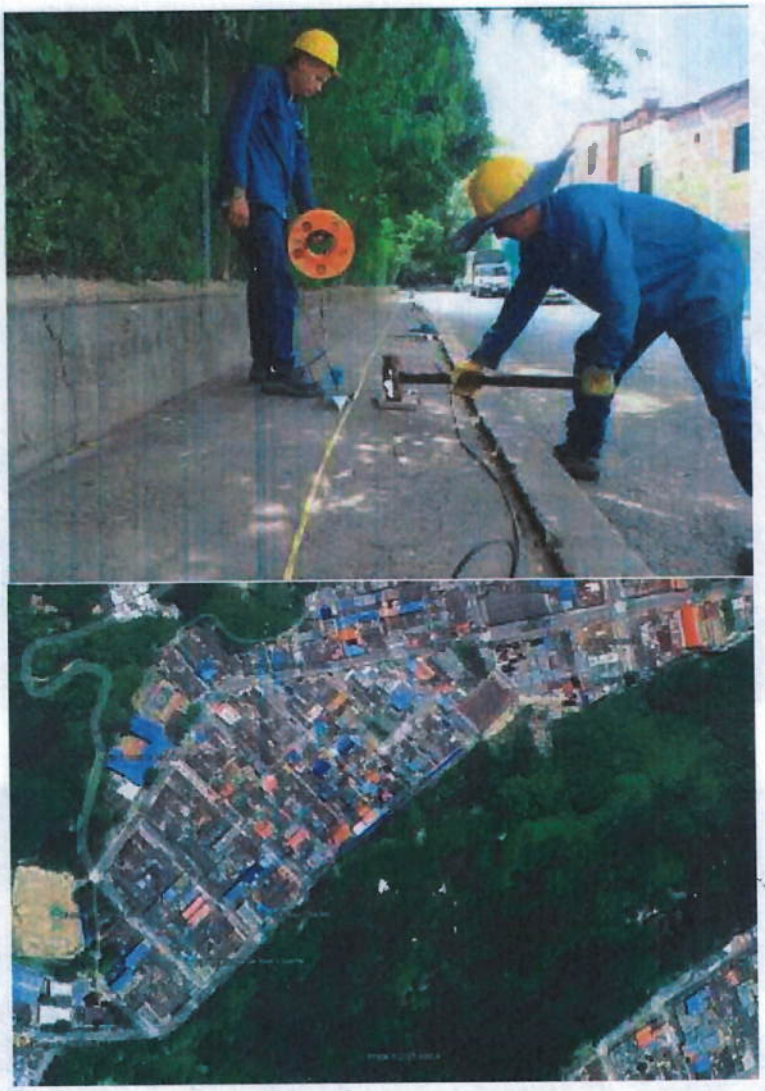
**Ilustración 14** Localización de la unidad central en los diferentes puntos de las líneas de refracción sísmica.





Fuente imagen tomada de Google Earth 2025 y autores.





## EXPLORACIÓN DE CAMPO

### 3.5. EXPLORACIÓN MEDIANTE LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA

El ensayo de refracción se basa en el registro de los frentes de onda, generados por una fuente artificial de energía, leyendo en los registros los tiempos de los primeros arribos. Estos pueden deberse a la onda directa o bien a aquellas ondas que se refractan en el subsuelo con ángulo crítico, viajan por la interfaz con la velocidad del medio infrayacente y retornan hacia la superficie como ondas frontales (head waves).

El instrumental necesario para emplear este método consiste básicamente en alguna fuente de energía (martillo, explosivo, vibrador, cañón de aire, etc.), receptores o sismómetros (geófonos en tierra) y un sismógrafo donde acondiciona, graba y gráfica la información. Los registros tienen información de los movimientos del terreno en función del tiempo y son conocidos como sismogramas. El objetivo es determinar espesores de las capas del subsuelo, sus buzamientos y las velocidades de propagación de las ondas sísmicas en cada una de ellas.

La sísmica se utiliza generalmente para encontrar la profundidad de la roca y para estimar el proceso de excavación de suelos y rocas.

Entre las limitaciones de este método se destaca el contraste entre la facilidad para determinar la velocidad de ondas primarias o de compresión (Vp) en relación con la dificultad para evaluar la velocidad de ondas secundarias o de corte (Vs), además, sólo es posible detectar con confiabilidad estratos con rigidez progresivamente mayores con la profundidad que tengan un contraste de velocidad bien definido.

Adicionalmente para el caso de investigaciones urbanas, el método está limitado por la disponibilidad de zonas descubiertas con suficiente extensión y las limitaciones que producen vibraciones ambientales (ruido) para la adecuada identificación del tiempo de arribo de las señales. La longitud del tendido en superficie está directamente relacionada con el alcance de la exploración en profundidad.

**Parámetros de registro y muestreo de la refracción sísmica**

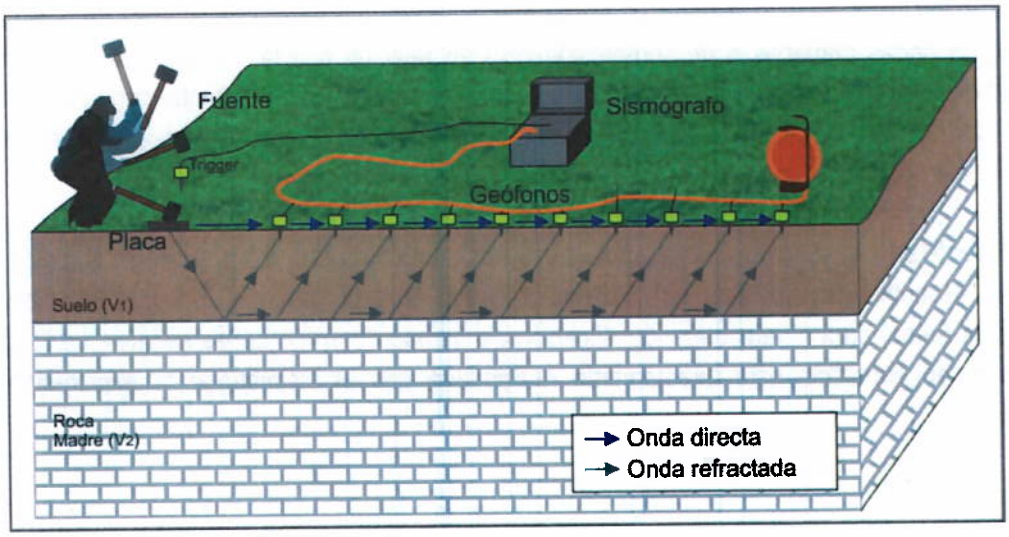
El ensayo de refracción sísmica método de fuente activa, es un método de campo desarrollado para investigación del subsuelo somero lo cual para la fase de adquisición de campo se trabajó con los siguientes parámetros:

Tabla 4. Parámetros de adquisición para refracciones sísmicas.

| Parámetros | Descripción |
|---|---|
| Mediciones | Vp |
| Tamaño de arreglo | 69 metros |
| Arreglo geométrico | Lineal |
| Número total canales | 24 |
| Intervalo entre geófonos | 3 m |
| Tipo de geófono | 10 HZ |
| Ganancia de preamplificación | 24 db |

| | |
|---|---|
| **Filtros** | No |
| **tiempo de muestreo** | 0.125 ms |
| **tiempo de registro** | 0.5 s |
| **Fuente** | Activa |
| **fuente de energía** | porra de 18 lb |
| **Formato de grabación** | Archivo .dat - SEG 2 |

**Ilustración 15** Representación de una adquisición de sísmica de refracción. Se observan las ondas generadas a partir de la fuente de energía (golpe de un martillo).



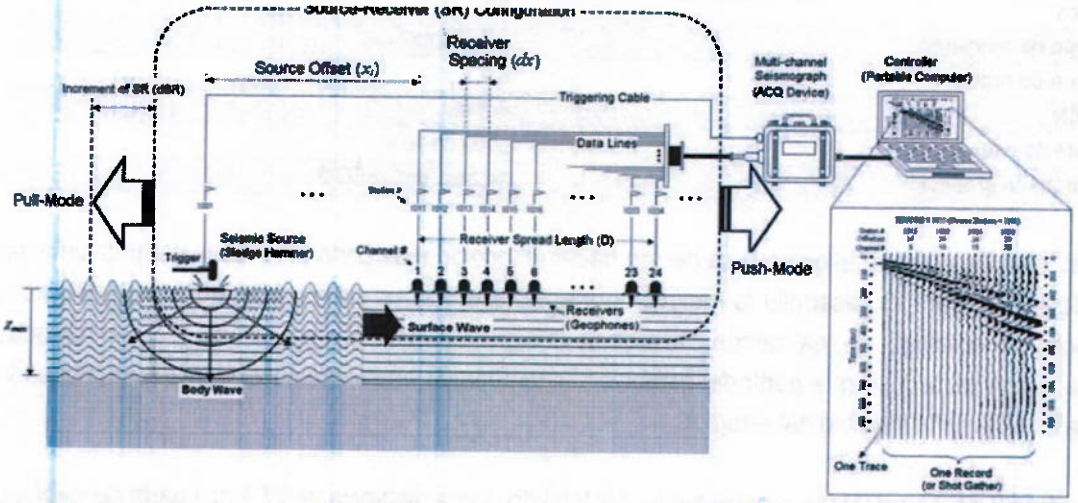

## 3.6. ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES (MASW)

La técnica multicanal de ondas superficiales MASW ha sido desarrollada para optimizar el concepto del método SASW, el cual ha sido aplicado desde los mediados de los años 1980, usando el análisis espectral del ground roll, generado por una fuente impulsiva y grabado por un par de receptores de baja frecuencia (1-4.5 Hz), ubicados a distancia variables entre sí. En cambio, el método MASW utiliza los registros simultáneos de 12 o más receptores en distancias cortas (1-5 m) o largas (50-100 m), energizados por una fuente impulsiva o vibratoria, que proporcionan una redundancia estadística para medir velocidades de fase.

Los datos multicanales muestran un formato de frecuencia variable con el tiempo, además permiten la identificación y rechazo de modos no fundamentales de ondas Rayleigh y otro ruido coherente, elementos que representan las limitaciones del SASW.

La configuración de campo básica y la rutina de adquisición para el MASW generalmente es la misma que se usa en los estudios convencionales refracción y de CMP (Punto Medio Común) con reflexiones de ondas corporales como se muestra en la siguiente figura x. Es un método sólido cuya única limitación, en su forma activa, es representada por la necesidad de una fuente apropiada que, como en el caso de la refracción, garantice la llegada de la señal a los últimos geófonos. Esto claramente limita el largo de los tendidos y por ende la profundidad de investigación. El desarrollo de configuraciones pasivas (especialmente la lineal), ofrece mayor flexibilidad y una parcial solución al problema (Park et al., 1999).

**Ilustración 16** Método sísmico MASW.




Fuente: Linares, 2005.

Si los datos de ondas superficiales son adquiridos en forma de CMP, se puede generar una sección 2D de velocidades de onda S, mediante un mallado en el programa computacional, colocando cada perfil de onda S (Vs versus profundidad) en el medio del tendido del geófono con el cual fue calculado.

El método MASW no sólo provee velocidades precisas de onda S cercanas a la superficie, sino también es la única forma sísmica superficial para obtener información de velocidades de onda S en algunos escenarios geológicos (Xia et al., 2000).

**Parámetros de registro y muestreo**

El ensayo MASW 1D (Análisis multicanal de ondas superficiales), método de fuente activa, es un método de campo desarrollado para investigación del subsuelo somero lo cual para la fase de adquisición de campo se trabajó con los siguientes parámetros:

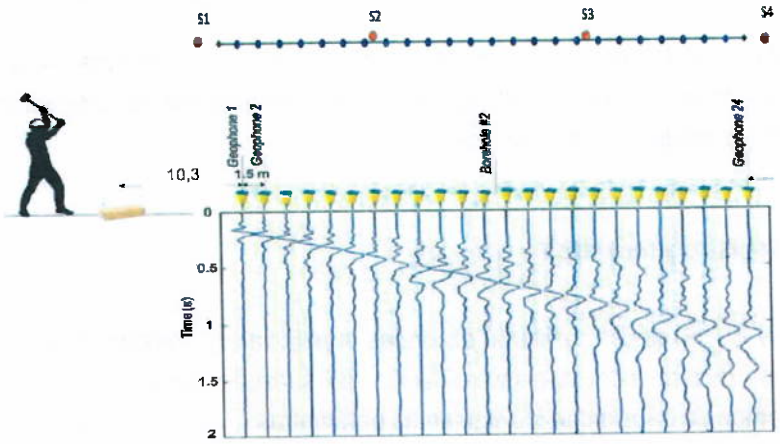
**Tabla 5.** Parámetros de adquisición de masw1D.

| Parámetros | Descripción |
|---|---|
| Mediciones | Velocidad de fase de las ondas Rayleigh |
| Tamaño de arreglo | 69 m |
| Arreglo geométrico | Lineal |
| Número total canales | 24 |
| Intervalo entre geófonos | 3 m |
| Tipo de geófono | 4,5 HZ |
| Ganancia de preamplificación | 24 db |
| Filtros | No |
| tiempo de muestreo | 0.5000 ms |
| tiempo de registro | 2 s |
| Fuente | Activa |
| fuente de energía | porra de 18 lb |
| Formato de grabación | Archivo .dat - SEG 2 |

Por el tema de ruido en el entorno se decido hacer el tendido más corto el fin de mejorar la señal en la adquisición para el desarrollo la metodología establece que se debe hacer mínimo un disparo o impacto, sin embargo, se realizamos disparos de la siguiente manera; Disparos S1 y S4, localizados a una distancia de 13.8 m a partir del geófono 1 y geófono 24 hacia el exterior como se indica en la figura 8 (15% de la longitud del arreglo).

Disparos S2 y S3 localizados la parte media del tendido, a una distancia de 27.4 m a partir del geófono 1 y geófono 24 (30% de la longitud del arreglo).

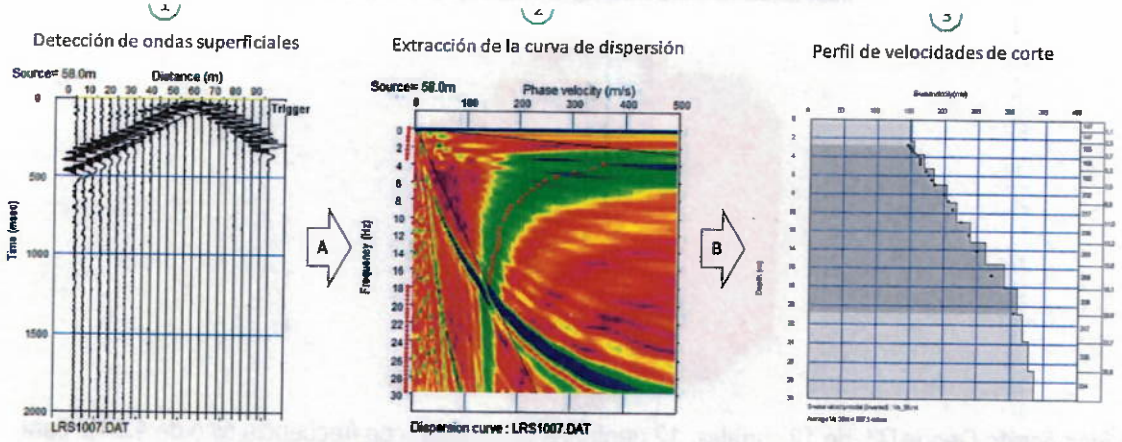
**Ilustración 17** Arreglo lineal ensayo Masw1D con cuatro Stacking en el tendido.




Se utiliza el software SeisImager/SW, el cual permite que se combinen curvas de dispersión activas y pasivas para una mejor resolución a lo largo de todas las profundidades de investigación. El software

SeisImager/SW automáticamente calcula la curva de dispersión e invierte modelos de curva Vs con el mejor ajuste a los datos observados.

**Ilustración 18** Flujo de procesamiento ensayos MASW 1D




A: Transformadas del dominio de tiempo al dominio de las frecuencias.
B: Modelado inverso

## 3.7. TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

El método de tomografía eléctrica (TE) en dos dimensiones es una técnica de investigación de resistividad (res) de áreas con anomalías complejas (resistivas o conductivas), donde los empleos de otras técnicas no permiten obtener información de detalle en 2D a profundidades someras y moderadamente profundas. La Tomografía eléctrica consiste en obtener una serie de medidas de resistividades aparente con un microdispositivo tetraelectródico determinado con una separación constante entre electrodos denominada "a", por lo que (aumentar) las distancias entre los pares de electrodos emisor-receptor por múltiplos de un valor denominado "n", de tal forma que el resultado final será una sección de resistividades aparentes a varios niveles "n" en profundidad. Estos datos necesariamente deben ser tratados por algoritmos matemáticos para llegar a obtener una imagen de res-profundidad verdadera, proceso denominado inversión.

La Tomografía eléctrica tiene por objetivo específico determinar la distribución real de la resistividad del subsuelo en el ámbito comprendido entre dos sondeos o bien hasta un cierto rango de profundidad a lo largo de un perfil de medida, a partir de los valores de resistividad aparente obtenidos mediante medidas realizadas por métodos convencionales de corriente continua.

El resultado obtenido mediante la técnica de Tomografía es una imagen geo eléctrica o sección de alta resolución con una muy buena aproximación del modelo de resistividades y profundidades verdaderas del subsuelo, resultado que puede ser, en la mayoría de los casos, correlacionado y constatado con las observaciones de campo, información geológica, perforaciones, calicatas mecánicas, geoquímica, hidrogeología, edafología, etc.

## 3.8. EQUIPO DE TRABAJO

Sismógrafo GeodeTM, de 12 canales, 12 geófonos o sensores con frecuencia pico de 4.5 Hz

**Ilustración 19** Unidad sismógrafo digital y de tomografía electica.



Un Sismógrafo GeodeTM, de 12 canales, 12 geófonos o sensores con frecuencia pico de 4.5 Hz para MASW y 14 Hz para refracción sísmica, Trigger o sensor inercial de activación, cable multipolar, equipo de cómputo portátil, batería de 12 V, placa metálica y martillo de 20 lbs

## RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación, se presentan los resultados de la línea de refracción sísmica y tablas de correlación para su clasificación e interpretación de resultados.

## 3.9. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS

Conocidas las velocidades de corte (Vs), calculadas las compresionales (Vp) y las densidades (d) de los diferentes estratos que componen el subsuelo (los cuales se pueden obtener de ensayos de laboratorio o a partir de las velocidades compresionales) y dadas las relaciones matemáticas expresadas a continuación es posible calcular.

**Ecuaciones para materiales homogéneos e isotrópicos**

$$V_P = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}G}{\rho}} \qquad V_S = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \qquad K = \frac{E}{3(1-2\nu)} \qquad \nu = \frac{0.5(V_P/V_S)^2 - 1}{(V_P/V_S)^2 - 1}$$

$$E = 3K(1-2\nu) \qquad E = 2G(1+\nu) \qquad G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Donde:
E: Modulo de elasticidad
G: Modulo de rigidez o de corte
K: Modulo volumétrico
v: Coeficiente de Poisson

**Nota: Los módulos estáticos se encuentren a razón del 10 -20% de los módulos dinámicos**

Las anteriores expresiones, Vp es la velocidad compresional en m/seg (Kitsunezaki ,1990), Vs la velocidad de corte en m/seg y d es la densidad o peso un unitario en Ton/cm3 (Ludwig, 1970, Vp=

Km/s; d=g/cm3). Según la teoría elástica, el módulo de elasticidad dinámico **E**, viene dado en función de la velocidad de propagación de ondas longitudinales (Ondas P) y ondas transversales (Ondas S), las ondas longitudinales son siempre más rápidas de las transversales, lo que hace que la detección de estas últimas sea más complicada en campo, y lo que suele hacerse para hallar el **E** es estimar la relación de Poisson como se enunció anteriormente. El módulo dinámico E tiene un valor mayor que el estático, ya que se obtiene para incrementos tensionales pequeños como son los producidos por ondas sísmicas. La relación entre el módulo dinámico y el estático se considera normalmente de 4 (v. Link, 1969; Mayer, 1963), pero el rango puede estar entre 1 y 19.6. (Jiménez Salas, De Justo Alpañes, 1981). El geotecnista encargado del proyecto, deberá escoger que velocidades Vs que considere más convenientes para el diseño, dependiendo de la cantidad de información adicional del suelo que se tenga en el proyecto

## 3.10. CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN NSR-10

De acuerdo con la clasificación de los perfiles de suelo según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, los suelos son clasificados de la siguiente forma:

**Tabla 6.** Clasificación de suelos de acuerdo con la NSR-10. Tabla A.2.4-1 Clasificación de los perfiles de suelo.

**Tabla A.2.4-1**
**Clasificación de los perfiles de suelo**

| Tipo de perfil | Descripción | Definición |
|---|---|---|
| A | Perfil de roca competente | $\bar{v}_s \geq 1500$ m/s |
| B | Perfil de roca de rigidez media | 1500 m/s > $\bar{v}_s \geq 760$ m/s |
| C | 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<br>$\bar{s}_u \geq 100$ kPa (≈1 kgf/cm²) |
| D | 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<br>100 kPa (≈1 kgf/cm²) > $\bar{s}_u \geq 50$ kPa (≈0.5 kgf/cm²) |
| E | 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 **H** mayor de 3 m de arcillas blandas | IP > 20<br>w ≥ 40%<br>50 kPa (≈0.50 kgf/cm²) > $\bar{s}_u$ |
| F | Los perfiles de suelo tipo **F** 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:<br>$F_1$ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.<br>$F_2$ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (**H** > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas)<br>$F_3$ — Arcillas de muy alta plasticidad (**H** > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)<br>$F_4$ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (**H** > 36 m) | |

## 3.11. ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA LÍNEA LRS1

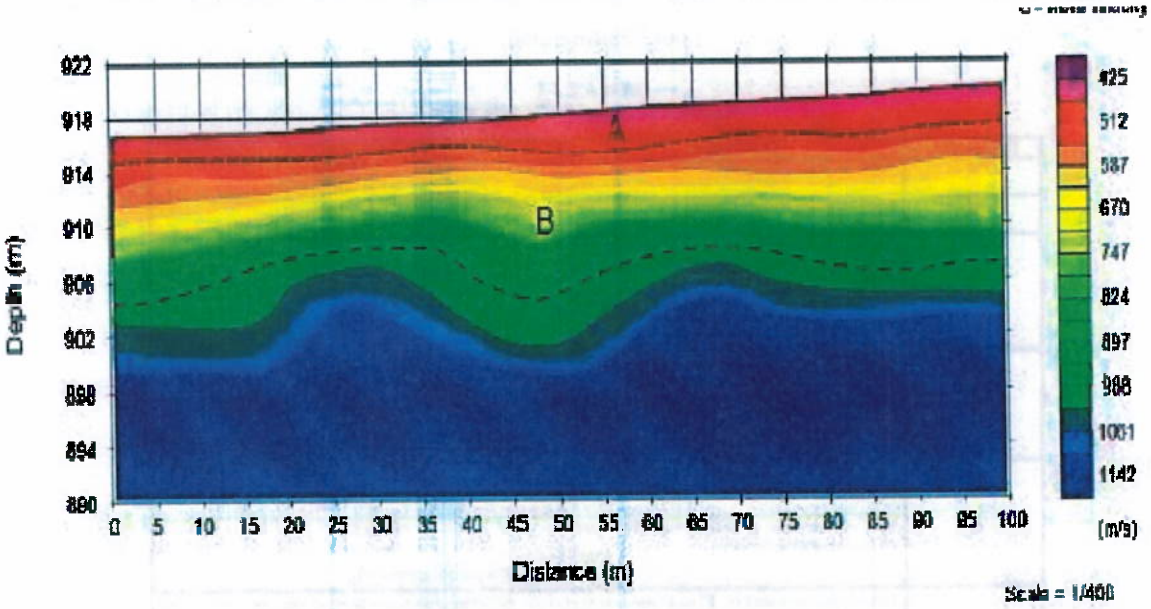
De acuerdo con los resultados de las ondas de corte Vp, en comparación con lo observado en el terreno se tiene:

Una primera capa A superficial de aproximadamente entre 0 a 3.5 metros puede corresponder a Suelo antrópico areno-limoso saturado (Salle) presentando velocidades entre 425 – 587 m/s.

Para la capa B es una capa intermedia con material heterogéneo de gravas, limos arenosos y bloques dispersos con velocidades entre 587 y 988 m/s esta capa presenta Suelo transportado fluviotorrencial gravoso húmedo (Stft) perteneciente a la Formación Bucaramanga-Miembro Gravoso (Qbg) con espesores que varían entre 5 y 10 metros.

Para ultima capa la capas más consolidad puede corresponder a Suelo transportado fluviotorrencial gravoso saturado (Stft) perteneciente a la Formación Bucaramanga-Miembro Gravoso (Qbg) con velocidades > 1061 m/s.

**Ilustración 20** Ensayo de sísmica de refracción No. LRS-1 (Perfil con variación de ondas Vp).




ondas Vp).

Fuente: Autores.

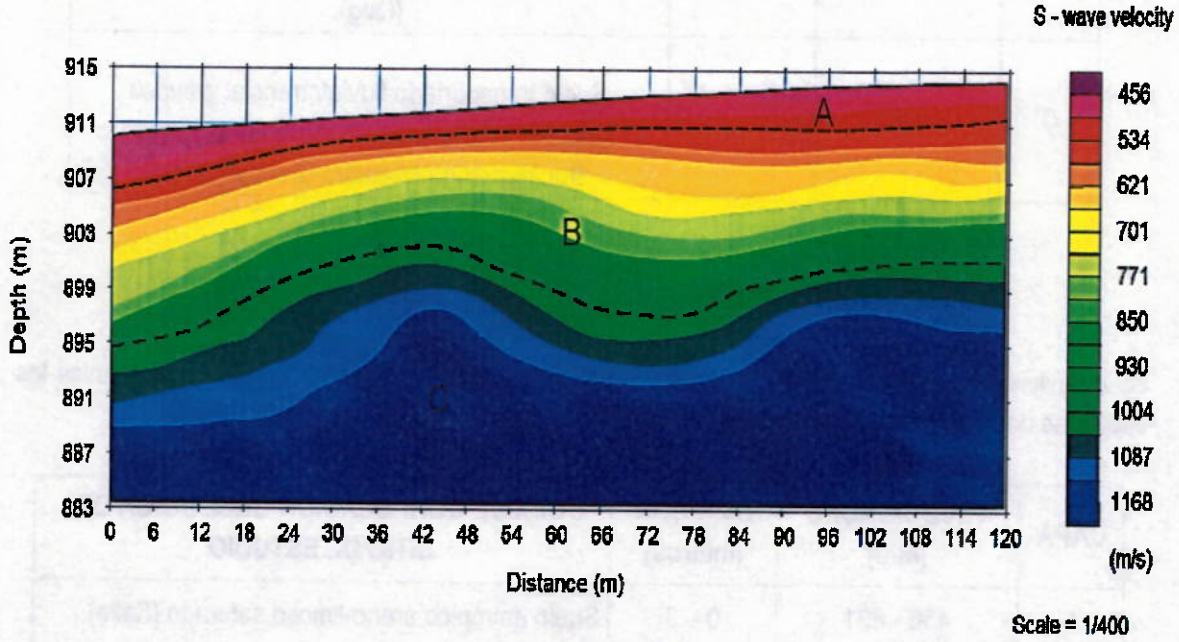
## 3.12. ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA LÍNEA LRS2

De acuerdo con los resultados de las ondas de corte Vp, en comparación con lo observado en el terreno se tiene:

Una primera capa A superficial de aproximadamente entre 0 a 3 metros puede corresponder a Suelo antrópico areno-limoso saturado (Salle) presentando velocidades entre 456 – 621 m/s.
Para la capa B es una capa intermedia con material heterogéneo de gravas, limos arenosos y bloques dispersos con velocidades entre 621 y 930 m/s esta capa presenta Suelo transportado fluviotorrencial gravoso húmedo (Stft) perteneciente a la Formación Bucaramanga-Miembro Gravoso (Qbg) con espesores que varían entre 6 y 12 metros.

Para ultima capa la capas más consolidad puede corresponder a Suelo transportado fluviotorrencial gravoso saturado (Stft) perteneciente a la Formación Bucaramanga-Miembro Gravoso (Qbg) con velocidades > 1087 m/s.

**Ilustración 21** Ensayo de sísmica de refracción No. LRS-2 (Perfil con variación de ondas Vp).




## CONCLUSIONES

De acuerdo con las observaciones de campo y la interpretación de la línea de refracción sísmica se tienen las siguientes conclusiones.

- **LÍNEA SÍSMICA LRS1**

Se obtuvieron los valores de onda de corte Vp a través de la tomografía de refracción sísmica los cuales se correlacionan en la siguiente tabla:

| CAPA | VELOCIDADES (m/s) | ESPESOR (metros) | POSIBLE CORRELACIÓN GEOLOGICA DEL SITIO DE ESTUDIO |
|---|---|---|---|
| A | 425 - 587 | 1 - 4 | Suelo antrópico areno-limoso saturado (Salle) |
| B | 587 - 988 | Superior a 10 | Capa intermedia con Suelo transportado fluviotorrencial gravoso húmedo (Stft) perteneciente a la Formación Bucaramanga-Miembro Gravoso (Qbg). |
| C | >1061 | | Suelo transportado fluviotorrencial gravoso saturado (Stft) perteneciente a la Formación Bucaramanga-Miembro Gravoso (Qbg) |

- **LÍNEA SÍSMICA LRS2**

Se obtuvieron los valores de onda de corte Vp a través de la tomografía de refracción sísmica los cuales se correlacionan en la siguiente tabla:

| CAPA | VELOCIDADES (m/s) | ESPESOR (metros) | POSIBLE CORRELACIÓN GEOLOGICA DEL SITIO DE ESTUDIO |
|---|---|---|---|
| A | 456 - 621 | 0 – 3 | Suelo antrópico areno-limoso saturado (Salle) |
| B | 621 - 930 | 6 – 12 | Capa intermedia con Suelo transportado fluviotorrencial gravoso húmedo (Stft) perteneciente a la Formación Bucaramanga-Miembro Gravoso (Qbg). |
| C | >1087 | | Suelo transportado fluviotorrencial gravoso saturado (Stft) perteneciente a la Formación Bucaramanga-Miembro Gravoso (Qbg) |

# 4. ANALISIS GEOLÓGICO

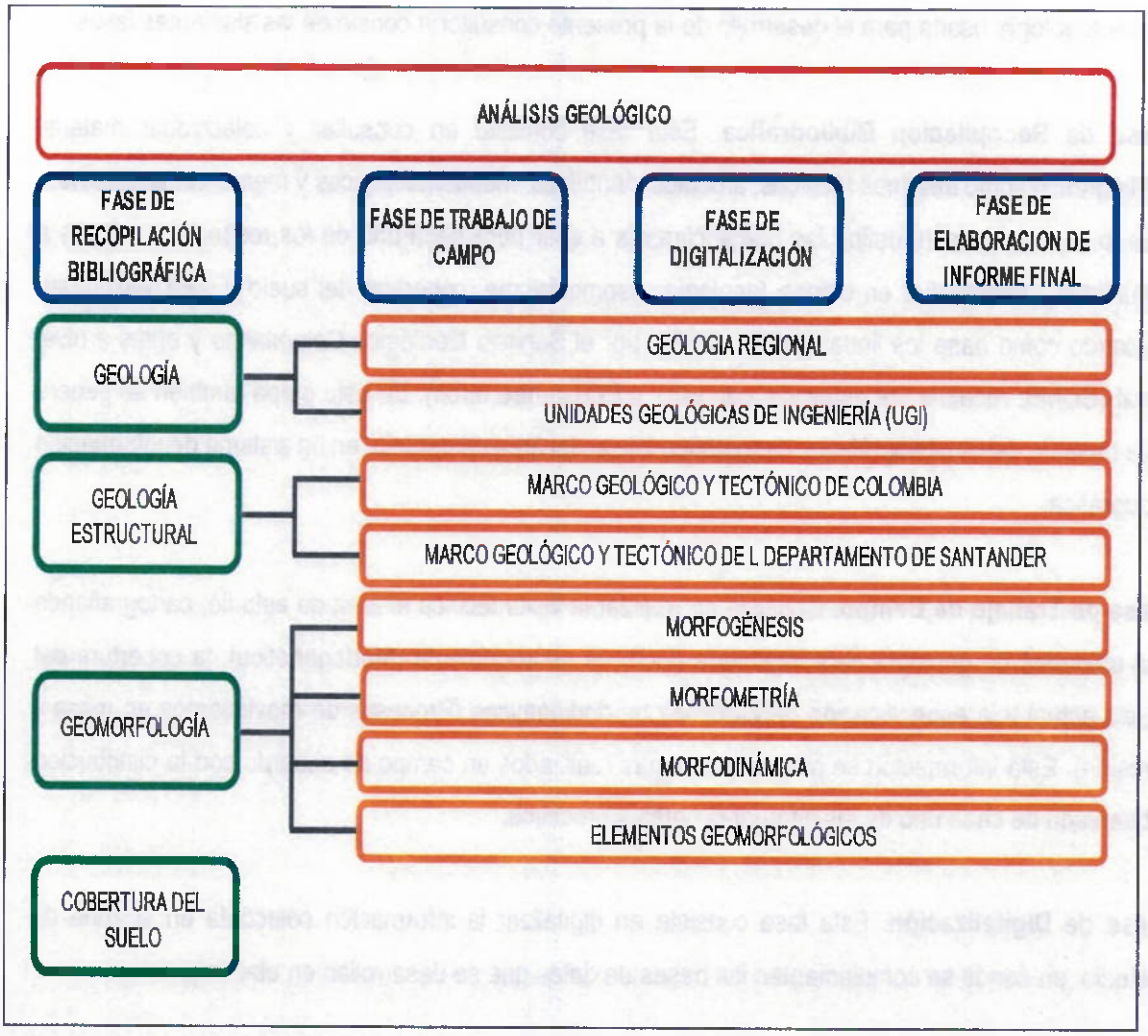



**Tabla 7.** Contendido Geología

## 4.1. METODOLOGÍA

La metodología usada para el desarrollo de la presente consultoría consta de las siguientes fases:

**Fase de Recopilación Bibliográfica.** Esta fase consiste en consultar y seleccionar material bibliográfico como informes técnicos, artículos científicos, mapas geológicos y memorias explicativas, con lo cual se permite definir las nomenclaturas a usar para cada uno de los respectivos mapas a visualizar y cartografiar en campo (geología, geomorfología, cobertura del suelo y deslizamientos), tomando como base los lineamientos usados por el Servicio Geológico Colombiano y entes a nivel local (CDMB, Alcaldía del municipio con EOT y POT, entre otros). En esta etapa también se genera una base de datos bibliográfica y cartográfica inicial del área de estudio, en un sistema de información geográfica.

**Fase de Trabajo de Campo.** Consiste en realizar la visita técnica al área de estudio, cartografiando las unidades de geología para ingeniería (UGI), la geomorfología (Morfogenética), la cobertura del suelo actual y la especificación de procesos morfodinámicos (Procesos de movimientos en masa y erosión). Esta información se plasma en mapas realizados en campo de acuerdo con la distribución observada de cada uno de los diferentes entes y procesos.

**Fase de Digitalización.** Esta fase consiste en digitalizar la información colectada en la zona de estudio, en donde se complementan las bases de datos que se desarrollan en etapas previas.

**Fase de Elaboración de Informe Final.** Consiste en la redacción de un informe técnico detallado donde se explican los principales rasgos geológicos, así como los rasgos geomorfológicos, cobertura del suelo y procesos morfodinámicos.

## 4.2. GEOLOGÍA

Este capítulo describe las características geológicas regionales y las Unidades Geológicas de ingeniería (UGI) a nivel del área de estudio.

Para realizar el análisis geológico se tienen en cuenta primeramente estudios previos regionales y locales, de entidades oficiales y particulares, dentro de las que se encuentran el Servicio Geológico Colombiano (SGC), la Universidad Industrial de Santander (UIS), la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), como también la Alcaldía de Bucaramanga (Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) y Plan de Ordenamiento territorial (POT)), los cuales permiten conocer la información geológica desarrollada en el área a diferentes escalas, permitiendo la revisión preliminar de estudios generales, como también la estandarización y uso de nomenclaturas para el presente estudio.

Geológicamente la zona más importante del área metropolitana (Bucaramanga) se encuentra ubicada dentro de depósitos de terraza y de cono aluvial (Ward et al., 1973) en la denominada Terraza de Bucaramanga, de edad Pleistoceno-Holoceno. De acuerdo con De porta (1959) y Julivert (1963), la parte inferior de la Terraza de Bucaramanga está compuesta de grava, arena, limo y capas menores arcillosas fluviales; mientras la parte superior está compuesta de cantos no calibrados que se interpretan como depósitos coluviales, los cuales adelgazan lejos del frente montañoso.

### 4.2.1. GEOLOGÍA REGIONAL

La zona denominada 23 de Junio, localizada en el sector central de Bucaramanga, se encuentra emplazada sobre los depósitos cuaternarios antiguos (Qtf) que conforman parte de la franja sedimentaria del valle del río de Oro y de las quebradas que atraviesan la ciudad. Este entorno geológico forma parte del sistema de terrazas y abanicos aluviales que bordean la planicie urbana, producto de la interacción entre la dinámica fluvial, los procesos coluviales de ladera y la influencia tectónica del Macizo de Santander (Ward et al., (1973)).

El área pertenece al dominio morfoestructural de la Cordillera Oriental, donde la tectónica compresiva andina ha ejercido un papel determinante en la configuración del relieve y en la acumulación sedimentaria del Cuaternario. La presencia de fallas regionales, como la Falla de Bucaramanga–Santa Marta y otras estructuras menores asociadas al sistema del río de Oro, ha condicionado tanto la orientación de los drenajes como la morfología del valle. Estas estructuras han generado zonas de subsidencia relativa, en las cuales se acumularon los depósitos aluviales y coluviales que hoy conforman el sustrato del sector urbano de Bucaramanga (SGC, 2015).

Durante el Pleistoceno, la dinámica erosivo-depositacional estuvo marcada por episodios alternos de incisión fluvial y sedimentación, asociados a variaciones climáticas y movimientos tectónicos. En estas condiciones se formaron las terrazas y conos de deyección agrupadas en la unidad Qtf, que representan los depósitos más antiguos de la secuencia cuaternaria local. Posteriormente, durante el Holoceno, el río de Oro y sus tributarios establecieron nuevas planicies de inundación (Qal), más jóvenes y restringidas a los cauces actuales, mientras que las terrazas antiguas quedaron parcialmente disectadas o urbanizadas, como ocurre en el sector 23 de Junio (Ward et al., (1973); SGC, 2015).

El relieve de la zona refleja una topografía suavemente ondulada, característica de las superficies de terraza. Estas se desarrollan a cotas intermedias respecto a las planicies activas del río de Oro, mostrando una ligera inclinación hacia el suroeste, que corresponde a la dirección natural del drenaje. Los suelos derivados de estos depósitos son poco profundos, con un alto contenido de materiales arenosos y gravas, reflejando su origen aluvial.

La estabilidad relativa de las terrazas permitió la expansión urbana central de Bucaramanga, asentada principalmente sobre la unidad Qtf, que constituye el principal nivel geomorfológico intermedio entre los depósitos más antiguos y los más recientes (Ward et al., (1973); Diagnóstico territorial de Bucaramanga, 2020).

A nivel regional, el sector 23 de Junio puede considerarse representativo de la evolución cuaternaria del valle interandino de Bucaramanga–Girón, donde las terrazas fluviales registran las oscilaciones en

la energía y capacidad de transporte del sistema fluvial principal. Su disposición y características sedimentológicas permiten inferir un ambiente de acumulación fluvio-coluvial en condiciones de clima variable, bajo la influencia de eventos tectónicos recurrentes propios del borde occidental del Macizo de Santander.

La unidad Qtf (depósitos cuaternarios antiguos de terraza y abanico) constituye la formación dominante en la zona 23 de Junio. Está integrada por conglomerados polimícticos con matriz arenosa, arenas medias a gruesas, limos y niveles de arcilla compacta intercalados. Los componentes clásticos son subangulosos a subredondeados, y su composición incluye fragmentos de cuarzo, feldespato, arenisca, esquisto y gneis, procedentes de la erosión del basamento metamórfico del Macizo de Santander. Esta variabilidad refleja un régimen fluvial con alternancia de fases de alta y baja energía, donde los aportes laterales de ladera se combinaron con los procesos de transporte fluvial principales (Ward et al., (1973)).

Desde el punto de vista deposicional, los sedimentos de Qtf en Bucaramanga se asocian a ambientes de abanico aluvial y terraza fluvial, formados durante periodos de mayor carga sedimentaria y caudales más irregulares. Las condiciones climáticas del Pleistoceno medio y superior favorecieron la incisión del cauce del río de Oro y la posterior acumulación de estos materiales, que fueron estabilizándose a medida que disminuyó la energía del sistema. En los mapas geológicos regionales, la unidad Qtf se reconoce ampliamente en la periferia de Bucaramanga y Floridablanca, conformando los sustratos más antiguos sobre los cuales se desarrolló gran parte del tejido urbano actual (SGC, 2015).

En el caso particular del sector 23 de Junio, la unidad Qtf representa un cuerpo sedimentario consolidado y relativamente continuo, sin evidencias de intercalaciones recientes. Su contacto hacia el suroeste con los aluviones holocenos (Qal) marca una transición gradual hacia zonas de sedimentación más reciente, mientras que hacia el este limita con las colinas bajas del basamento metamórfico. Esta disposición estratigráfica evidencia la superposición de procesos fluviales antiguos y recientes, típicos del valle intramontano de Bucaramanga–Girón (Ward et al., (1973); SGC, 2015).

En conjunto, los depósitos de la unidad Qtf en el sector 23 de Junio representan un registro sedimentario estable, resultado de los procesos de acumulación fluvial y coluvial ocurridos durante las fases intermedias del Cuaternario. Constituyen la base geológica sobre la cual se estructuró la ciudad moderna de Bucaramanga y un testimonio de la evolución geomorfológica y tectónica de su entorno inmediato.

Regionalmente la zona de estudio está relacionada a los bloques tectónicos delimitados por la Falla de Suárez al occidente y la Falla Bucaramanga al Oriente (INGEOMINAS, 2007). A continuación, se describen algunas unidades presentes en esta región, tomando como base el estudio de zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga (2001):

- **Neis de Bucaramanga (p€b):** Definido por Goldsmith (1971), esta unidad está constituida por una secuencia de roca metasedimentaria de alto grado de metamorfismo conformado principalmente por paragneis pelítico, semipelítico y arenáceo, esquistos y neis calcáreo, mármol, neis horbléndico y anfibolita.

  El neis incluye dos tipos de zonas de migmatita, una donde el paragneis está mezclado con roca granítica gnéisica y otra donde ambos están cortados por masas pequeñas de granito no foliado (Ward et al., 1973). Aflora al oriente del área metropolitana de Bucaramanga y se localiza al este de la Falla Bucaramanga (Figura 3). Entre los municipios de Floridablanca y Piedecuesta esta unidad presenta variación en la orientación de la foliación, lo cual indica perturbaciones tectónicas severas. Se encuentra en contacto con intrusivos jurásicos graníticos y se considera de edad precámbrica (Ward et al., 1973).

- **Formación Silgará (pDs):** Nombre propuesto por Ward et al., (1973) para referirse a una secuencia de rocas clásticas metamorfoseadas de estratificación delgada, compuestas por filitas, cuarcitas, esquistos, metareniscas y menores cantidades de pizarra y filita calcárea, cuya sección tipo se localiza en la Quebrada Silgará.

Las relaciones estratigráficas sugieren que esta unidad suprayace al Neis de Bucaramanga e infrayace rocas del Devónico.

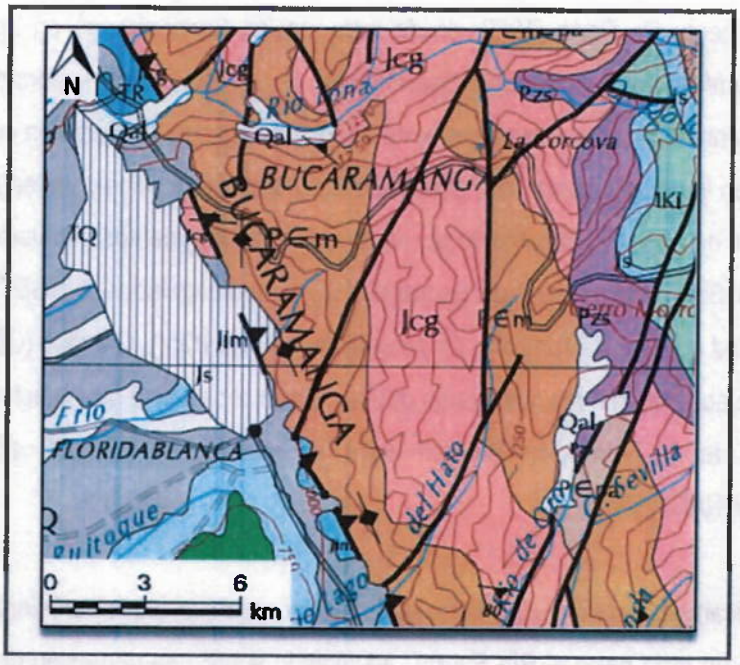



**Ilustración 22** Unidad Neis de Bucaramanga ubicada al este del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 1999).

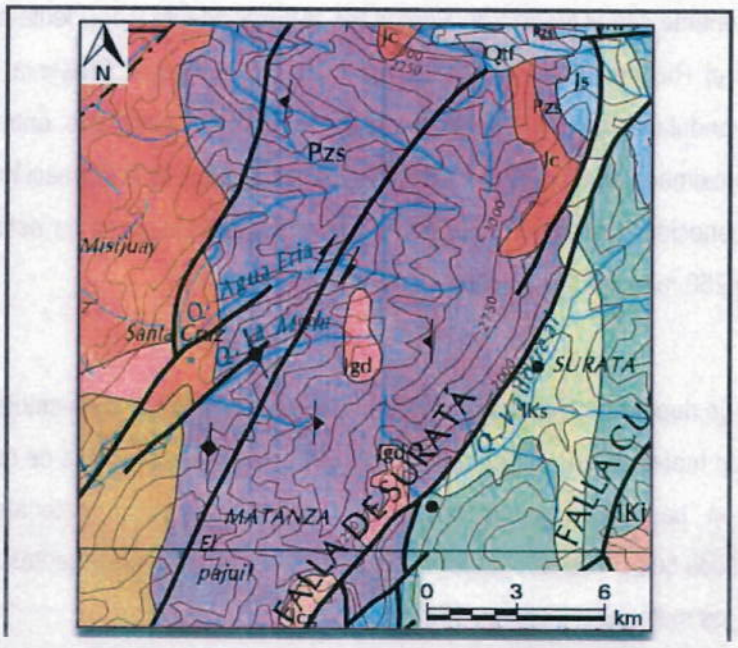



**Ilustración 23** Formación Silgará en los alrededores de Matanza y Suratá. Ubicada al Noreste del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 1999).

- **Formación Bucaramanga:** La Formación Bucaramanga hace parte de los depósitos cuaternarios descritos por Ward et al., (1973). Esta unidad inicialmente fue propuesta por Hubach (1951), quien la subdivide en: Miembro Órganos (Qbo) y Miembro Finos (Qbf). Posteriormente De Porta (1959) divide la formación Bucaramanga en tres paquetes: uno inferior conformado por niveles discontinuos de gravas clasto soportados y con lentes arenosos intercalados con un espesor de 150m; un segundo paquete con un espesor de 18m ubicado en la parte superior, compuesto de sedimentos arcillosos y un tercer paquete de 8 a 15 metros de espesor, constituido por una mezcla de fragmentos angulares gruesos y finos arenosos. Sin embargo, después de trabajos de campo detallados el INGEOMINAS subdivide esta unidad en cuatro miembros: Órganos (Qbo), Finos (Qbf), Gravoso (Qbg) y Limos Rojos (Qblr); de acuerdo con las dataciones publicadas en el proyecto hidroeléctrico Fonce-Suárez, la edad de la Formación Bucaramanga es menor que 730.000 años (Pleistoceno) (INGEOMINAS, 1997).

- Morfológicamente esta unidad corresponde a un abanico aluvial erosionado posiblemente asociado en gran parte al Río Suratá, acumulado sobre una depresión de origen tectónico, sobre la cual se ubica el casco urbano de la ciudad de Bucaramanga. Este abanico limita al nororiente y oriente con el Macizo de Santander, al noroccidente y occidente con el Cerro de Palonegro y el Río de Oro, y al sur con la Mesa de Ruitoque. Presenta una superficie suavemente ondulada, con pendiente ligeramente inclinada al occidente, entre 2° y 7°, y una extensión aproximada de 60 a 80 km². El valor real del espesor de la Formación Bucaramanga es aún desconocido, sin embargo, a partir de cortes geológicos se ha estimado un valor promedio de 250 m en las zonas con mayor espesor.

- El ambiente de deposición de esta unidad ha sido considerado como un ambiente fluvial, con alternancia de materiales de origen aluvial tipo cono de deyección, flujos de escombro, canal y lagunar, en base a la granulometría que presentan dichos materiales, los rasgos geomorfológicos que presenta esta formación, así como los posibles agentes de transporte y la fuente de los materiales (Julivert, 1958).

- A continuación, se describen las características geológicas de cada uno de estos miembros, de acuerdo con la información geológica que se presenta en los estudios del INGEOMINAS (2001).

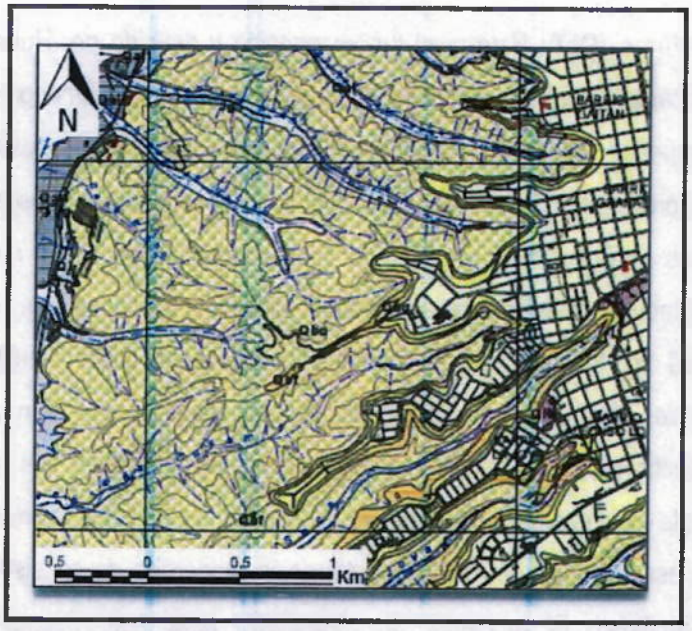



**Ilustración 24** Formación Bucaramanga Miembro Órganos (Qbo), al oeste del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

- **Miembro Órganos (Qbo):** Esta unidad fue definida por Hubach (1951) y presenta un espesor mayor a 180m, siendo este el más potente de la Formación Bucaramanga. Presenta una serie de niveles polimícticos de fragmentos gruesos de aspecto conglomerático, con alternancia de capas y lentes limo arenosos, con variaciones laterales y verticales en composición y textura, según Bueno y Solarte (1994). Los niveles lenticulares descritos por Hubach (1951), algunos son niveles limo-arenosos de hasta 5 m; otros son niveles de aspecto conglomerático que forman los depósitos de gravas y bloques poco consolidados dispuestos en forma de capas gruesas a muy gruesas, con espesores hasta de 15 m. El tamaño de los cantos varía entre 10 y 30 cm, alcanzando bloques mayores de 1 m de diámetro con una composición predominante de areniscas silíceas de grano medio, bien cementadas y en menor proporción fragmentos de rocas ígneas ácidas de textura fanerítica, neises micáceos de color amarillo hasta rosado, areniscas lodosas rojizas de grano fino y alto contenido de micas, cuarzo lechoso, liditas y cherts. Los niveles gravosos presentan matriz arcillosa pardo amarillenta y

los niveles finos presentan material arcillo arenosos y areno arcilloso de consistencia compacta, con trazas de materia orgánica.

- **Miembro Finos (Qbf):** Este nivel fue reconocido y definido por Hubach (1951). Se ubica estratigráficamente entre el nivel inferior de la Formación Bucaramanga (Miembro Órganos) y el nivel superior (Miembro Gravoso) en contactos netos plano- paralelos. Es una capa lenticular horizontal con alternancia de niveles arcillosos, limo-arenosos y areno-limosos, de colores gris verdosos con un espesor promedio de 15m. Estos niveles presentan una geometría tabular de estratificación paralela, cruzada y ondulosa, con espesores que oscilan entre 5 y 40 cm. Hacia la base el Miembro Finos presenta material arcillo-limoso, masivo, de colores grises a verdes, con estratificación plana paralela, con gran variación de espesor. Hacia el techo presenta alternancia entre niveles arenolimosos con niveles limo arenosos arcósicos de colores amarillento a pardo amarillento. Geomorfológicamente se caracteriza por presentar escarpes con un grado de alteración moderada de consistencia plástica para el material arcilloso. El ambiente de deposición para este miembro de la Formación Bucaramanga es un ambiente aluvial de intercanales, poco profundo, de baja energía y de escasas interdigitaciones de flujo de escombros de facies arenosas (INGEOMINAS, 2001).

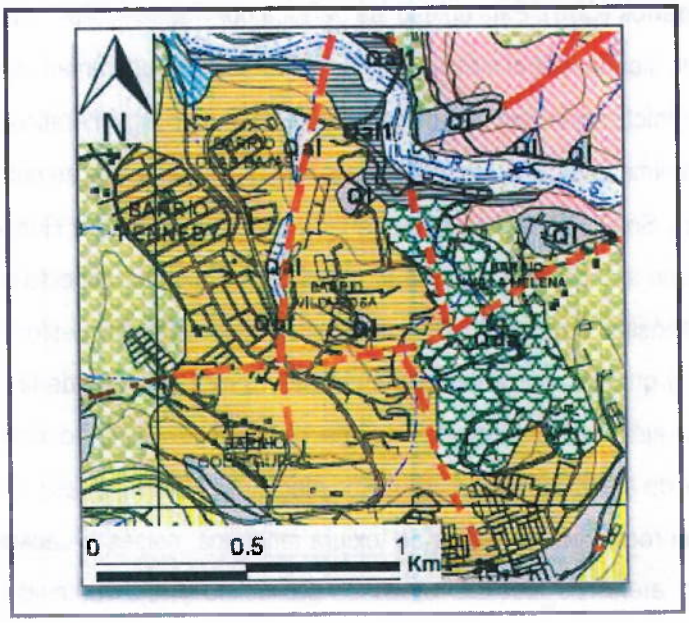



**Ilustración 25** Formación Bucaramanga Miembro Finos, al norte del municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

- **Miembro Gravoso (Qbg):** Definido por Niño y Vargas (1992), se encuentra ubicado sobre la escarpa occidental y norte de Bucaramanga (Figura 6). Conforma los escarpes superiores de la parte alta del barrio La Gran Ladera y el nacimiento de la quebrada La Iglesia, en los alrededores de los barrios Lagos del Cacique, Diamante II y San Luis. Presenta un espesor que varía entre 8 y 30 m. presentando niveles gravosos, gravo arenosos y gravo lodosos. Los cantos están compuestos por rocas metamórficas e ígneas y sedimentarias tales como areniscas cuarzosas, areniscas limosas y limolitas moradas. El tamaño grava presenta un diámetro promedio de 15 cm, y predomina sobre bloques de rocas de hasta 80 cm de diámetro. A modo general el Miembro Gravoso es matriz soportado, presentando en sitios puntuales, material clasto soportado. Se encuentra suprayaciendo el Miembro Finos presentando contacto neto, continuo y suavemente onduloso. Infrayace el Miembro Limos Rojos en contacto gradacional (Niño y Vargas, 1992).

  Geomorfológicamente es similar al Miembro Órganos en los sectores de los valles de las quebradas. En la parte sur de la Quebrada la Iglesia, su morfología se caracteriza por presentar colinas suaves onduladas y laderas alargadas con un drenaje dendrítico. Estos depósitos presentan un grado de meteorización medio a alto, siendo la parte superficial de este miembro poco compacta y altamente permeable. Su ambiente de deposición es de flujo de escombros (INGEOMINAS, 2001).

- **Miembro Limos Rojos (Qblr):** Nivel definido por Julivert (1963). Se encuentra localizado de forma no uniforme en el sector urbano de Bucaramanga y continúa hacia el sur, hasta el sector norte del municipio de Floridablanca.

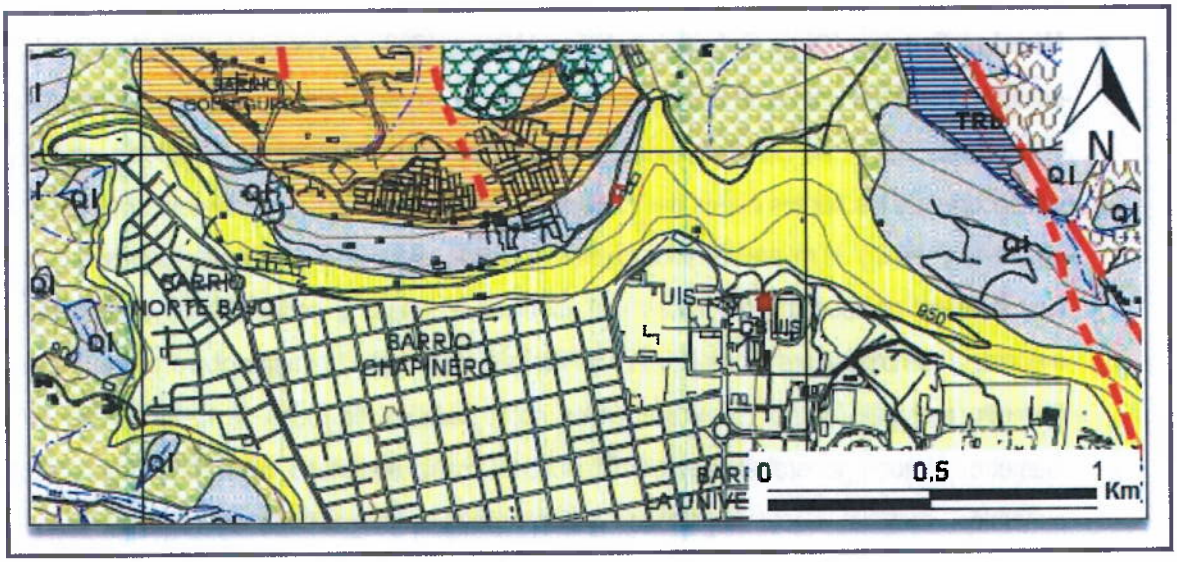



**Ilustración 26** Formación Bucaramanga Miembro Gravoso, al norte del municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

Presenta arenas arcillosas gravosas y limos de colores rojizos, amarillentos y naranjas. En algunos sectores se aprecian bloques angulares de arenisca meteorizados, embebidos dentro de limos rojos y se asocian superficialmente a este miembro. Este depósito se encuentra suprayaciendo el Miembro Gravoso en contacto gradacional.

La parte más superficial de este miembro presenta un alto grado de meteorización formando niveles de oxidación (INGEOMINAS, 2001). Geomorfológicamente se caracteriza por constituir la parte superficial de la llamada inicialmente "Meseta de Bucaramanga", presentando una topografía plana con pendientes menores al 7%, de drenaje escaso, paralelo y superficial (Niño y Vargas, 1992)




**Ilustración 27** Formación Bucaramanga Miembro Limos Rojos (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

En la siguiente figura se muestra de manera esquemática el perfil del subsuelo correspondiente a la Formación Bucaramanga.

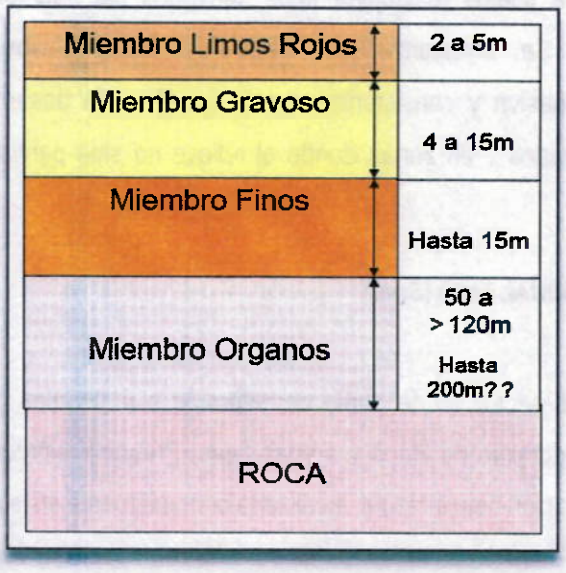



**Ilustración 28** Perfil típico y espesores promedio de la Formación Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

### 4.2.2. UNIDADES GEOLÓGICAS DE INGENIERÍA (UGI)

La caracterización geológica se apoya en la delimitación de Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) (SGC - UNAL, 2016), las cuales permiten agrupar sectores con materiales que presentan comportamiento mecánico y origen geológico similares. Estas unidades constituyen el insumo principal para la evaluación del terreno, ya que facilitan distinguir entre suelos y rocas, reconocer espesores significativos de suelo residual o transportado, y establecer las condiciones estructurales y de meteorización del macizo rocoso.

En el sector 23 de Junio predominan suelos residuales y gravosos asociados a depósitos cuaternarios, que conforman la mayor parte del talud y condicionan su estabilidad. De manera puntual se presentan suelos aluviales de cauce activo y coluviones recientes en el pie de ladera, caracterizados por baja cohesión y alta susceptibilidad a erosión y remoción superficial. Los suelos residuales finos y limos rojos ocupan sectores más estables, aunque su comportamiento se ve afectado por la pendiente y forma del relieve.

- **4.2.2.1 SUELO RESIDUAL DEL MIEMBRO LIMOS ROJOS (Sraml)**

Esta unidad corresponde a suelos residuales finos derivados del miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga. Se caracteriza por materiales limo-arcillosos, con alto grado de meteorización, estructura masiva y consistencia media a baja. Se desarrolla principalmente en sectores suavemente inclinados y en zonas donde el relieve ha sido parcialmente modificado por actividades antrópicas.

- **4.2.2.2 SUELO RESIDUAL FINO (Srmf)**

El suelo residual fino en el sector 23 de Junio corresponde a materiales derivados de depósitos cuaternarios finos, con predominio de limos y arenas finas. Presenta estructura poco desarrollada, porosidad media y compactación baja a media, localizada principalmente en la parte media de la ladera y en sectores de transición entre áreas urbanizadas y zonas con cobertura vegetal.

### 4.2.2.3 SUELOS ALUVIALES DE CAUCE ACTIVO (Saca)

Esta unidad corresponde a depósitos recientes asociados al cauce activo y zonas de influencia directa de la quebrada Seca. Está conformada por materiales heterogéneos de origen aluvial, con mezcla de gravas, arenas y limos. Su presencia dentro del sector 23 de Junio es puntual y se concentra en el fondo de la ladera.

- **4.2.2.4 SUELO RESIDUAL GRAVOSO (Srg)**

En el área de estudio el suelo residual gravoso está compuesto por gravas y cantos subangulosos a subredondeados, inmersos en una matriz arenosa a limo-arenosa, producto de la meteorización de depósitos cuaternarios gravosos.

Esta unidad domina gran parte del talud del sector 23 de Junio y coincide con zonas de mayor pendiente. Es altamente susceptible a caída y desprendimientos de clastos, especialmente donde el terreno ha sido intervenido por cortes o donde se concentra la escorrentía superficial. Corresponde a la unidad de mayor extensión, con un área aproximada de 3,59 ha.

- **4.2.2.5 SUELOS COLUVIALES RECIENTES (Scr)**

Esta unidad corresponde a acumulaciones de material coluvial reciente en la parte baja del talud, compuesta por una mezcla heterogénea de fragmentos gravosos, bloques, arenas y limos, sin estratificación definida, producto del transporte gravitacional desde las partes altas de la ladera.

| CÓDIGO UGI | UNIDAD GEOLÓGICA PARA INGENIERÍA UGI | ÁREA HECTÁREAS |
|---|---|---|
| Sraml | 1,737925176 | 1,74 |
| Srmf | 2,217408884 | 2,22 |
| Saca | 1,424645866 | 1,42 |
| Srg | 3,587567975 | 3,59 |
| Scr | 0,448622237 | 0,45 |

Tabla 8. Clasificación de las unidades geológicas para ingeniería. Sector 23 de Junio

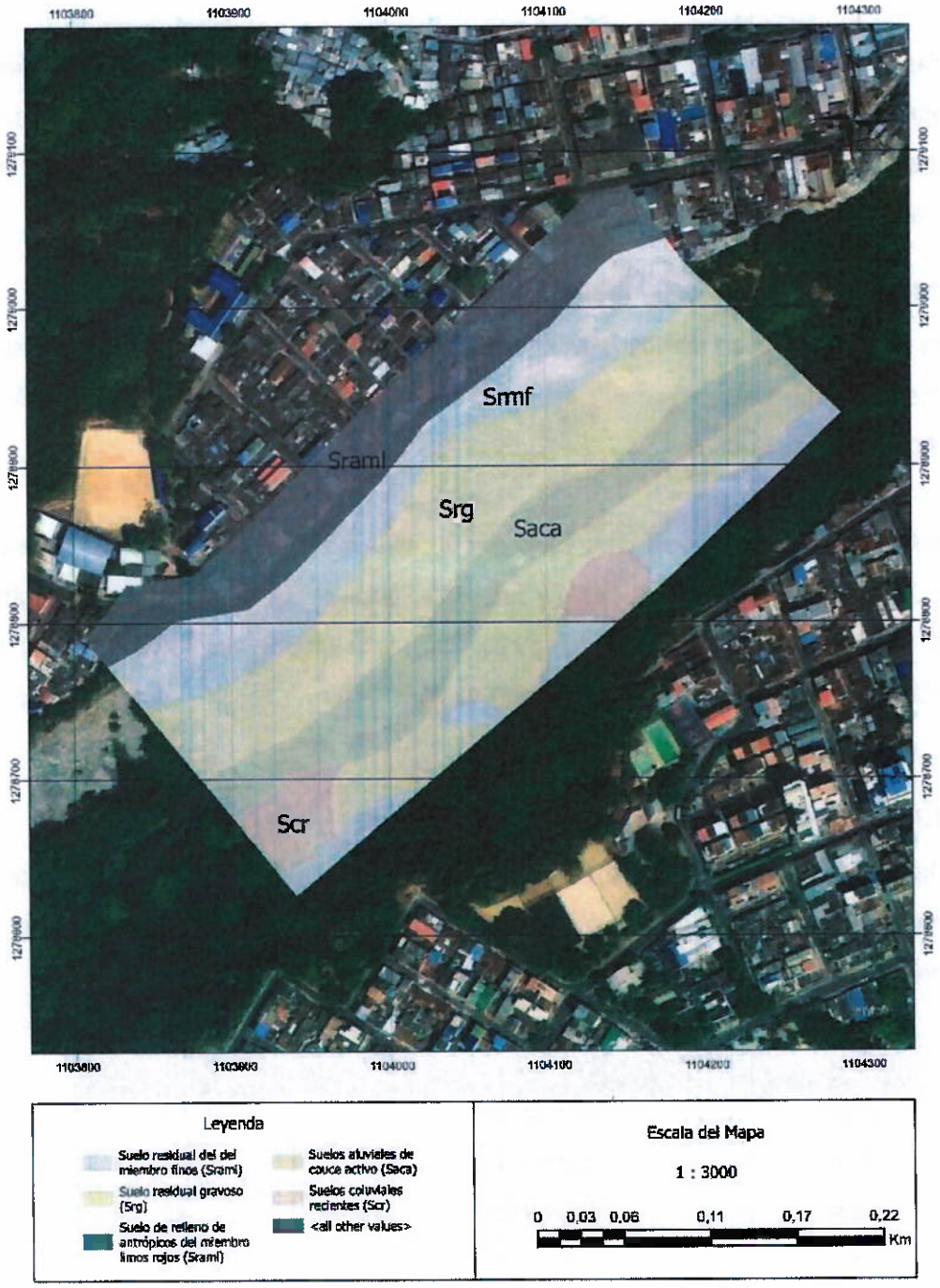



Ilustración 29. Mapa de unidades geológicas para ingeniería UGI, sector 23 de Junio.

## 4.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

### 4.3.1. MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO DE COLOMBIA

Colombia se ubica en la convergencia activa de las placas de Nazca, Caribe y Sudamericana (con influencia del bloque Panamá–Chocó). La placa de Nazca avanza hacia el este (~54 mm/año) y subduce bajo Suramérica, provocando el levantamiento de los Andes y formando las Cordilleras Occidental y Central como arcos volcánicos activos. En cambio, la placa del Caribe se acerca de manera oblicua (≈15 mm/año) por el norte de Colombia, generando fallas de cizalla izquierda de larga extensión (por ejemplo, el sistema Santa Marta–Bucaramanga). Esta dinámica ha dado lugar al denominado Bloque Norte de los Andes, con una compleja red de fallas transversales e inversas que reparte la deformación continental.

El resultado son tres cadenas montañosas principales geológicamente distintas. La Cordillera Occidental y la Cordillera Central son arcos magmáticos meso-cenozoicos (parte del Cinturón de Fuego del Pacífico) asociados directamente a la subducción de Nazca. En cambio, la Cordillera Oriental es un relieve intracontinental plegado, elevado principalmente en el Terciario tardío. Esta cordillera descansa sobre el escudo precámbrico de Guayana (rocas cristalinas de más de 1.300 millones de años) que sirvió como plataforma estable para la sedimentación paleozoica. Sobre dicho basamento se depositaron sedimentos miogeosinclinales (formaciones fluviales y marinas del Paleozoico inferior) que luego fueron plegados y cabalgados durante la orogenia andina terciaria. Como señala Irving (1971), estas tres ramas cordilleranas del norte de Colombia "son geológicamente distintas y se originaron en diferentes épocas".

Además de las cordilleras, en el extremo norte se destaca la Sierra Nevada de Santa Marta, elevada por la colisión oblicua del Caribe, y hacia el este existen cuencas sedimentarias propias de la placa Suramericana (por ejemplo, los Llanos Orientales y la cuenca del Amazonas). En conjunto, el marco tectónico de Colombia es fruto de la continua colisión de placas oceánicas contra el continente, con subducción de Nazca (levantamiento andino) y empuje oblicuo del Caribe (fallas transversales). Este

proceso ha formado las cordilleras andinas y otras estructuras mayores (fosas tectónicas, fallas principales) que siguen activas hoy en día.

### 4.3.2. MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER

Santander se encuentra principalmente sobre la Cordillera Oriental, dominada por el Macizo de Santander, un bloque montañoso intraplaca de origen paleozoico. En el núcleo del macizo aflora un basamento ígneo-metamórfico muy antiguo: gneises, migmatitas y esquistos de alto grado (la llamada Formación Bucaramanga) de edad Precámbrico-Paleozoico. Estas rocas cristalinas constituyen la parte más rígida y elevada del departamento. Asociados a ellas hay plutones graníticos jurásicos (el Grupo Plutónico de Santander), prueba de un pulso magmático mesozoico durante la apertura de las cuencas.

Alrededor del núcleo metamórfico central afloran secuencias sedimentarias paleozoicas. La Formación Silgará (Ordovícico–Silúrico) consta de filitas, esquistos y mármoles de bajo a medio grado de metamorfismo; fue depósito de un mar antiguo en el borde de la plataforma cratónica. Por encima se ubica la Formación Floresta

(Devónico medio), compuesta de lutitas y calizas fosilíferas de bajo grado metamórfico. Estas rocas sugieren un ambiente marino profundo en el Paleozoico. Al final del Paleozoico, depósitos calizos carbonífero-permicos (Formación Diamante) completan la secuencia antes de un hiato de levantamiento.

En el Mesozoico inferior la región sufrió tectónica extensiva: se formaron grabens donde se depositaron los conglomerados y areniscas rojas triásicas de las Formaciones Jordán y Girón. Luego, en el Cretácico la mayor parte del macizo quedó emergido y erosionado, pero en las cuencas marginales colindantes entró un mar somero. En el valle del Magdalena se acumularon sedimentos cretácicos marinos: arenas cuarzosas (Formación Tambor), calizas fosilíferas (Formación Rosa Blanca) y espesos niveles de lutitas orgánicas (Formaciones Paja, Tablazo, Simití, La Luna, Umir). Estos depósitos marinos cretácicos afloran en los flancos del Macizo de Santander, indicando la amplia

transgresión que cubrió la región. En resumen, el basamento antiguo del macizo fue recubierto lateralmente por arenas, calizas y lutitas del Cretácico.

Con la orogenia andina terciaria se invirtió esta geometría: el Macizo de Santander se alzó como un bloque rígido y sus flancos fueron plegados e invertidos. En particular, la Falla de Bucaramanga (rumbo NNW) es la estructura más importante: marca el límite occidental del macizo y presenta un desplazamiento horizontal (sinestral) seguido de un fuerte levantamiento diferencial hacia el este. Al este del macizo, la falla regional de Servitá delimita cuencas sedimentarias internas (de edad Devónico a Cretácico) que también sufrieron cabalgamientos. Otras fallas menores (por ejemplo, la Falla de Salinas) cortan el triásico y cretácico del oeste, controlando la forma de mesetas y valles internos.

El resultado tectónico actual es un relieve de «horst y graben»: un bloque central alto (el Macizo) rodeado de depresiones y valles rellenos con sedimentos cenozoicos. La erosión en el Pleistoceno también es notoria: se han identificado vestigios de glaciaciones alpinas en las cumbres y amplias terrazas fluviales en los valles. En conjunto, la geología estructural de Santander refleja un viejo basamento metamórfico levantado por fallas andinas y esculpido por la erosión reciente, dando al departamento su relieve abrupto y montaña escarpada característica.

# 5. GEOMORFOLOGÍA

## 5.1. MORFOGÉNESIS

La morfogénesis del sector 23 de Junio está asociada a la evolución de una ladera de origen denudacional, desarrollada sobre depósitos cuaternarios y posteriormente modificada por la acción combinada de procesos gravitacionales y fluviales. El modelado del relieve responde principalmente a la remoción progresiva de materiales superficiales, favorecida por pendientes moderadas a muy abruptas y por la concentración de escorrentía hacia el drenaje principal del sector

En la parte media y baja del talud, los procesos denudacionales han generado la acumulación de depósitos coluviales recientes, producto del transporte gravitacional de materiales desde las zonas más altas. De igual forma la dinámica fluvial ha intervenido en el fondo de la ladera, dando origen al cauce aluvial activo y a superficies de terraza, que representan episodios de sedimentación y reajuste del drenaje.

## 5.2. MORFOMETRÍA

El análisis morfométrico en este estudio busca comprender cómo la forma del relieve condiciona la estabilidad local. Este enfoque se basa en el uso de tres parámetros ampliamente aceptados en geomorfometría: la pendiente la rugosidad y la curvatura del terreno, que según Wood (1996) y Pike et al. (2009), describen de manera efectiva cómo se organiza el terreno y cómo se distribuyen los procesos superficiales.

### 5.2.1. PENDIENTE

El relieve del sector 23 de Junio muestra un contraste marcado entre zonas de pendiente baja en los bordes y un parte central de ladera con pendientes medias a altas. En los márgenes se reconocen superficies planas a suavemente inclinadas y zonas inclinadas, asociadas a áreas de transición y pequeñas plataformas urbanas. Hacia el interior domina una ladera continua con pendientes moderadamente abruptas y abruptas, que representan la mayor parte del talud y controlan la dirección del escurrimiento superficial.

Asi mismo se presentan algunos sectores con pendientes muy abruptas y sectores escarpados, principalmente asociados a los cambios bruscos de relieve. Estas pendientes altas son las más sensibles a procesos de inestabilidad superficial, cuando se combinan con intervención antrópica y concentración de aguas lluvias.

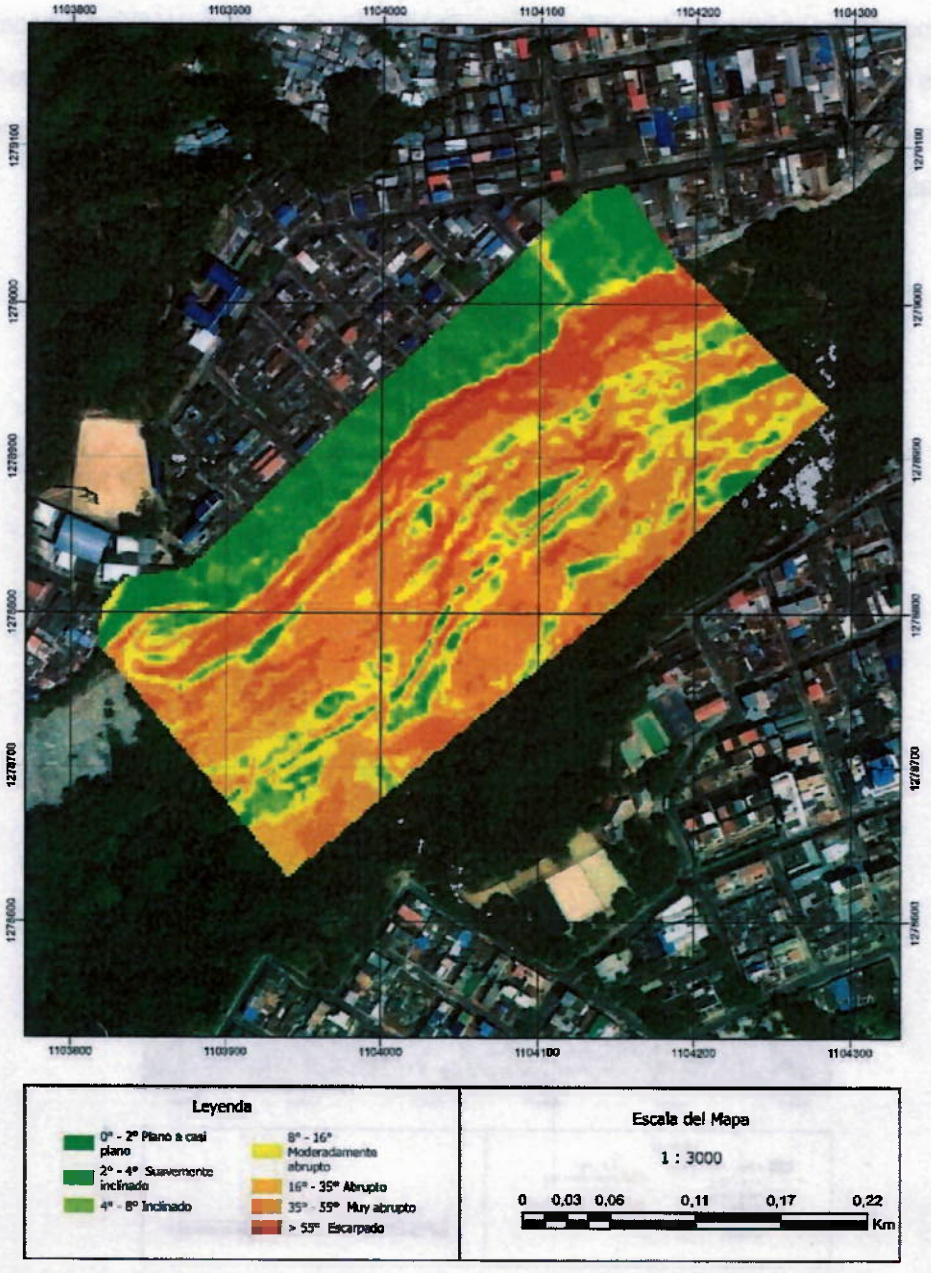



Ilustración 30. Mapa de pendientes del sector 23 de Junio

### 5.2.2. CURVATURA

El análisis de la curvatura del terreno en el sector 23 de Junio evidencia un predominio de superficies planas a semiplanas, que corresponden a zonas de transición y a áreas parcialmente intervenidas por la urbanización. Estas superficies se distribuyen de forma continua a lo largo del talud y reflejan sectores donde la escorrentía tiende a dispersarse. Se identifican curvaturas cóncavas moderadas, relacionadas con los drenajes del sector y surcos incipientes, donde se concentra el flujo superficial y se favorecen procesos de erosión y acumulación de humedad. En contraste, las curvaturas convexas, indican zonas de mayor exposición, pérdida de material y potencial inestabilidad superficial.

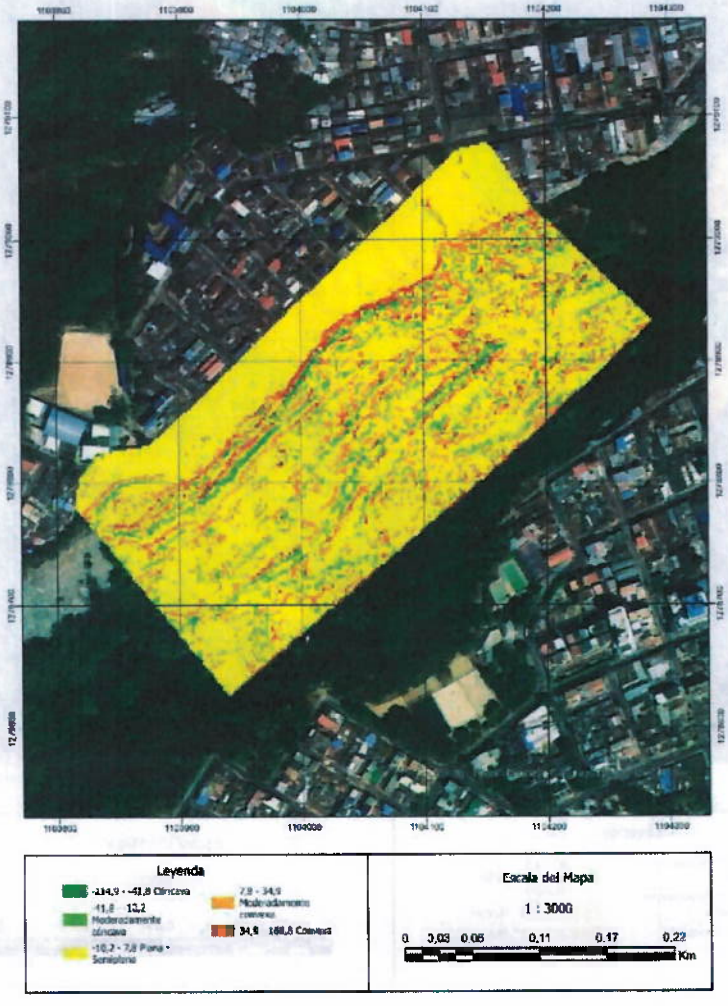



Ilustración 31. Mapa de curvatura del terreno, sector 23 de Junio

### 5.2.3. RUGOSIDAD

El análisis de la rugosidad del terreno en el sector 23 de Junio muestra un predominio de rugosidad baja a moderada, asociada a laderas, con cobertura vegetal y superficies estabilizadas por la ocupación urbana. Estas zonas reflejan un relieve suavizado, donde la variación de la pendientes es menor, sin claras manifestaciones de procesos superficiales.

Se identifican puntualmente 3 sectores con rugosidad alta a muy alta, principalmente sobre eje central del talud y con sectores donde se concentran surcos y escorrentía superficial. Estas áreas evidencian una mayor irregularidad del terreno, producto de procesos erosivos activos y modificaciones antrópicas.

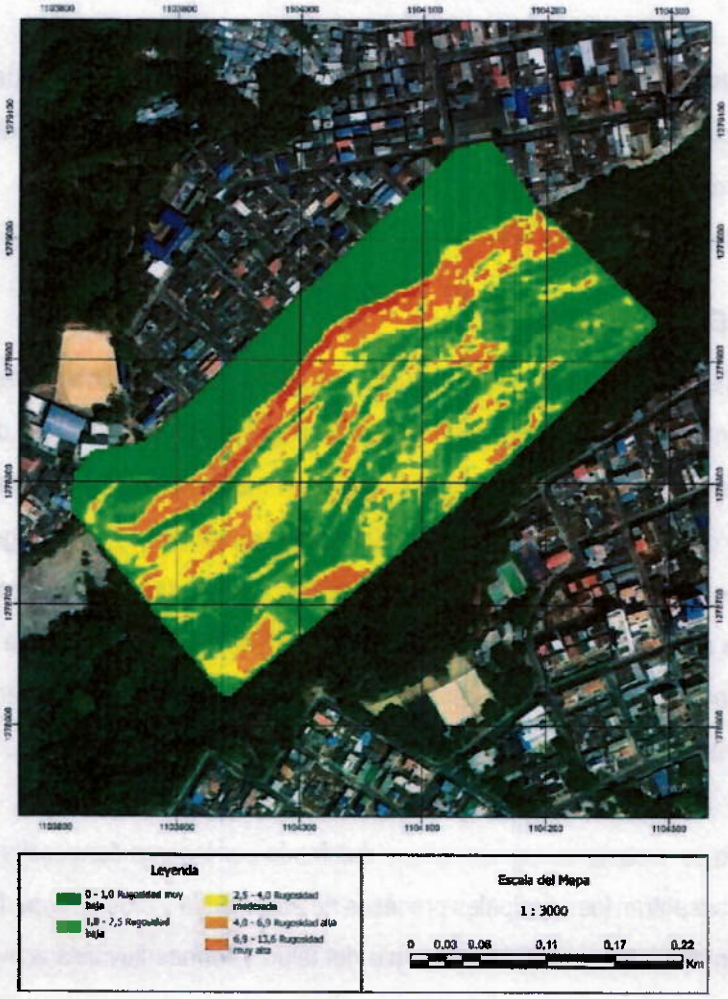



Ilustración 32. Mapa de rugosidad del terreno, sector 23 de Junio

## 5.3. MORFODINÁMICA

La morfodinámica del sector 23 de Junio está condicionada por la relación entre la pendiente de las laderas, la escorrentía superficial y la intervención antrópica. En las laderas denudacionales abruptas y muy abruptas predominan procesos de lavado superficial, erosión laminar y formación de surcos, asociados a la concentración de aguas lluvias y a la baja cohesión de los materiales superficiales.

En los sectores de mayor pendiente y rugosidad se presentan desprendimientos puntuales y movimientos superficiales de suelo, especialmente en áreas afectadas por cortes antrópicos, senderos informales y pérdida de cobertura vegetal. Estas zonas actúan como fuentes de material que es transportado por gravedad hacia las partes bajas del talud.

Hacia el fondo de la ladera, la dinámica se concentra en el cauce aluvial activo, donde se desarrollan procesos de socavación, transporte y deposición de sedimentos, con acumulación de materiales en terrazas y depósitos coluviales adyacentes.

## 5.4. ELEMENTOS GEOMORFOLOGICOS

Para la escala detallada empleada en este estudio, los elementos geomorfológicos constituyen la unidad básica de análisis, ya que permiten reconocer con precisión las formas del terreno, sus variaciones morfométricas y los microrelieves asociados a condiciones litológicas y procesos locales. Este enfoque facilita diferenciar rasgos puntuales dentro de una misma subunidad geomorfológica y entender cómo responden a los procesos que los modelan. La clasificación y descripción de estos elementos se realiza siguiendo los lineamientos de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia (Carvajal, 2011), con el fin de caracterizar cada geoforma según su origen, configuración, dimensiones y dinámica actual.

El sector 23 de Junio se caracteriza por un relieve dominado por laderas denudacionales abruptas y muy abruptas, que concentran los principales procesos de escorrentía y erosión superficial. De manera puntual se presentan depósitos coluviales en el pie del talud y formas fluviales activas asociadas al cauce y sus terrazas.

### 5.4.1. GEOFORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL

- **5.4.1.1 LADERA DENUDACIONAL ABRUPTA (Dla)**

En el áera de estudio corresponde al elemento geomorfológico con mayor porcentaje de área desarrollado a lo largo de la zona central del talud. Se caracteriza por pendientes fuertes, relieve irregular y superficies modeladas por procesos de remoción superficial y escorrentía concentrada. Estas laderas constituyen el soporte principal de la ocupación urbana en el sector y presentan suelos residuales y coluviales con diferentes grados de intervención antrópica, así mismo se evidencian surcos y variaciones de pendiente.

- **5.4.1.2 LADERA DENUDACIONAL MUY ABRUPTA (Dlma)**

Esta unidad se localiza principalmente en sectores donde el talud presenta pendientes muy pronunciadas y un relieve más abrupto, asociado a zonas de transición entre la parte alta urbanizada y las laderas que desembocan en el cauce principal. Se caracteriza por una alta rugosidad del terreno y mayor exposición de los materiales superficiales.

Las laderas denudacionales muy abruptas concentran procesos de erosión, desprendimientos y desprendimientos de material, especialmente en los sectores que presentan límites con superficies antrópicas.

- **5.4.1.3 LADERAS DENUDACIONALES INCLINADAS (Dli)**

En el sector estos elementos se relacionan con superficies de pendiente moderada que se desarrollan hacia los bordes laterales del sector, actuando como zonas de transición entre áreas más estables y laderas abruptas. Presentan un relieve más regular y menor energía del terreno, lo que favorece una escorrentía más difusa.

### 5.4.1. GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL

- **5.4.3.1 CAUCE ALUVIAL ACTIVO (Fca)**

Corresponde al eje de drenaje principal que atraviesa el sector, asociado al cauce activo de la quebrada Seca. Esta unidad está conformada por depósitos aluviales recientes, con materiales sueltos

y sometidos a procesos de socavación y transporte. El cauce actúa como el principal colector de escorrentía del sector y condiciona la dinámica geomorfológica del talud adyacente.

- **5.4.3.2 TERRAZAS DE CAUCE ALUVIAL ACTIVO (Ftca)**

Esta unidad corresponde a superficies ligeramente elevadas respecto al cauce activo, que representan antiguos niveles de sedimentación fluvial. Presentan pendientes suaves y materiales aluviales parcialmente estabilizados, aunque aún susceptibles a inundación ocasional y erosión lateral.

## 5.4.2. GEOFORMAS DE ORIGEN ANTRÓPICO

- **5.4.4.1 SUPERFICIE DE EXPLANACIÓN (Ase)**

Corresponde a superficies artificialmente modificadas mediante cortes y rellenos para la adecuación de áreas urbanas y vías de acceso de los barrios aledaños al sector 23 de Junio.

| CÓDIGO UGI | ELEMENTO GEOMORFOLÓGICO | ÁREA HECTÁREAS |
|---|---|---|
| Fca | Cauce aluvial activo | 0,815 |
| Dla | Ladera denudacional abrupta | 3,149 |
| Dlma | Ladera denudacional muy abrupta | 1,421 |
| Dladc | Laderas abruptas de depósitos coluviales | 0,480 |
| Dli | Laderas denudacionales inclinadas | 0,713 |
| Ase | Superficie de explanación | 1,967 |
| Ftca | Terrazas de cauce aluvial activo | 0,871 |

Tabla 9. Clasificación de los elementos geomorfológicos, sector 23 de Junio.

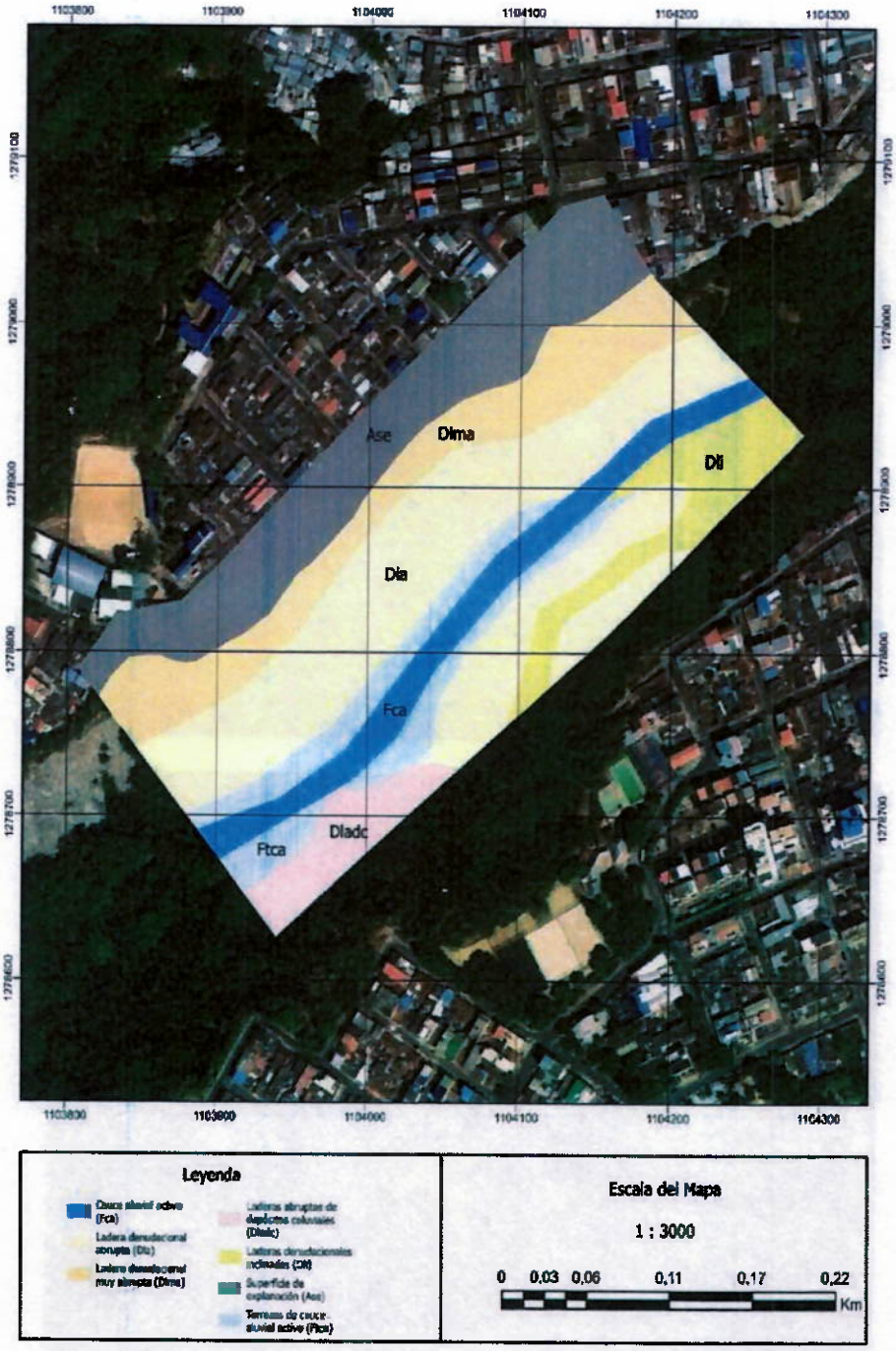



Ilustración 33. Mapa de elementos geomorfológicos, sector 23 de Junio.

## 6. REGISTRO FOTOGRAFICO

- Apique 1:





- Apique 2:






- Apique 3:





- Apique 4:






- Apique 5:





- Apique 6:

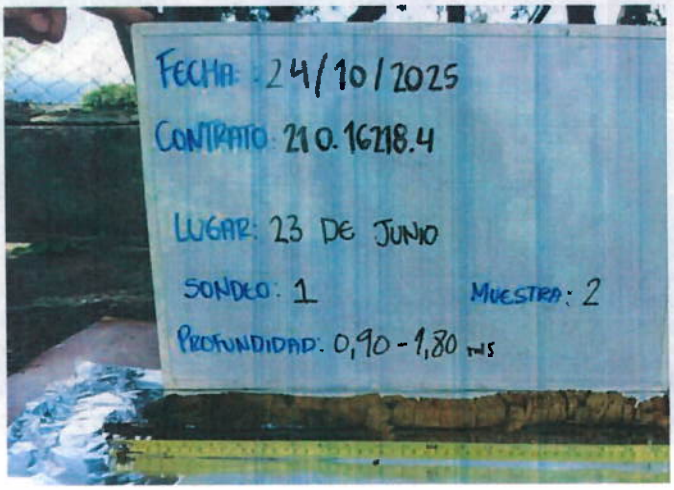




- Sondeo 1:



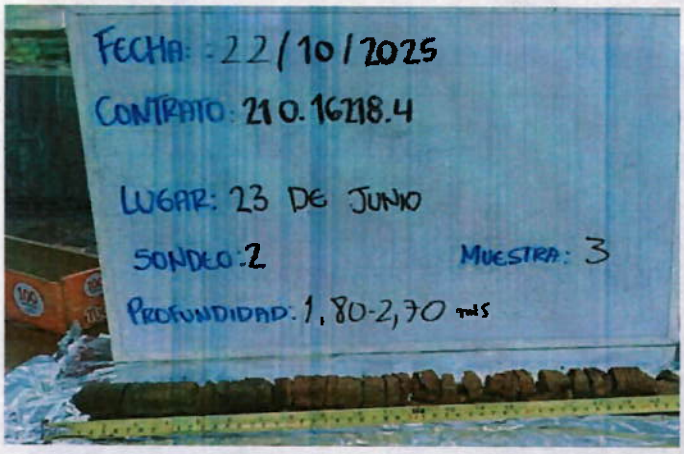



FECHA: 24/10/2025
CONTRATO: 210.16218.4
LUGAR: 23 DE JUNIO
SONDEO: 1
MUESTRA: 2
PROFUNDIDAD: 0,90 - 1,80 mts

- Sondeo 2:



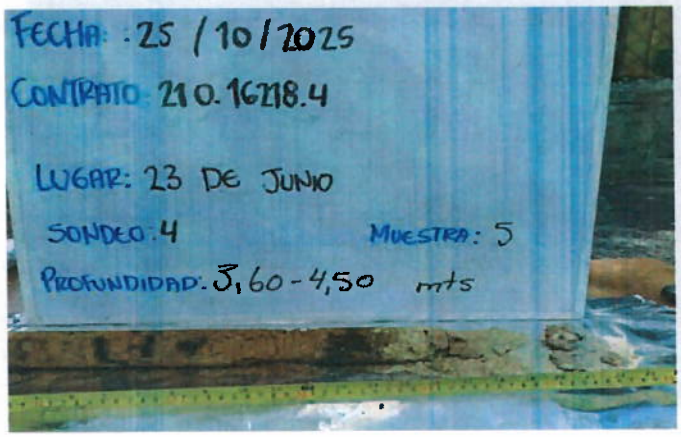



FECHA: 22/10/2025
CONTRATO: 210.16218.4
LUGAR: 23 DE JUNIO
SONDEO: 2
MUESTRA: 3
PROFUNDIDAD: 1,80-2,70 mts

- Sondeo 3:



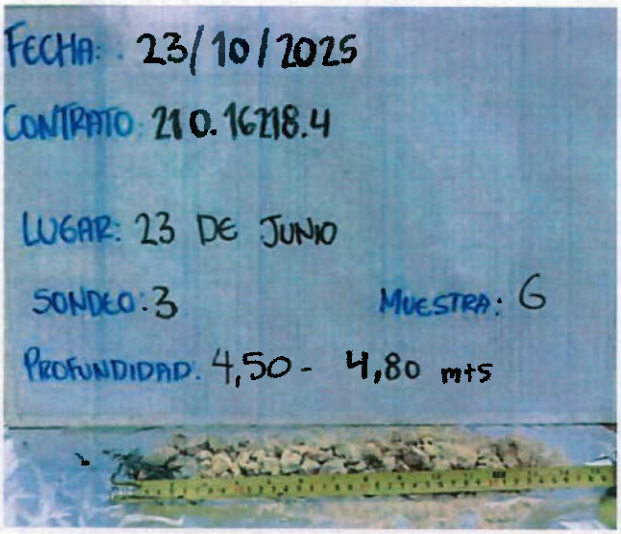



FECHA: 25 / 10 / 2025
CONTRATO: 210.16218.4
LUGAR: 23 DE JUNIO
SONDEO: 4
MUESTRA: 5
PROFUNDIDAD: 3,60 - 4,50 mts

- Sondeo 4:






FECHA: 23/10/2025
CONTRATO 210.16218.4
LUGAR: 23 DE JUNIO
SONDEO: 3
MUESTRA: 6
PROFUNDIDAD: 4,50 - 4,80 mts

# 7. RESULTADOS

## 7.1. Perfiles estratigráficos

| HSC | PERFIL ESTRATIGRÁFICO APIQUES | CODIGO | FT-EX-001 |
|---|---|---|---|
| | | FECHA | 15/11/2023 |
| | | VERSIÓN | 2 |
| | | Página 1 de 1 | |

| Nº DE APIQUE | 1 | Nº DE ORDEN DE SERVICIO | 162-25 | Nº DE ORDEN DE TRABAJO | 162-25 | FECHA | 23/10/2025 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PROYECTO | CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA | | | | | | |
| SUPERVISOR | ROBINSON OCHOA | | | | | | |
| CONDICIONES METEREOLÓGICAS | SOLEADO | | | LUGAR DE PERFORACIÓN | 23 DE JUNIO | | |
| COORDENADAS | PLANIMÉTRICAS: NORTE 1278904.71; ESTE 1104005.23 | | | GEOGRÁFICAS: N 7.11730431; W 73.13804788 | | COTA | 931.73 |

| PROFUNFIDAD (m) | | DESCRIPCION DE CAMPO (SUELO-ROCA-CAMBIOS DE ESTRATO, TEXTURA, COLOR) |
|---|---|---|
| 0.00 | 0.45 | |
| 0.45 | 0.9 | |
| 0.90 | 1.60 | SUELO ARENOSO DE GRANO MEDIO A FINO CON GRAVAS SUB-ANGULOSAS COLOR 7,5 YR 6/6 |

OBSERVACIONES:

| SUPERVISÓ | | REVISÓ | |
|---|---|---|---|
| NOMBRE | WILLIAM EDUARDO CORTES | NOMBRE | MARTHA LILIANA BAYONA |
| CARGO | COORDINADOR DE LABORATORIO | CARGO | GERENTE |

| HSC | PERFIL ESTRATIGRÁFICO APIQUES | CODIGO | FT-EX-001 |
|---|---|---|---|
| | | FECHA | 15/11/2023 |
| | | VERSIÓN | 2 |
| | | Página 1 de 1 | |

| Nº DE APIQUE | 2 | Nº DE ORDEN DE SERVICIO | 162-25 | Nº DE ORDEN DE TRABAJO | 162-25 | FECHA | 23/10/2025 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PROYECTO | CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA | | | | | | |
| SUPERVISOR | ROBINSON OCHOA | | | | | | |
| CONDICIONES METEREOLÓGICAS | SOLEADO | | | LUGAR DE PERFORACIÓN | 23 DE JUNIO | | |

| COORDENADAS | PLANIMÉTRICAS | | GEOGRAFICAS | | COTA | 915 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | NORTE | 1278851.94 | N | 7.11682800 | | |
| | ESTE | 1103983.322 | W | -73.136428 | | |

| PROFUNDIDAD m | | DESCRIPCION DE CAMPO (SUELO-ROCA-CAMBIOS DE ESTRATO, TEXTURA, COLOR) |
|---|---|---|
| 0.00 | 0.90 | |
| 0.9 | 1.7 | SUELO ARENOSO DE GRANO MEDIO A FINO CON GRAVAS SUB-ANGULOSAS COLOR 7,5 YR 6/6 |
| | | |

OBSERVACIONES:

| SUPERVISÓ | | REVISÓ | |
|---|---|---|---|
| NOMBRE | WILLIAM EDUARDO CORTES | NOMBRE | MARTHA LILIANA BAYONA |
| CARGO | COORDINADOR DE LABORATORIO | CARGO | GERENTE |

| HSC | PERFIL ESTRATIGRÁFICO APIQUES | CODIGO | FT-EX-001 |
|---|---|---|---|
| | | FECHA | 15/11/2023 |
| | | VERSIÓN | 2 |
| | | Página 1 de 1 | |

| Nº DE APIQUE | 3 | Nº DE ORDEN DE SERVICIO | 162-25 | Nº DE ORDEN DE TRABAJO | 162-25 | FECHA | 23/10/2025 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

| PROYECTO | CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA |
|---|---|
| SUPERVISOR | ROBINSON OCHOA |

| CONDICIONES METEREOLÓGICAS | SOLEADO | LUGAR DE PERFORACIÓN | 23 DE JUNIO |
|---|---|---|---|

| COORDENADAS | PLANIMETRICAS | | GEOGRÁFICAS | | COTA | 911 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | NORTE | 1278907.047 | N | 7.11642300 | | |
| | ESTE | 1103915.243 | W | -73.136864 | | |

| PROFUNFIDAD m | | DESCRIPCION DE CAMPO (SUELO-ROCA-CAMBIOS DE ESTRATO, TEXTURA, COLOR) |
|---|---|---|
| 0.00 | 0.80 | |
| 0.8 | 1.6 | SUELO ARENOSO DE GRANO MEDIO A FINO CON GRAVAS SUB-ANGULOSAS COLOR 7.5 YR 6/6 |
| | | |

OBSERVACIONES:

| SUPERVISÓ | | REVISO | |
|---|---|---|---|
| NOMBRE | WILLIAM EDUARDO CORTES | NOMBRE | MARTHA LILIANA BAYONA |
| CARGO | COORDINADOR DE LABORATORIO | CARGO | GERENTE |

| HSC | PERFIL ESTRATIGRÁFICO APIQUES | CODIGO | FT-EX-001 |
|---|---|---|---|
| | | FECHA | 15/11/2023 |
| | | VERSIÓN | 2 |
| | | Página 1 de 1 | |

| Nº DE APIQUE | 4 | Nº DE ORDEN DE SERVICIO | 162-25 | Nº DE ORDEN DE TRABAJO | 162-25 | FECHA | 24/10/2025 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

| PROYECTO | CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA |
|---|---|
| SUPERVISOR | ROBINSON OCHOA |

| CONDICIONES METEREOLÓGICAS | SOLEADO | LUGAR DE PERFORACIÓN | 23 DE JUNIO |
|---|---|---|---|

| COORDENADAS | PLANIMÉTRICAS | | GEOGRÁFICAS | | COTA | 912 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | NORTE | 1278798.512 | N | 7.11634700 | | |
| | ESTE | 1103851.844 | W | -73.137438 | | |

| PROFUNDIDAD m | | DESCRIPCION DE CAMPO (SUELO-ROCA-CAMBIOS DE ESTRATO, TEXTURA, COLOR) |
|---|---|---|
| 0.00 | 0.60 | |
| 0.6 | 1.2 | |
| 1.20 | 1.80 | SUELO ARENOSO DE GRANO MEDIO A FINO CON GRAVAS SUB-ANGULOSAS COLOR 7.5 YR 6/6 |

OBSERVACIONES:

| SUPERVISO | | REVISÓ | |
|---|---|---|---|
| NOMBRE | WILLIAM EDUARDO CORTES | NOMBRE | MARTHA LILIANA BAYONA |
| CARGO | COORDINADOR DE LABORATORIO | CARGO | GERENTE |

| HSC | PERFIL ESTRATIGRÁFICO APIQUES | CODIGO | FT-EX-001 |
|---|---|---|---|
| | | FECHA | 15/11/2023 |
| | | VERSIÓN | 2 |
| | | Página 1 de 1 | |

| Nº DE APIQUE | 5 | Nº DE ORDEN DE SERVICIO | 162-25 | Nº DE ORDEN DE TRABAJO | 162-25 | FECHA | 24/10/2025 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

| PROYECTO | CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA |
|---|---|
| SUPERVISOR | ROBINSON OCHOA |

| CONDICIONES METEREOLÓGICAS | SOLEADO | LUGAR DE PERFORACIÓN | 23 DE JUNIO |
|---|---|---|---|

| COORDENADAS | PLANIMÉTRICAS | | GEOGRAFICAS | | COTA | 917 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | NORTE | 1278937.392 | N | 7.11759900 | | |
| | ESTE | 1104048.993 | W | -73.135651 | | |

| PROFUNFIDAD m | | DESCRIPCION DE CAMPO (SUELO-ROCA-CAMBIOS DE ESTRATO, TEXTURA, COLOR) |
|---|---|---|
| 0.00 | 0.60 | |
| 0.6 | 1.2 | |
| 1.20 | 1.80 | SUELO ARENOSO DE GRANO MEDIO A FINO CON GRAVAS SUB-ANGULOSAS COLOR 7,5 YR 6/6 |

OBSERVACIONES:

| SUPERVISÓ | | REVISÓ | |
|---|---|---|---|
| NOMBRE | WILLIAM EDUARDO CORTES | NOMBRE | MARTHA LILIANA BAYONA |
| CARGO | COORDINADOR DE LABORATORIO | CARGO | GERENTE |

| HSC | PERFIL ESTRATIGRÁFICO APIQUES | CODIGO | FT-EX-001 |
|---|---|---|---|
| | | FECHA | 15/11/2023 |
| | | VERSIÓN | 2 |
| | | Página 1 de 1 | |

| Nº DE APIQUE | 6 | Nº DE ORDEN DE SERVICIO | 162-25 | Nº DE ORDEN DE TRABAJO | 162-25 | FECHA | 24/10/2025 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PROYECTO | CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA | | | | | | |
| SUPERVISOR | ROBINSON OCHOA | | | | | | |
| CONDICIONES METEREOLÓGICAS | SOLEADO | | | LUGAR DE PERFORACIÓN | 23 DE JUNIO | | |
| COORDENADAS | PLANIMETRICAS | | GEOGRAFICAS | | | COTA | 920 |
| | NORTE | 1278975.872 | N | 7.11794600 | | | |
| | ESTE | 1104097.858 | W | -73.135208 | | | |

| PROFUNDIDAD m | | DESCRIPCION DE CAMPO (SUELO-ROCA-CAMBIOS DE ESTRATO, TEXTURA, COLOR) |
|---|---|---|
| 0.00 | 0.50 | |
| 0.5 | 1 | |
| 1.00 | 1.50 | SUELO ARENOSO DE GRANO MEDIO A FINO CON GRAVAS SUB-ANGULOSAS COLOR 7,5 YR 6/6 |

OBSERVACIONES:

| SUPERVISÓ | | REVISÓ | |
|---|---|---|---|
| NOMBRE | WILLIAM EDUARDO CORTES | NOMBRE | MARTHA LILIANA BAYONA |
| CARGO | COORDINADOR DE LABORATORIO | CARGO | GERENTE |

CDMB
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA

HSC

# PERFIL ESTRATIGRÁFICO

| CODIGO | PT-EX-003 |
|---|---|
| FECHA | 15/11/2023 |
| VERSIÓN | 2 |
| Página 1 de 1 | |

| Nº DE PERFORACION | 1 | Nº DE ORDEN DE SERVICIO | 162-25 | Nº DE ORDEN DE TRABAJO | 162-25 | FECHA INICIO | 24/10/2025 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

| PROYECTO | CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA | | |
|---|---|---|---|
| SUPERVISOR | ROBINSON OCHOA | OPERADOR | ARTURO ALVAREZ |
| EQUIPO DE PERFORACIÓN | SPT | LUGAR DE PERFORACIÓN | 23 DE JUNIO |
| CONDICIONES METEREOLÓGICAS | SOLEADO | | |
| COORDENADAS | PLANIMÉTRICAS: NORTE 1278414.080, ESTE 1104018.749 / GEOGRÁFICAS: N 7.11739840, W 73.1369630 | COTA | 937 |
| MÉTODO DE PERFORACIÓN | SPT | | |

EXPLORACION DE CAMPO

| Nº MUESTRA | PROFUNDIDAD m | | TIPO DE EXTRACCIÓN | | Nº de golpes | | | V N | NF | ¿RECUPERÓ MUESTRA? | | LONGITUD DE LA MUESTRA (cm) | DESCRIPCION DE CAMPO (SUELO-ROCA-CAMBIOS DE ESTRATO, TEXTURA, COLOR) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | SPT | ROTACIÓN | 6" | 12" | 18" | | | SI | NO | | |
| 1 | 0.00 | 0.45 | ✓ | - | 4 | 6 | 5 | 10 | - | ✓ | - | - | |
| | 0.45 | 0.90 | ✓ | - | 4 | 5 | 6 | 11 | - | ✓ | - | - | |
| 2 | 0.90 | 1.35 | ✓ | - | 8 | 10 | 12 | 22 | - | ✓ | - | - | Arcilla media plasticidad arenosa CL |
| | 1.35 | 1.80 | ✓ | - | 15 | 14 | 15 | 29 | - | ✓ | - | - | |
| 3 | 1.80 | 2.25 | ✓ | - | 15 | 12 | 16 | 28 | - | ✓ | - | - | |
| | 2.25 | 2.70 | ✓ | - | 17 | 13 | 12 | 25 | - | ✓ | - | - | |
| 4 | 2.70 | 3.15 | ✓ | - | 19 | 17 | 18 | 35 | - | ✓ | - | - | |
| | 3.15 | 3.60 | ✓ | - | 17 | 16 | 22 | 38 | - | ✓ | - | - | |
| 5 | 3.60 | 4.05 | ✓ | - | 19 | 19 | 24 | 43 | - | ✓ | - | - | Arcilla media plasticidad arenosa CL |
| | 4.05 | 4.50 | ✓ | - | 21 | 21 | 27 | 48 | - | ✓ | - | - | |
| 6 | 4.50 | 4.90 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |
| 7 | 4.90 | 5.30 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |
| 8 | 5.30 | 7.80 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | Arena arcillosa con grava SC |
| 9 | 7.80 | 9.30 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |
| 10 | 9.30 | 10.80 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |
| 11 | 10.80 | 12.30 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |
| 12 | 12.30 | 13.80 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | Arena arcillosa con grava SC |
| 13 | 13.80 | 15.30 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |

OBSERVACIONES

| SUPERVISO | REVISÓ |
|---|---|
| NOMBRE: WILLIAM EDUARDO CORTES | NOMBRE: MARTHA LILIANA BAYONA |
| CARGO: COORDINADOR DE LABORATORIO | CARGO: GERENTE |

HSC

# PERFIL ESTRATIGRÁFICO

| CODIGO | FT-EX-003 |
|---|---|
| FECHA | 15/11/2023 |
| VERSIÓN | 2 |
| Página 1 de 1 | |

| Nº DE PERFORACION | 2 | Nº DE ORDEN DE SERVICIO | 162-25 | Nº DE ORDEN DE TRABAJO | 162-25 | FECHA INICIO | 22/10/2025 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | |
|---|---|---|---|
| PROYECTO | CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA | | |
| SUPERVISOR | ROBINSON OCHOA | OPERADOR | ARTURO ALVAREZ |
| EQUIPO DE PERFORACIÓN | SPT | LUGAR DE PERFORACIÓN | 23 DE JUNIO |
| CONDICIONES METEREOLÓGICAS | SOLEADO | | |

| COORDENADAS | PLANIMÉTRICAS | | GEOGRÁFICAS | | COTA | 917 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | NORTE | 1278843.883 | N | 7.11693600 | | |
| | ESTE | 1103961.641 | W | -73.1364430 | | |
| MÉTODO DE PERFORACIÓN | SPT | | | | | |

EXPLORACION DE CAMPO

| Nº MUESTRA | PROFUNDIDAD m | | TIPO DE EXTRACCIÓN | | Nº de golpes | | | V % | NF | ¿RECUPERO MUESTRA? | | LONGITUD DE LA MUESTRA (cm) | DESCRIPCION DE CAMPO (SUELO-ROCA-CAMBIOS DE ESTRATO, TEXTURA, COLOR) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | SPT | ROTACIÓN | 6" | 12" | 18" | | | SI | NO | | |
| 1 | 0.00 | 0.45 | ✓ | - | 3 | 5 | 6 | 9 | - | ✓ | - | - | |
| | 0.45 | 0.90 | ✓ | - | 10 | 6 | 7 | 12 | - | ✓ | - | - | |
| 2 | 0.90 | 1.35 | ✓ | - | 7 | 8 | 10 | 18 | - | ✓ | - | - | Arcilla media plasticidad arenosa CL |
| | 1.35 | 1.80 | ✓ | - | 10 | 12 | 12 | 24 | - | ✓ | - | - | |
| 3 | 1.80 | 2.25 | ✓ | - | 10 | 11 | 11 | 22 | - | ✓ | - | - | |
| | 2.25 | 2.70 | ✓ | - | 9 | 13 | 14 | 27 | - | ✓ | - | - | |
| 4 | 2.70 | 3.15 | ✓ | - | 12 | 14 | 16 | 30 | - | ✓ | - | - | |
| | 3.15 | 3.60 | ✓ | - | 9 | 12 | 16 | 28 | - | ✓ | - | - | |
| 5 | 3.60 | 4.05 | ✓ | - | 13 | 15 | 18 | 33 | - | ✓ | - | - | Arcilla media plasticidad arenosa CL |
| | 4.05 | 4.50 | ✓ | - | 17 | 16 | 22 | 38 | - | ✓ | - | - | |
| 6 | 4.50 | 4.95 | ✓ | - | 21 | 20 | 22 | 42 | - | ✓ | - | - | |
| | 4.95 | 5.40 | ✓ | - | 13 | 20 | 26 | 46 | - | ✓ | - | - | |
| 7 | 5.40 | 5.90 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |
| | 5.90 | 8.40 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | SC |
| 8 | 8.40 | 9.90 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |
| | 9.90 | 11.40 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |
| 9 | 11.40 | 12.90 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |
| 10 | 12.90 | 14.40 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | SC |
| 11 | 14.40 | 15.90 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |

OBSERVACIONES

| SUPERVISÓ | REVISO |
|---|---|
| NOMBRE: WILLIAM EDUARDO CORTES | NOMBRE: MARTHA LILIANA SAYCNA |
| CARGO: COORDINADOR DE LABORATORIO | CARGO: GERENTE |

HSC

# PERFIL ESTRATIGRÁFICO

| CODIGO | FT-EX-003 |
|---|---|
| FECHA | 15/11/2023 |
| VERSIÓN | 2 |
| Página 1 de 1 | |

| Nº DE PERFORACION | 3 | Nº DE ORDEN DE SERVICIO | 162-25 | Nº DE ORDEN DE TRABAJO | 162-25 | FECHA INICIO | 25/09/2025 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

| PROYECTO | CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA | | |
|---|---|---|---|
| SUPERVISOR | ROBINSON OCHOA | OPERADOR | ARTURO ALVAREZ |
| EQUIPO DE PERFORACIÓN | SPT | LUGAR DE PERFORACIÓN | 23 DE JUNIO |
| CONDICIONES METEREOLOGICAS | SOLEADO | | |

| COORDINADAS | PLANIMÉTRICAS | | GEOGRÁFICAS | | COTA | 915 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | NORTE | 1278972.960 | N | 7.11782000 | | |
| | ESTE | 1104079.746 | W | -73.1353720 | | |
| MÉTODO DE PERFORACIÓN | SPT | | | | | |

EXPLORACION DE CAMPO

| Nº MUESTRA | PROFUNDIDAD m | | TIPO DE EXTRACCION | | Nº de golpes | | | Y M | NF | ¿RECUPERO MUESTRA? | | LONGITUD DE LA MUESTRA (cm) | DESCRIPCION DE CAMPO (SUELO-ROCA-CAMBIOS DE ESTRATO, TEXTURA, COLOR) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | SPT | ROTACION | 6" | 12" | 18" | | | SI | NO | | |
| 1 | 0.00 | 0.45 | ✓ | - | 4 | 5 | 3 | 7 | - | ✓ | - | - | |
| | 0.45 | 0.85 | ✓ | - | 4 | 5 | 5 | 10 | - | ✓ | - | - | |
| 2 | 0.80 | 1.35 | ✓ | - | 8 | 8 | 8 | 14 | - | ✓ | - | - | |
| | 1.35 | 1.80 | ✓ | - | 10 | 11 | 10 | 21 | - | ✓ | - | - | |
| 3 | 1.80 | 2.25 | ✓ | - | 14 | 12 | 13 | 25 | - | ✓ | - | - | Arcilla media plasticidad arenosa CL |
| | 2.25 | 2.70 | ✓ | - | 8 | 10 | 12 | 22 | - | ✓ | - | - | |
| 4 | 2.70 | 3.15 | ✓ | - | 12 | 14 | 14 | 28 | - | ✓ | - | - | |
| | 3.15 | 3.60 | ✓ | - | 13 | 16 | 17 | 33 | - | ✓ | - | - | |
| 6 | 3.60 | 4.05 | ✓ | - | 10 | 13 | 17 | 30 | - | ✓ | - | - | |
| | 4.05 | 4.50 | ✓ | - | 14 | 19 | 21 | 37 | - | ✓ | - | - | |
| 8 | 4.50 | 4.95 | ✓ | - | 20 | 21 | 21 | 42 | - | ✓ | - | - | Arcilla media plasticidad arenosa CL |
| | 4.95 | 5.40 | ✓ | - | 19 | 23 | 22 | 45 | - | ✓ | - | - | |
| 7 | 5.40 | 5.85 | ✓ | - | 18 | 32 | 27 | 59 | - | ✓ | - | - | |
| | 5.85 | 7.35 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |
| 8 | 7.35 | 8.35 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |
| | 8.85 | 10.35 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | Arena arcillosa con grava SC |
| 9 | 10.35 | 11.35 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |
| 10 | 11.85 | 13.35 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |
| 11 | 13.35 | 14.85 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | Arena arcillosa con grava SC |

OBSERVACIONES

| SUPERVISO | REVISO |
|---|---|
| NOMBRE: WILLIAM EDUARDO CORTES | NOMBRE: MARTHA LILIANA BAYONA |
| CARGO: COORDINADOR DE LABORATORIO | CARGO: GERENTE |

| HSC | PERFIL ESTRATIGRÁFICO | CODIGO | FT-EX-303 |
|---|---|---|---|
| | | FECHA | 15/11/2023 |
| | | VERSIÓN | 2 |
| | | Página 1 de 1 | |

| Nº DE PERFORACIÓN | 4 | Nº DE ORDEN DE SERVICIO | 563-25 | Nº DE ORDEN DE TRABAJO | 562-25 | FECHA INICIO | 23/10/2025 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

| PROYECTO | CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA | | |
|---|---|---|---|
| SUPERVISOR | ROBINSON OCHOA | OPERADOR | ARTURO ALVAREZ |
| EQUIPO DE PERFORACIÓN | SPT | LUGAR DE PERFORACIÓN | 23 DE JUNIO |
| CONDICIONES METEREOLÓGICAS | SOLEADO | | |
| COORDENADAS | PLANIMÉTRICAS: NORTE 1275808.905, ESTE 1103904.091 / GEOGRÁFICAS: N 7.11644000, W -73.1363650 | COTA | 913 |
| MÉTODO DE PERFORACIÓN | SPT | | |

EXPLORACIÓN DE CAMPO

| Nº MUESTRA | PROFUNDIDAD m | | TIPO DE EXTRACCIÓN SPT | TIPO DE EXTRACCIÓN ROTACIÓN | Nº de golpes 6" | 12" | 18" | N | NF | ¿RECUPERÓ MUESTRA? SI | NO | LONGITUD DE LA MUESTRA (cm) | DESCRIPCION DE CAMPO (SUELO-ROCA-CAMBIOS DE ESTRATO, TEXTURA, COLOR) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.00 | 0.45 | ✓ | - | 5 | 6 | 6 | 12 | - | ✓ | - | - | |
| | 0.45 | 0.90 | ✓ | - | 3 | 9 | 9 | 18 | - | ✓ | - | - | |
| 2 | 0.90 | 1.35 | ✓ | - | 10 | 10 | 14 | 24 | - | ✓ | - | - | Arcilla media plasticidad arenosa CL |
| | 1.35 | 1.80 | ✓ | - | 8 | 10 | 12 | 22 | - | ✓ | - | - | |
| 3 | 1.80 | 2.25 | ✓ | - | 10 | 14 | 13 | 27 | - | ✓ | - | - | |
| | 2.25 | 2.70 | ✓ | - | 12 | 15 | 15 | 30 | - | ✓ | - | - | |
| 4 | 2.70 | 3.15 | ✓ | - | 5 | 16 | 16 | 32 | - | ✓ | - | - | Arcilla media plasticidad arenosa CL |
| | 3.15 | 3.60 | ✓ | - | 13 | 17 | 16 | 33 | - | ✓ | - | - | |
| 6 | 3.60 | 5.10 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |
| 6 | 5.10 | 6.60 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |
| 7 | 6.60 | 8.10 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | Arena arcillosa con grava SC |
| 8 | 8.10 | 9.60 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |
| 9 | 9.60 | 11.10 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |
| 10 | 11.10 | 12.60 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |
| 11 | 12.60 | 14.10 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | Arena arcillosa con grava SC |
| 12 | 14.10 | 15.60 | - | ✓ | R | - | - | - | - | ✓ | - | - | |

OBSERVACIONES

| SUPERVISO | REVISO |
|---|---|
| NOMBRE: WILLIAM EDUARDO CORTES | NOMBRE: MARTHA LILIANA BAYONA |
| CARGO: COORDINADOR DE LABORATORIO | CARGO: GERENTE |

## 7.2. Ensayos de Laboratorio

Las muestras obtenidas se seleccionaron las más representativas para enviar al laboratorio solicitando realizar ensayos de granulometría, límites de consistencia y humedad natural.

Tabla 10: Ensayos de Laboratorio Realizados a las Muestras Obtenidas en Campo

| ENSAYO | NORMA | No DE ENSAYOS |
|---|---|---|
| Granulometría. | INV E – 123- 13 | 11 |
| Contenido de Humedad. | INV E – 122- 13 | 11 |
| Límite Plástico e Índice de Plasticidad. | INV E – 126- 13 | 11 |
| Límite Líquido. | INV E – 125- 13 | 11 |
| Gravedad especifica | INV E – 128- 13 | 11 |
| Peso unitario | ASTM D7263-21 | 8 |
| Corte Directo | INV E – 154- 13 | 6 |

El procedimiento y la descripción detallada de cada uno de los ensayos de laboratorio se muestran en los Anexos.

## RESULTADO DEL MODELO GEOLOGICO – GEOTECNICO

- **SUELO RESIDUAL DEL MIEMBRO LIMOS ROJOS (Sraml)**

Esta unidad corresponde a suelos residuales finos derivados del miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga. Se caracteriza por materiales limo-arcillosos, con alto grado de meteorización, estructura masiva y consistencia media a baja. Se desarrolla principalmente en sectores suavemente inclinados y en zonas donde el relieve ha sido parcialmente modificado por actividades antrópicas.

- **SUELO RESIDUAL FINO (Srmf)**

El suelo residual fino en el sector 23 de Junio corresponde a materiales derivados de depósitos cuaternarios finos, con predominio de limos y arenas finas. Presenta estructura poco desarrollada, porosidad media y compactación baja a media, localizada principalmente en la parte media de la ladera y en sectores de transición entre áreas urbanizadas y zonas con cobertura vegetal.

- **SUELOS ALUVIALES DE CAUCE ACTIVO (Saca)**

Esta unidad corresponde a depósitos recientes asociados al cauce activo y zonas de influencia directa de la quebrada Seca. Está conformada por materiales heterogéneos de origen aluvial, con mezcla de gravas, arenas y limos. Su presencia dentro del sector 23 de Junio es puntual y se concentra en el fondo de la ladera.

- **SUELO RESIDUAL GRAVOSO (Srg)**

En el área de estudio el suelo residual gravoso está compuesto por gravas y cantos subangulosos a subredondeados, inmersos en una matriz arenosa a limo-arenosa, producto de la meteorización de depósitos cuaternarios gravosos.

Esta unidad domina gran parte del talud del sector 23 de Junio y coincide con zonas de mayor pendiente. Es altamente susceptible a caída y desprendimientos de clastos, especialmente donde el terreno ha sido intervenido por cortes o donde se concentra la escorrentía superficial. Corresponde a la unidad de mayor extensión, con un área aproximada de 3,59 ha.

- **4.2.2.5 SUELOS COLUVIALES RECIENTES (Scr)**

Esta unidad corresponde a acumulaciones de material coluvial reciente en la parte baja del talud, compuesta por una mezcla heterogénea de fragmentos gravosos, bloques, arenas y limos, sin estratificación definida, producto del transporte gravitacional desde las partes altas de la ladera.

| CÓDIGO UGI | UNIDAD GEOLÓGICA PARA INGENIERÍA UGI | AREA HECTÁREAS |
|---|---|---|
| Sraml | 1,737925176 | 1,74 |
| Srmf | 2,217408884 | 2,22 |
| Saca | 1,424645866 | 1,42 |
| Srg | 3,587567975 | 3,59 |
| Scr | 0,448622237 | 0,45 |

Tabla 11. Clasificación de las unidades geológicas para ingeniería. Sector 23 de Junio

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. Barbat , Y. Vargas , L. Pujades y J. Hurtado , «Evaluación probabilista del riesgo sísmico de estructuras en base en la degradación de rigidez,» ELSEVIER, Barcelona, 2015.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIRÍA SÍSMICA. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente, NSR-10. Bogóta, AIS, 2010.

A. T. Council, «ATC-40 Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings,» California, 1996.

BLOOM, A. Geomorphology: A systematic analysis of Late Cenozoic landforms. Waveland Pr Inc, Third edition, 482 p. 2004.

BONACHEA, JAIME Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos, PhD, tesis. 2006.

BOWLES, Joseph E. Foundation Analysis and Design. Fourth Edition. McGraw-Hill Book Company. Singapore, 1988.

BUENO y SOLARTE, Geología, geotecnia y comportamiento erosivo de las áreas de reserva forestal de Bucaramanga. Proyecto de grado (inédito). UIS, Escuela de Geología. Bucaramanga, Santander. Vol. 1, 140 Págs. 1994.

CARREÑO, M.L., CARDONA, O.D., Y BARBAT, A.H. Metodología para evaluación del desempeño de la gestión del riesgo. Monografías de Ingeniería Sísmica. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE, Barcelona. 2004

CASTRO, E., VALENCIA, A., OJEDA, J., MUÑOZ, F. Y FONCESA, S. Evaluación de riesgos por fenómenos de remoción en masa, Guía metodológica, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia. 2001

CEDIEL, F. El Grupo Girón una molasa mesozoica de la Cordillera Oriental: Servicio Geológico Nacional (Colombia), Bol, Geológico, v. XVI, p. 5-96. 1968.

CHOW, V., T., MAYS, L., W., MAIDMENT, D., R., "Hidrología Aplicada", McGraw-Hill, Santafé de Bogotá. 1994.

Decreto 1523 de 24 de abril 2012 por el cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.

DE PORTA, J., La terraza de Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander (Colombia), Bol de Geología, N°3, p. 3-13. 1959.

DELGADO VARGAS, Manuel. Ingeniería de Fundaciones. Primera Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1996.

Departamento Nacional de Estadística (DANE), Censo general 2018, disponible en: https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivienda-2018

DIEDERIX, H., TORRES, E., HERNÁNDEZ, C. Y BOTERO, P. Modelo de evolución morfotectónica cuaternaria basado en evidencias estructurales, neotectónicas, y paleosismológicas de los principales sistemas de falla en la región de Bucaramanga. INGEOMINAS, 84 p. 2008

ETAYO,. ET AL., Mapa de terrenos geológicos de Colombia. Publicaciones geológicas especiales INGEOMINAS, (14-I): 235 p. 1983.

FELL, R. Landslide risk assessment and acceptable risk. Canadian Geotechnical Journal 31, 261–272. 1994

GLADE, T.,. Vulnerability assessment in landslide risk analysis. Die Erde 134, 121- 138. 2003

GOMEZ, I. MALDONADO, E. CHIO, G. "Simulación de funciones de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño sísmico para edificaciones de hormigón armado en sistema pórtico". 2008.

GONZALEZ DE VALLEJO, Luis et al. Ingeniería Geológica. Madrid. PEARSON Prentice Hall, 744 p. 2002

Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. 2015.

HERMELÍN, M. Bases de Geología Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 1987.

INGEOMINAS, Microzonificación Sísmica del Área Metropolitana de Bucaramanga. Fase I. Bucaramanga. (Hoy Servicio Geológico Colombiano). 1997.

INGEOMINAS. Geología del departamento de Santander. (Hoy Servicio Geológico Colombiano) 1999.

INGEOMINAS. Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga. (Hoy Servicio Geológico Colombiano) 2001.

INGEOMINAS. Mapa geológico de Colombia. Escala 1:1'000.000. Bogotá. (Hoy Servicio Geológico Colombiano). 2007.

INGEOMINAS. Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. (Hoy Servicio Geológico Colombiano). 2009.

JIMÉNEZ, G., SPERANZA, F., FACCENA, C., BAYONA, G. Y MORA, A. Magnetic stratigraphy of the Bucaramanga alluvial Fan: Evidence for a < 3mm/yr slip rate for the Bucaramanga-Santa Marta Fault, Colombia. Journal of South American Sciences, In Press. 2014.

JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRIGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos Tomo II. Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. Editorial Limusa. México, 1991.

JULIVERT, M. Morfoestructura de la Zona de la Mesas al SW de Bucaramanga (Colombia S.A.). p. 9-41. 1958.

LANGENHEIM, R. L., JR. Preliminary report on the stratigraphy of Giron formation in Santander and Boyacá: Inst. Geol. Nal. (Colombia), Informe 1011, 20 p. 1954.

LEONE, F., ASTE, J.P., LEROI, E., Vulnerability assessment of elements exposed to mass-moving: working toward a better risk perception. In: Senneset, K. (Ed.), Landslides. Balkema, Rotterdam, pp. 263– 269. 1996

L. G. Pujades, Y. F. Vargas Alzate , A. H. Barbat y J. R. Gonzáles Drigo , «Parametric model for capacity curves,» Springer , 2014.

K. Poljanšek y P. Fajfar, «A NEW DAMAGE MODEL FOR THE SEISMIC DAMAGE ASSESSMENT OF REINFORCED CONCRETE FRAME STRUCTURES,» de The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, 2008.

MACCAFERRI, Página web principal. Canalización. http://www.maccaferri-arg.com.ar/soluciones/soluciones-hidraulicas/canalizacion-retangular-y-trapezodial/16198-2.html. 2014.

MESCHEDE, M. Y FRISCH, W. A plate-tectonic model for the Mesozoicand Early Cenozoic history of the Caribbean plate. Tectonophysic 296, p. 269-291. 1998.

Minero-Ambiental y Nuclear INGEOMINAS. Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia. p. 92.

Ministerio de Minas y Energía, Servicio Geológico Colombiano SGC, Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa,182 páginas. 2015

Monsalve, G.,"Hidrología en la Ingeniería", Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá D.C. 1999.

Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente NSR-10. 2010.

NORMAS GEOTECNICA para el control y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos en el área de jurisdicción de la CDMB, Litografía Editar Impresores 2009.

NTC 3692 – MÉTODO DE ENSAYO PARA MEDIR EL NÚMERO DE REBOTE DEL CONCRETO ENDURECIDO

NTC 5551 – DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO.

NORMA ACI 228.2R - SCANNER PRUEBA DE DETECCIÓN DE REFUERZOS Y RECUBRIMIENTOS EN CONCRETO.

PECK, Ralph, HANSON, Walter E. THORNBURN, Thomas H. Ingeniería de cimentaciones. Talleres de imprenta técnica de Azafrán. México, Enero de 1982.

PMA: GCA. Formato para el inventario de Movimientos en Masa, Versión 1.1. Proyecto Multinacional Andino. 2005.

R. Aguilar, «Daño sísmico global en edificios con muros de cortante,» Monografías de ingeniería sísmica, 1997.

RISK-UE, «An advanced approach to earthquake risk scenarios, with applications to different European cities,» 2001-2004.

ROYERO J. & CLAVIJO J. Mapa geológico generalizado. Departamento de Santander. Escala 1:400.000 Memoria explicativa. Instituto de Investigación e información geo científica, 2001.

Servicio Geológico Colombiano (SGC), Documento Metodológico De la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza por Movimientos en Masa escala 1:100.000. Versión No 2. 2013.

Servicio Geológico Colombiano (SGC), Guía metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa. Bogóta, SGC, 2017

Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), Coberturas de la tierra. Concepto. https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=471&conID=1447. 2014.

SUÁREZ, JAIME. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Publicaciones UIS. 1998.

SUAREZ, JAIME. Deslizamientos, Análisis geotécnico, Volumen 1. División de Publicaciones UIS, Bucaramanga, 588 pag. 2009.

SUAREZ, JAIME Deslizamientos, Técnicas de remediación, Volumen 2. División de Publicaciones UIS, Bucaramanga, 417 pag. 2009.

T. Yin, H.-f. Lam y H.-p. Zhu, «Statistical detection of structural damage based on model reduction,» Shanghai University and Springer-Verlag, 2009.

Verstappen, H. & Van Zuidan, R. 1975. ITC System of Geomorphological Survey. ITC, Amsterdan, 52 p.

TERZAGHI, Karl; PECK Ralph B. Mecánica de suelos en la Ingeniería práctica. Segunda edición. Cuarta reimpresión. Editorial El Ateneo S.A. España, 1980.

U. S. ARMY CORPS ENGINEERS. "Hydrologic Modeling System HEC-HMS" Technical Reference Manual, Hydrologic Engineering Center, Massachuusetts. 2000.

VARGAS, R., M. DÍAZ-GRANADOS. "Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia," XIII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Cali. 1998

Vulnerabilidad (2004), Oficina de las Naciones Unidas para la prevención y atención de desastres, Disponible en: http://www.unisdr.org/2004/campaign/booklet-spa/page8-spa.pdf.

WARD, D. Y GOLDSMITH, R. Geología de los cuadrangulos H-12: Bucaramanga y H-13: Pamplona, Departamento de Santander. Memoria explicativa. Boletín geológico, Vol. XXI, N°1-3, p. 1-131. 1973.

WARD, D.E. et al. Mapa Geológico de la Plancha 109 Rionegro. INGEOMINAS, 1977. Versión Digital 2010.

Y. F. Vargas Alzate, «Análisis estructural estático y dinámico probabilista de edificios de hormigón armado. Aspectos metodológicos y aplicaciones a la evaluación del daño.,» Barcelona, 2013.

Y. F. Vargas, L. G. Pujades, A. H. Barbat y J. E. Hurtado, «Evaluación probabilista de la capacidad, fragilidad y daño sísmico de edificios de hormigón armado,» Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería ELSEVIER, pp. 63-78, 2013.

Y. M. R. Ángeles, «Comparación entre el análisis determinista y probabilista del riesgo sísmico de estructuras,» Barcelona, 2013.

Y.-J. P. a. A. H.-S. Ang, «Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete,» ASCE, 1985.

ZAFIRI, Z., HAVSOK, J. Y HANYGA. An insight into the Bucaramanga nest. Tectonophysics 443, p. 93-105. 2007