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

CARACTERIZACION GEOTECNICA DEL TALUD UBICADO EN LA CALLE 69 NUM. 10-34 EN EL BARRIO AFRICA DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA - SANTANDER



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 LA LÍNEA TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 9
EXPLORACIÓN DE CAMPO 11
2.5. TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 11
2.6. PROCEDIMIENTO EN CAMPO 11
2.7. TIPO DE ARREGLO 12
2.8. EQUIPO DE TRABAJO 13
2.9. ENSAYO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA LÍNEA LGE1 14
INTERPRETACIÓN TOMOGRAFÍA GEOELÉCTRICA LGE1 14
CONCLUSIONES 16
3. REFRACCIÓN SÍSMICA 2D 17
3.1. INTRODUCCIÓN 17
3.2. OBJETIVOS 17
3.3. LOCALIZACIÓN GENERAL 18
EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO 18
3.4. LOCALIZACIÓN DE LAS LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA 18
EXPLORACIÓN DE CAMPO 20
3.5. EXPLORACIÓN MEDIANTE LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA 20
PARÁMETROS DE REGISTRO Y MUESTREO DE LA REFRACCIÓN SÍSMICA 21
3.6. ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES (MASW) 22
PARÁMETROS DE REGISTRO Y MUESTREO 23
3.7. TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 25
3.8. EQUIPO DE TRABAJO 26
RESULTADOS OBTENIDOS 26
3.9. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS 26
3.10. CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN NSR-10 27
3.11. ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA LÍNEA LRS1 28
CONCLUSIONES 29
4. ANALISIS GEOLÓGICO 30
4.1. METODOLOGÍA 31
4.2. GEOLOGÍA 32
4.2.1. GEOLOGÍA REGIONAL 32

4.2.2. UNIDADES GEOLÓGICAS DE INGENIERÍA (UGI) 43
4.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL 46
4.3.1. MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO DE COLOMBIA 46
4.3.2. MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER 47
5. GEOMORFOLOGÍA 49
5.1. MORFOGÉNESIS 49
5.2. MORFOMETRÍA 49
5.2.1. PENDIENTES 49
5.2.2. CURVATURA 51
5.2.3. RUGOSIDAD 52
5.3. MORFODINÁMICA 54
5.4. ELEMENTOS GEOMORFOLOGICOS 54
5.4.1. GEOFORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL 55
5.4.2. GEOFORMAS DE ORIGEN ANTRÓPICO 56
6. REGISTRO FOTOGRAFICO 58
7. RESULTADOS 65
7.1. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS 65
7.2. ENSAYOS DE LABORATORIO 72
RESULTADO DEL MODELO GEOLOGICO – GEOTECNICO 72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 74

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.

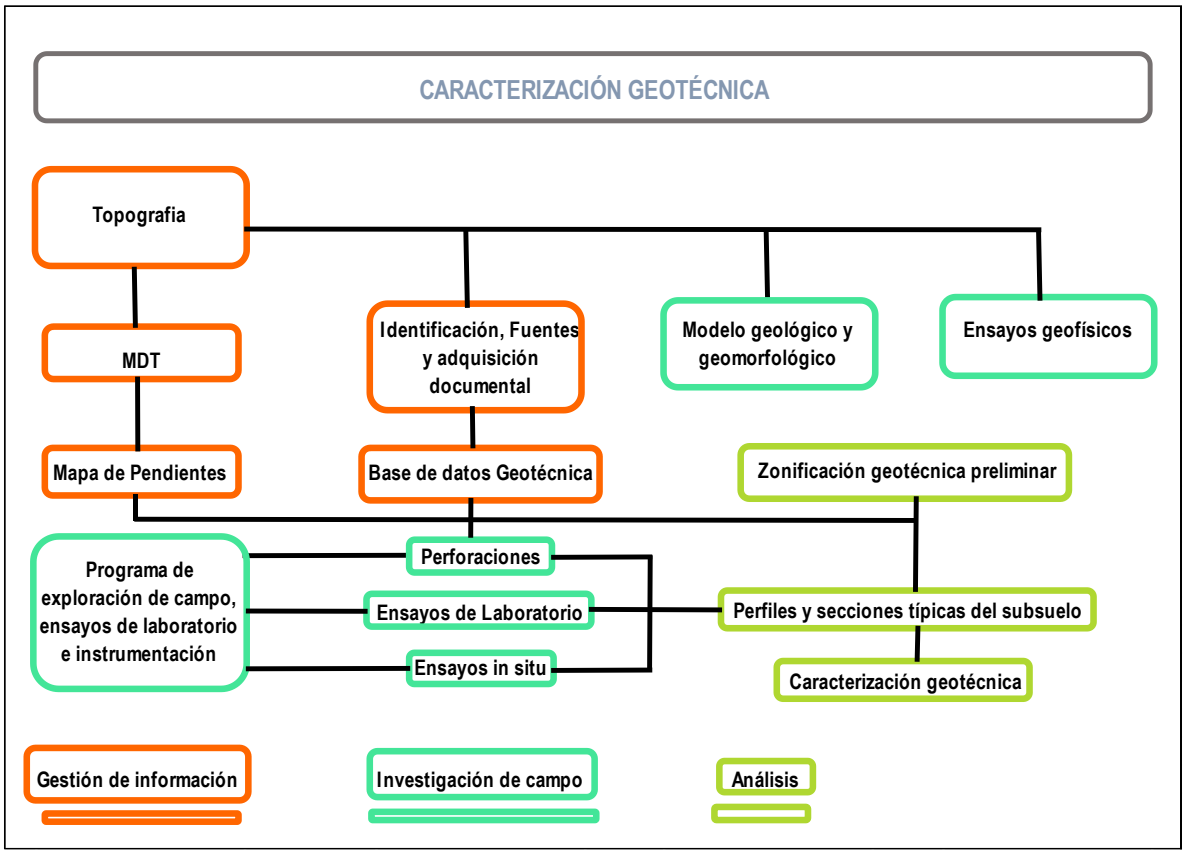


Ilustración 1 Metodología general para la caracterización geotécnica.

1.2. EXPLORACION GEOTECNICA

Las exploraciones realizadas en el lugar de estudio fueron ejecutadas, para ello se planteó una investigación compuesta por tres sondeos que se realizaron de la siguiente manera:

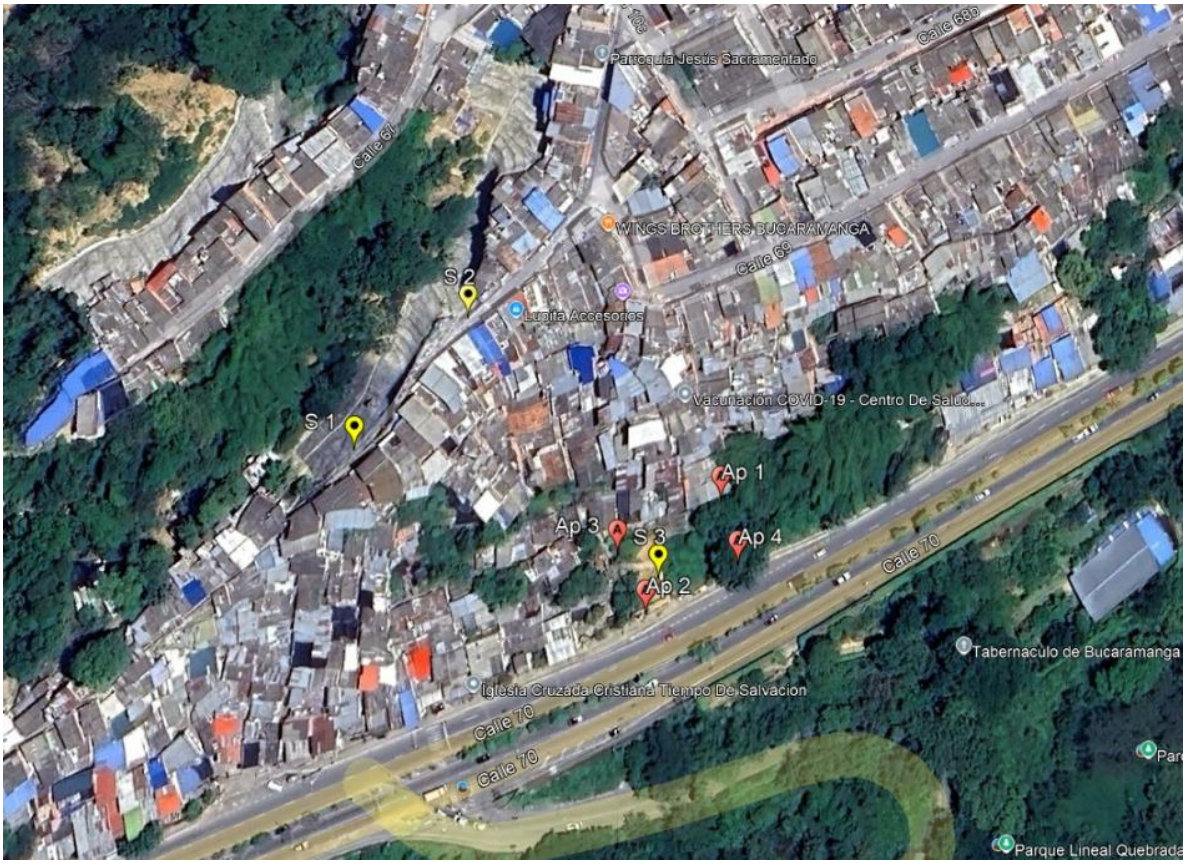


Ilustración 2 Localización de sondeos. Fuente: Autores

Tabla 1. Localización de sondeos y apiques.

Exploracion Geotecnica				
Exploracion	Norte	Este	Norte	Este
Apique 1	7.09469758	-73.11923323	1276408.07	1105868.11
Apique 2	7.094396	-73.119434	1276374.67	1105845.99
Apique 3	7.094555	-73.11951	1276392.24	1105837.56
Apique 4	7.094526	-73.119188	1276389.11	1105873.14
Sondeo 1	7.09483271	-73.1202205	1276422.77	1105758.91
Sondeo 2	7.095192	-73.11992	1276462.61	1105792.11
Sondeo 3	7.09448962	-73.1194002	1276385.09	1105849.15

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

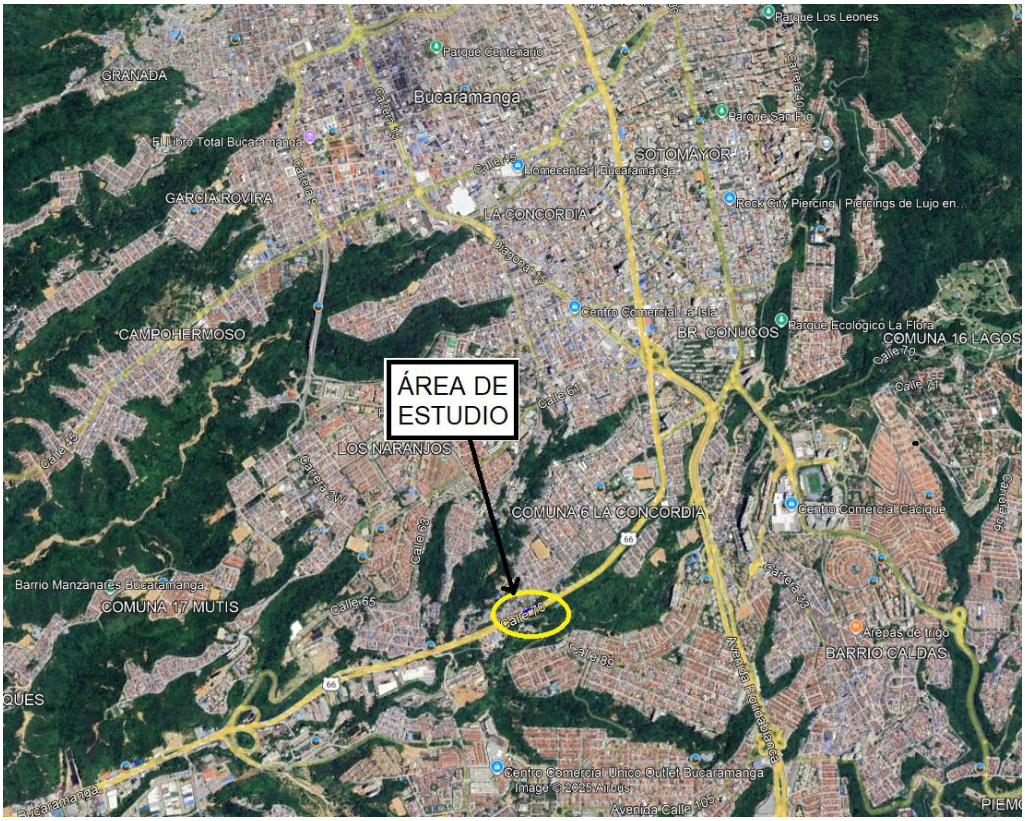
- Adquirir una tomografía eléctrica para la prospección del subsuelo.
- Realizar en los puntos adecuado la tomografía Geoeléctrica, con el objetivo de identificar los extractos del suelo y las velocidades de onda.

- 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 África 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 LA LÍNEA TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

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

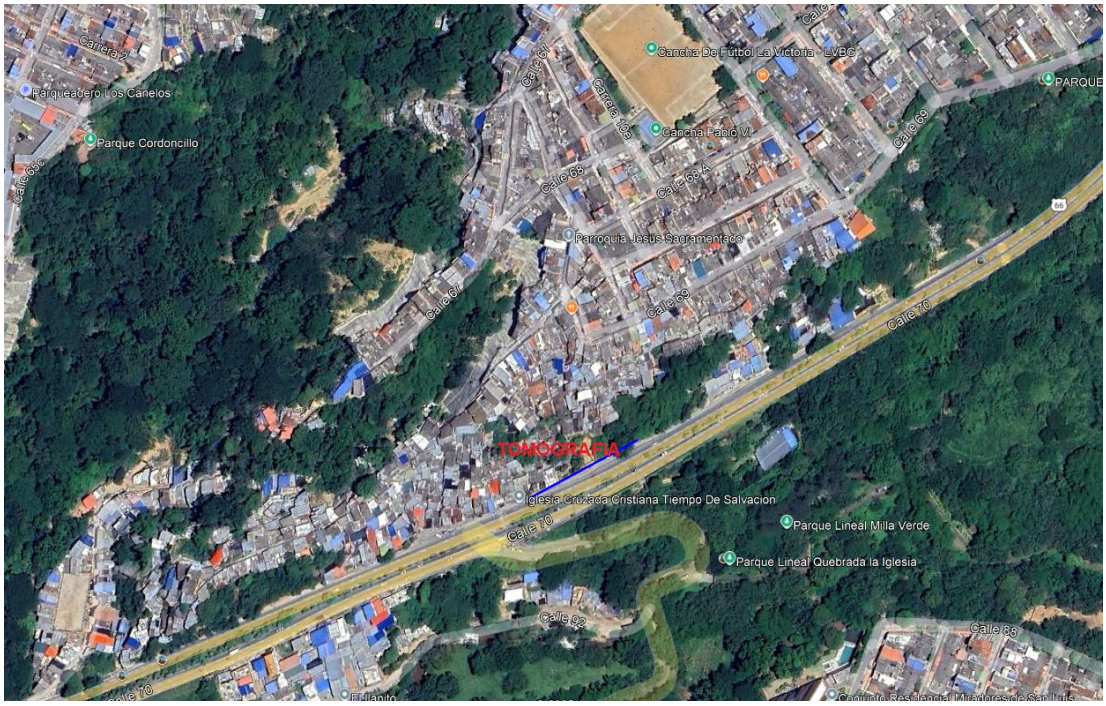
Tabla 2. Coordenadas de inicio y fin de la línea de tomografía eléctrica.

LÍNEA	COORDENADAS			
	INICIO		FIN	
	latitud	longitud	latitud	longitud
TOMO 1	7° 5'39.15"N	73° 7'11.28"O	7° 5'40.49"N	73° 7'8.71"O

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







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.

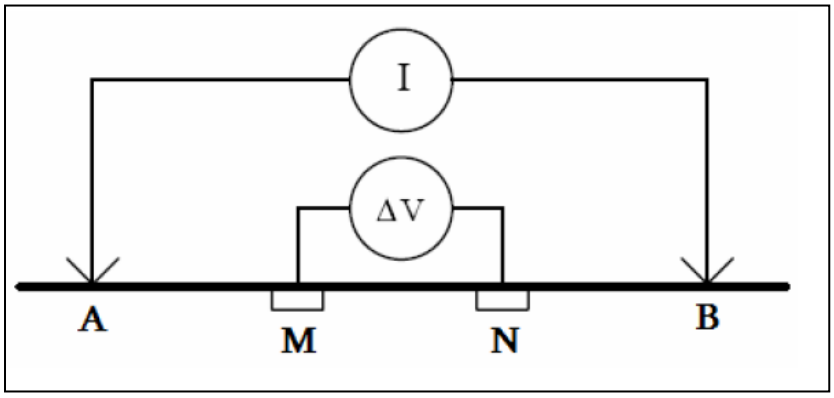
El resultado obtenido mediante la técnica de Tomografía es una imagen geo eléctrica o sección de alta resolución con una muy buena aproximación del modelo de resistividades y profundidades verdaderas del subsuelo, resultado que puede ser, en la mayoría de los casos, correlacionado y constatado con las 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.



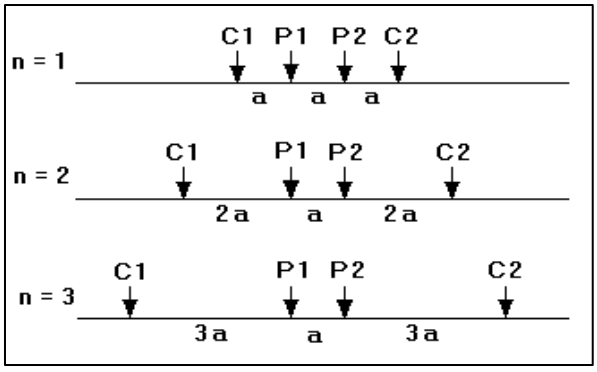
Fuente: Autores.

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.

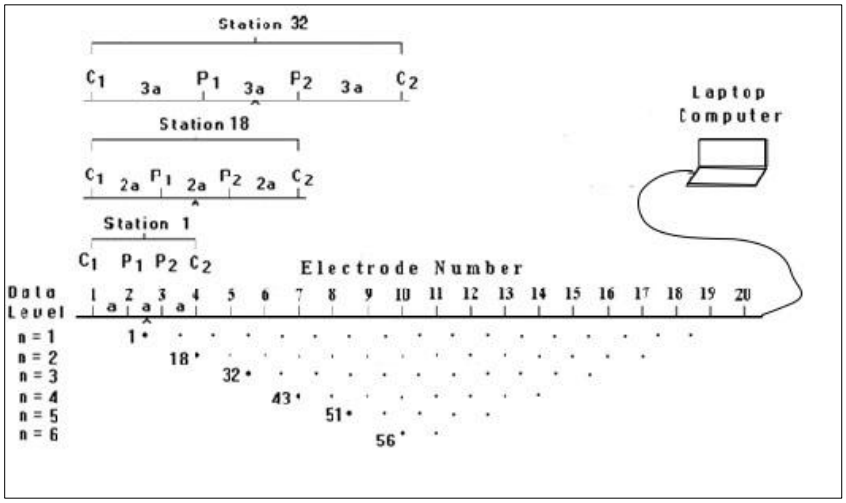
En el sondeo eléctrico vertical, la distancia P1P2 (electrodos de potencial eléctrico) mantiene su distancia a y la distancia C1P1 y P2C2 va aumentando en un múltiplo de a.

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.

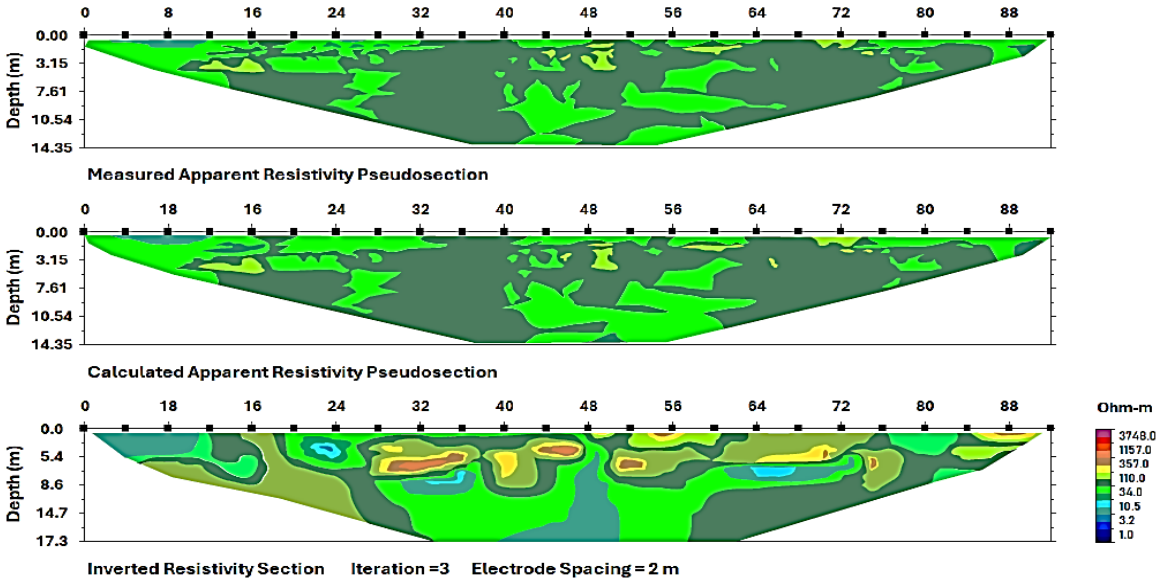


Equipo ABEM TERRAMETER LS 2 fabricado por la empresa Guideline Geo. Es un equipo multicanal portátil, medidor de resistividad del subsuelo e IP, con almacenamiento de lecturas en memoria con ciclos de medidas definidos por el usuario. El equipo cuenta con 2 canales de adquisición y 48 electrodos.

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 región superficial corresponde a una capa de geometría irregular y distribución continua, de espesor variable, entre 1 m a 5 m, con registro en el valor de resistividades entre 10.5Ω*m y 110Ω*m. Esta primera capa se relaciona probablemente con el Suelo areno-limoso. Infrayacente, se identifica una capa de espesor variable entre 11 m y 14 m (el total es desconocido) con resistividades entres 34Ω*m y 110Ω*m, interpretado como Suelo gravoso del miembro órganos, así mismo, capas de geometría irregular alargadas, discontinuas, con resistividades entre 357*m y 1157 Ω*m, definidas como niveles gravosos que conforman el Suelo transportado fluviotorrencial gravoso (Stft) perteneciente a la Formación Bucaramanga-Miembro Gravoso (Qbg)

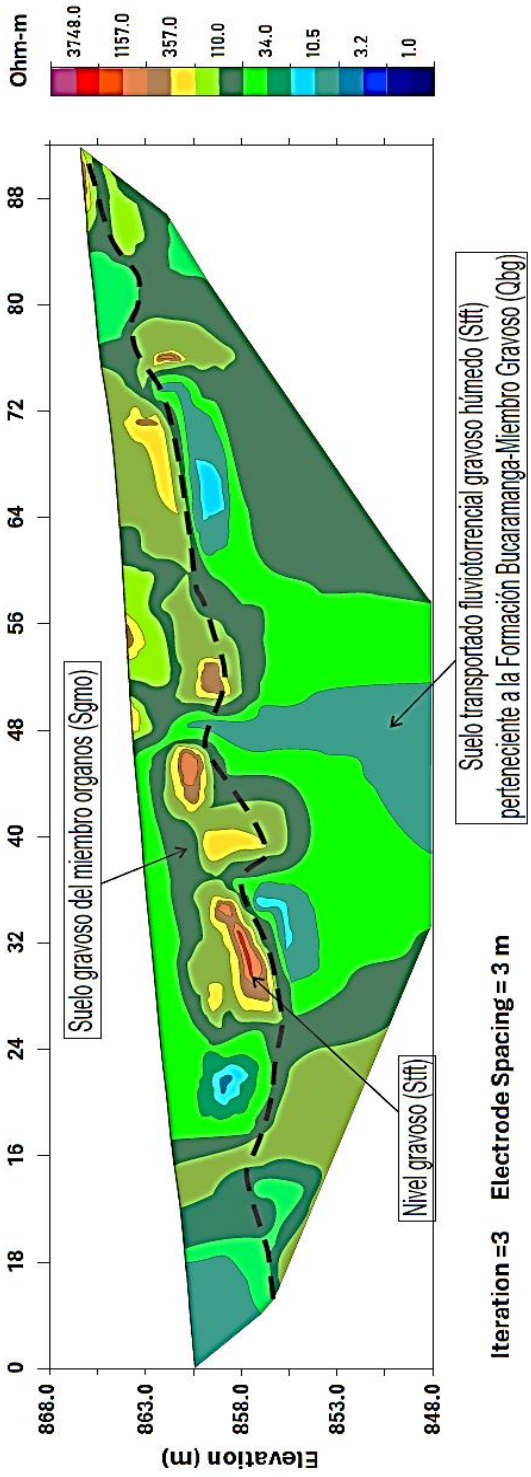


Ilustración 10 Perfil tomografía de resistividad eléctrica LGE1

CONCLUSIONES

De acuerdo con las observaciones de campo y la interpretación de la línea de tomografía 1 se tienen las siguientes conclusiones.

- **TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA LGE1**

La región superficial corresponde a una capa de geometría irregular y distribución continua, de espesor variable, entre 1 m a 5 m, con registro en el valor de resistividades entre 10.5Ω*m y 110Ω*m. Esta primera capa se relaciona probablemente con el Suelo areno-limoso. Infrayacente, se identifica una capa de espesor variable entre 11 m y 14 m (el total es desconocido) con resistividades entres 34Ω*m y 110Ω*m, interpretado como Suelo gravoso del miembro órganos, así mismo, capas de geometría irregular alargadas, discontinuas, con resistividades entre 357*m y 1157 Ω*m, definidas como niveles gravosos que conforman el Suelo transportado fluviotorrencial gravoso (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 del barrio Africa del municipio de Bucaramanga.

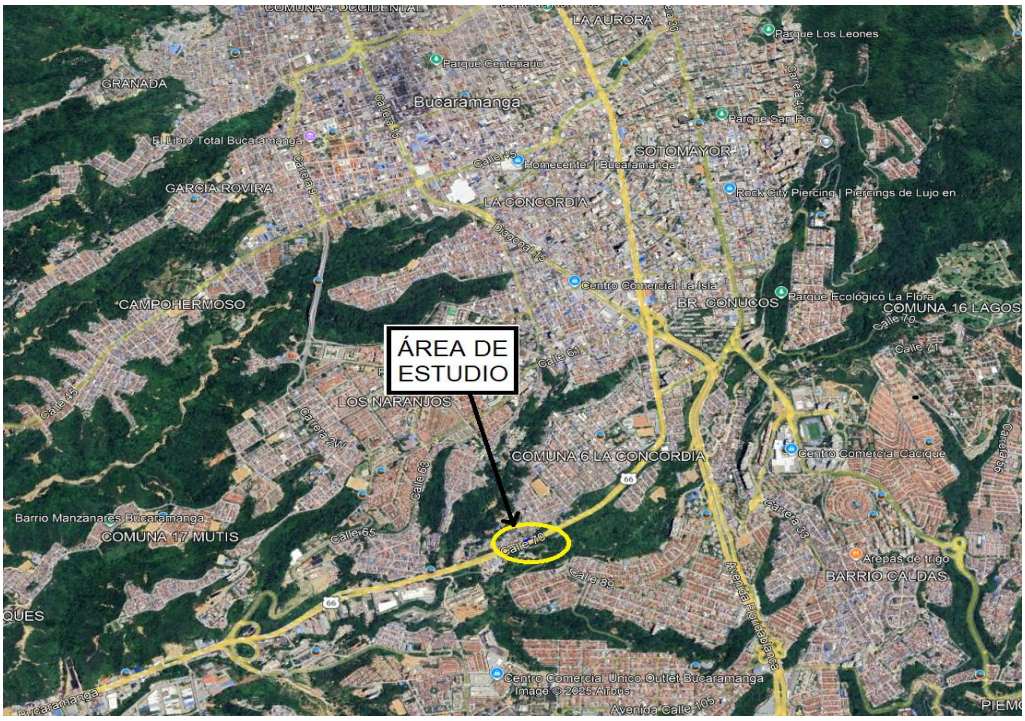
ESPECÍFICOS

- Adquirir una línea de refracción sísmica para la prospección del subsuelo en el barrio Africa.
- 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 África en el municipio de Bucaramanga en el departamento de Santander.

Ilustración 11 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 LAS 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	7° 5'41.22"N	73° 7'12.82"O	7° 5'43.72"N	73° 7'10.59"O

Ilustración 12 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.

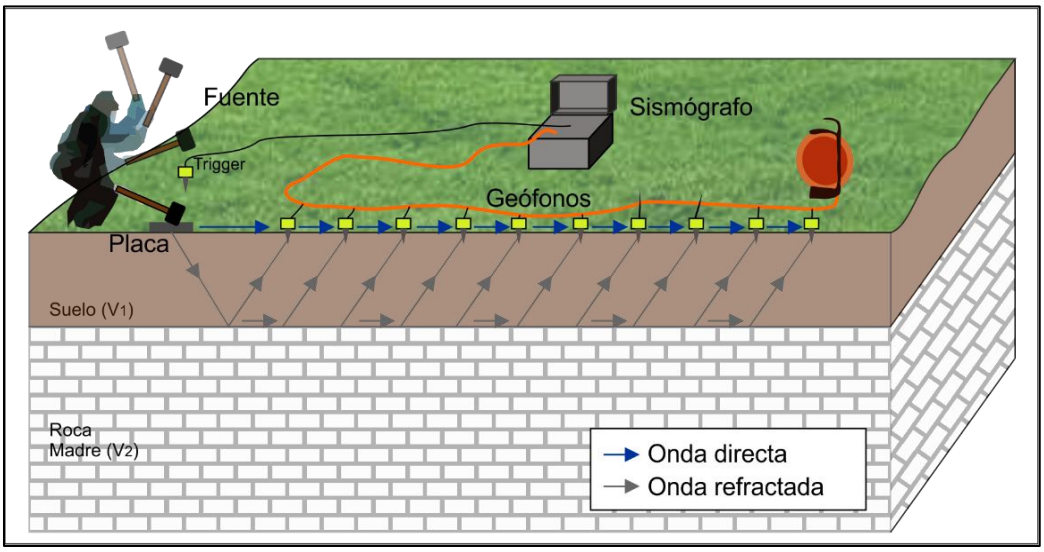
Parámetros de registro y muestreo de la refracción sísmica

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



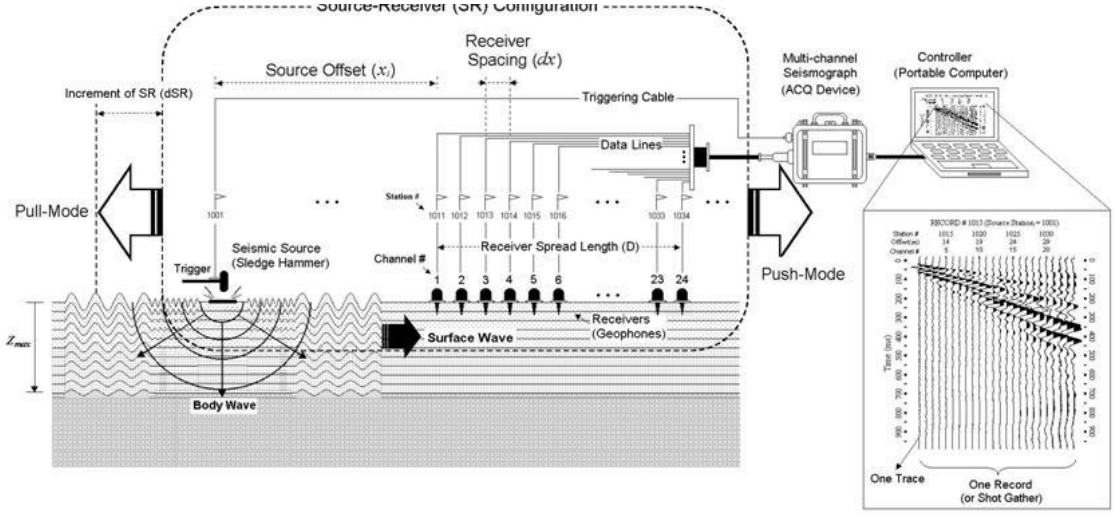
3.6. ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES (MASW)

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 14 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.

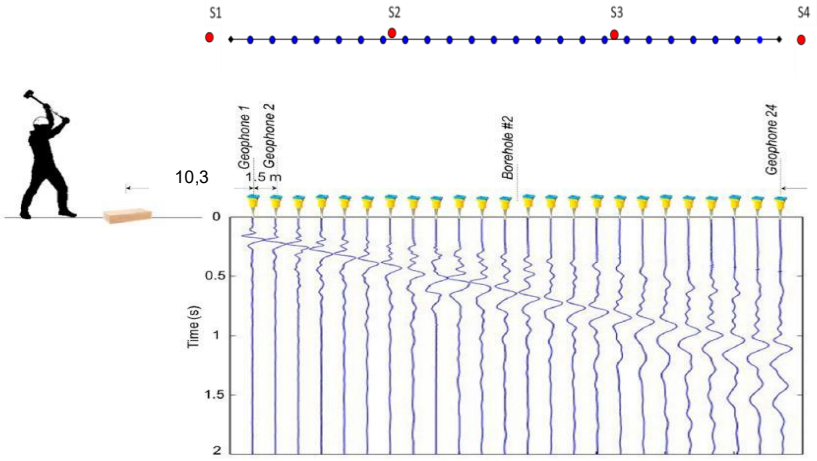
Parámetros	Descripción
Mediciones	Velocidad de fase de las ondas Rayleigh
Tamaño de arreglo	69 m
Arreglo geométrico	Lineal
Número total canales	24
Intervalo entre geófonos	3 m
Tipo de geófono	4,5 HZ
Ganancia de preamplificación	24 db

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).

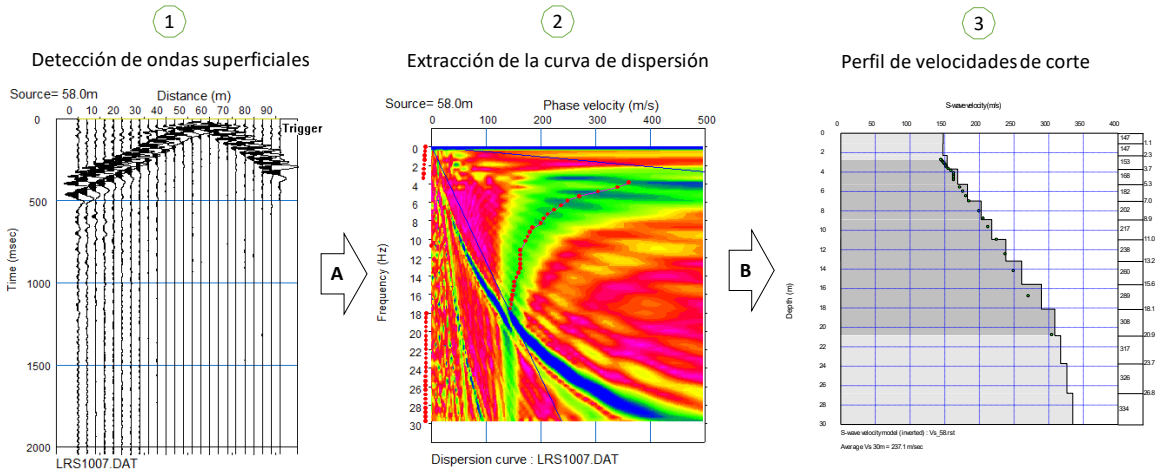
Disparos S2 y S3 localizados la parte media del tendido, a una distancia de 27.4 m a partir del geófono 1 y geófono 24 (30% de la longitud del arreglo).

Ilustración 15 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 16 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 17 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

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

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

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 $\bar{s}_u \geq 100$ 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 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 **w** ≥ 40% 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: 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. F_2 — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (**H** > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F_3 — Arcillas de muy alta plasticidad (**H** > 7.5 m con Índice de Plasticidad **IP** > 75) F_4 — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (**H** > 36 m)	

3.11. ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA LÍNEA LRS1

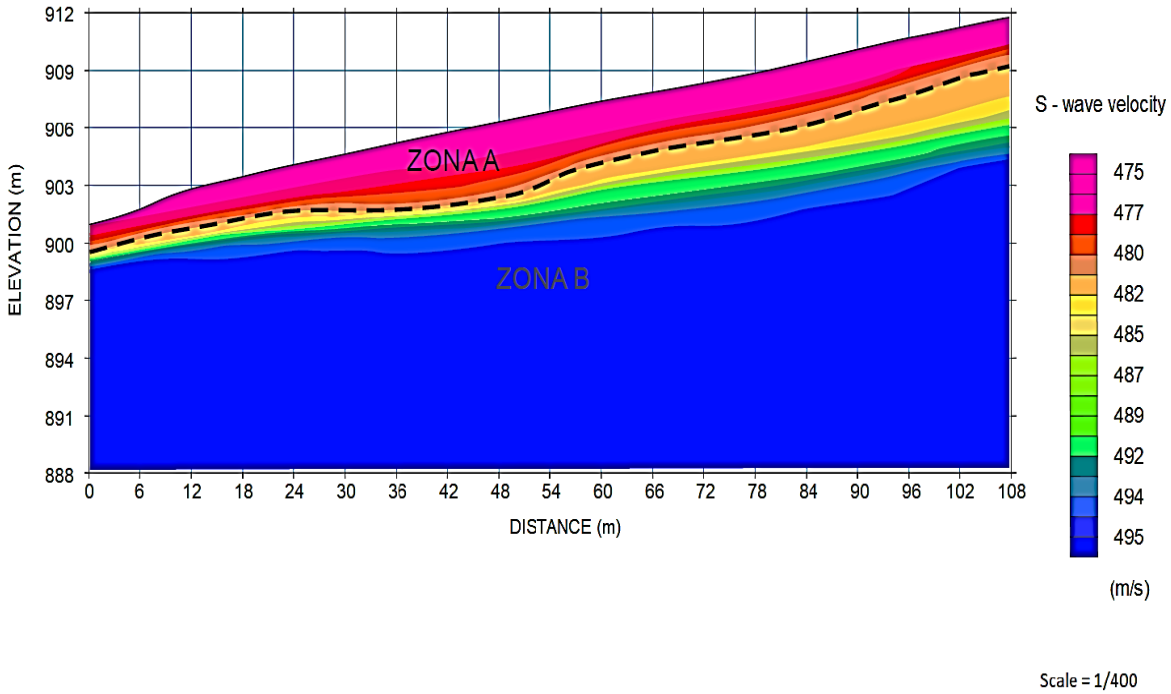
De acuerdo con los resultados de las ondas de corte Vp, en comparación con lo observado en el terreno se tiene:

La imagen de Tomografía Sísmica LRS1 presenta un modelo detallado calculado por elementos finitos, el cual permite observar más de 10 capas que muestran la variación de la velocidad con la profundidad, muy útil para la identificación de anomalías geofísicas importantes y una buena interpretación.

De acuerdo a los resultados de la tomografía sísmica se identifica dos zonas, la ZONA A corresponde a un depósito cuaternario con cierto grado de consolidación, con un espesor que varía entre los 1 y 4 metros aproximadamente.
La ZONA B corresponde a un depósito con mayor grado de consolidación, presentando un ligero aumento en las velocidades de la onda compresional (Vp), como respuesta al mejoramiento existente en el talud, debido a la construcción de la pantalla de anclajes.

No se evidencia anomalías geofísicas significativas a lo largo del perfil sísmico.

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



Fuente: Autores.

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	475 - 480	1 - 4	Depósito cuaternario con cierto grado de consolidación
B	480 - 495	Superior a 10	Depósito con mayor grado de consolidación

4. ANALISIS GEOLÓGICO

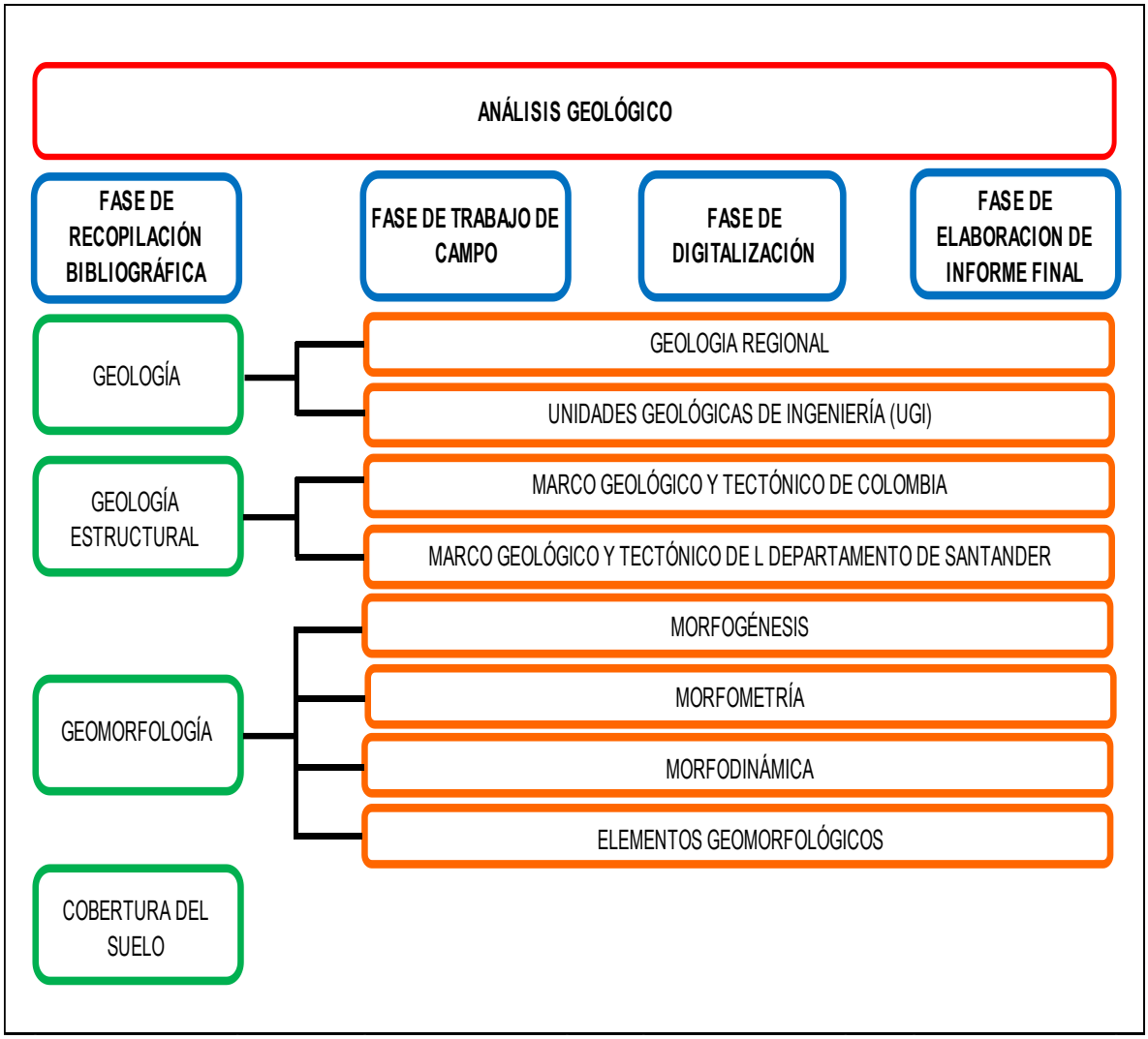


Tabla 7. Contendido Geología

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 África, ubicada en el sector suroriental de Bucaramanga, se encuentra dentro del ámbito geológico del valle del río de Oro, en una franja transicional entre las planicies aluviales recientes y las terrazas antiguas que caracterizan la morfología de la cuenca baja del área metropolitana. Este sector representa una unidad intermedia dentro del sistema de depósitos cuaternarios que bordean la ciudad, donde se evidencia un contacto lateral entre los aluviones modernos (Qal) y las terrazas y abanicos cuaternarios (Qtf). Dicho contacto marca una transición

temporal y ambiental entre procesos de sedimentación activa y depósitos relictos que registran fases de mayor energía fluvial (Ward et al., (1973)).

Desde el punto de vista geotectónico, el área forma parte del Macizo de Santander, una estructura polimetamórfica que constituye el núcleo más estable de la Cordillera Oriental. Este macizo, intensamente fracturado, está limitado por la Falla de Bucaramanga–Santa Marta, una de las estructuras más importantes del nororiente colombiano, que ha condicionado la morfología y evolución sedimentaria de los valles adyacentes (SGC, 2015). Aunque el sector de África no se encuentra directamente sobre la traza de esta falla, su influencia estructural es evidente en la disposición del drenaje y en la incisión del río de Oro, que ha generado superficies escalonadas de terraza y planicie (INGEOMINAS; Ward et al., (1973)).

A nivel regional, la configuración geológica del área responde a procesos combinados de tectónica compresiva andina, variaciones climáticas cuaternarias y dinámica fluvial activa. Durante el Pleistoceno, los cambios en el nivel de base y en el régimen hidrológico propiciaron la formación de abanicos aluviales y terrazas (Qtf) a lo largo de los valles intramontanos. Posteriormente, en el Holoceno, las oscilaciones climáticas y la reactivación tectónica dieron origen a la sedimentación de los aluviones actuales (Qal), representando ambientes de mayor humedad y estabilidad fluvial (SGC, 2015; Ward et al., (1973)).

En la actualidad, el paisaje de África refleja esa superposición de unidades. Las terrazas (Qtf) se presentan como superficies ligeramente elevadas y disectadas, mientras que las planicies de inundación (Qal) se localizan en zonas más bajas, adyacentes a los cauces activos. Esta diferenciación geomorfológica está acompañada por contrastes litológicos y estructurales que permiten distinguir los episodios sucesivos de depositación cuaternaria. Así, el área constituye un punto clave para comprender la evolución sedimentaria reciente del valle de Bucaramanga–Girón, donde la influencia tectónica, la erosión fluvial y la acumulación aluvial interactúan de manera continua (Ward et al., (1973); SGC, 2015).

En el entorno de África predominan dos unidades cuaternarias: los aluviones recientes del Holoceno (Qal) y las terrazas y conos de deyección cuaternarios antiguos (Qtf). Ambas están estrechamente relacionadas espacial y genéticamente, constituyendo la secuencia más joven de la evolución sedimentaria del valle del río de Oro.

La unidad Qal está compuesta por depósitos de arenas finas a medias, limos y gravas, dispuestos en secuencias lenticulares con estratificación cruzada y laminación paralela, típicas de ambientes fluviales de baja energía. Representa los depósitos más recientes formados por procesos de inundación, carga en suspensión y migración lateral del cauce principal. Estos materiales son poco consolidados y muestran una granulometría heterogénea, lo cual refleja la dinámica variable del río de Oro en su fase actual (Ward et al., (1973)).

En contraste, la unidad Qtf corresponde a depósitos de terraza y abanico desarrollados durante periodos de mayor energía erosiva. Está conformada por conglomerados polimícticos, arenas gruesas y niveles arcillo-limosos compactos, dispuestos en estratos de mediano espesor. Estos sedimentos fueron depositados por corrientes fluviales más activas, con aportes coluviales desde las laderas cercanas, antes de que el cauce principal incursionara nuevamente en su actual nivel de base. La posición topográfica más alta de Qtf en el sector de África indica su mayor antigüedad relativa respecto a Qal, en concordancia con el modelo evolutivo de terrazas fluviales del Cuaternario (SGC, 2015; Ward et al., (1973)).

El contacto entre Qtf y Qal es generalmente transicional y erosivo, mostrando una progresión de sedimentos consolidados a sueltos conforme se aproxima al cauce activo. Esta relación sugiere una secuencia regresiva donde las terrazas fueron parcialmente erosionadas y redepositadas durante episodios posteriores de crecida y cambio climático. En conjunto, estas unidades constituyen el registro más reciente del relleno sedimentario cuaternario de Bucaramanga, indicando la persistencia de procesos fluviales activos y la influencia de la tectónica andina en la configuración actual del relieve (Ward et al., (1973); SGC, 2015).

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.

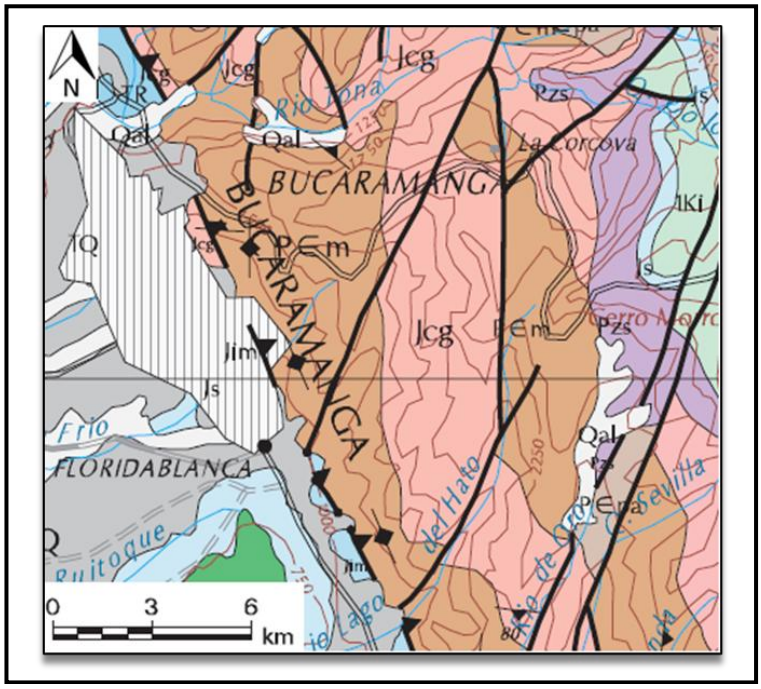


Ilustración 18 Unidad Neis de Bucaramanga ubicada al este del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 1999).

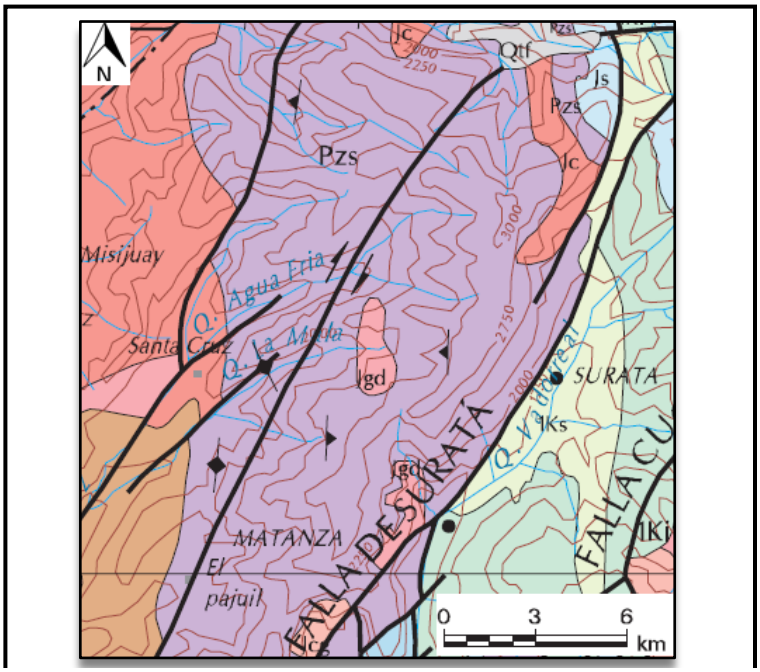


Ilustración 19 Formación Silgará en los alrededores de Matanza y Suratá. Ubicada al Noreste del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 1999).

- **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 2º y 7º, 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).

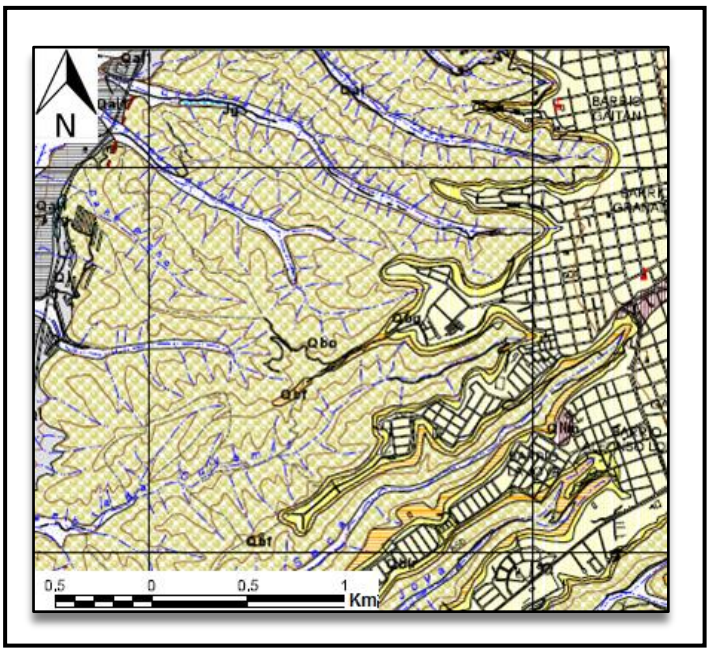


Ilustración 20 Formación Bucaramanga Miembro Órganos (Qbo), al oeste del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

- **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).

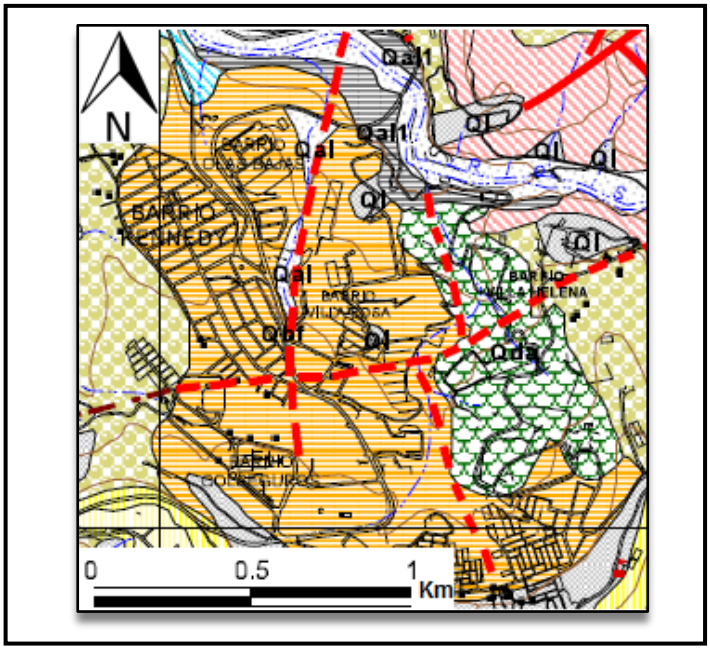


Ilustración 21 Formación Bucaramanga Miembro Finos, al norte del municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

- **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.

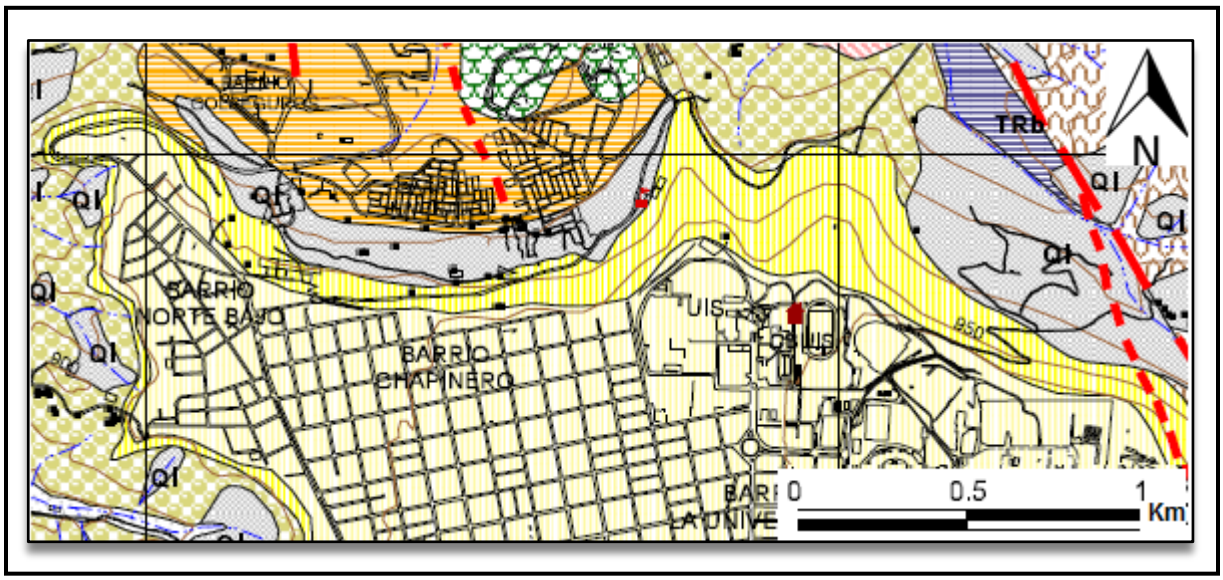


Ilustración 22 Formación Bucaramanga Miembro Gravoso, al norte del municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

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)

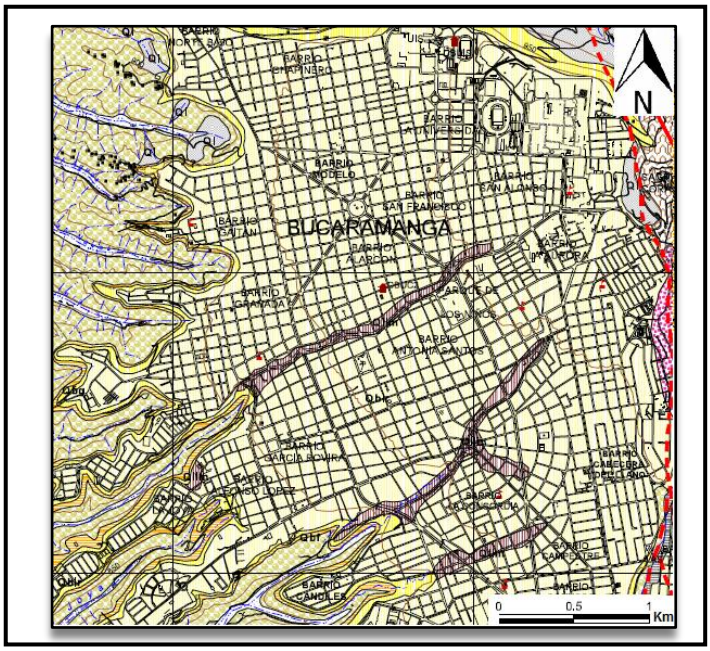


Ilustración 23 Formación Bucaramanga Miembro Limos Rojos (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

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

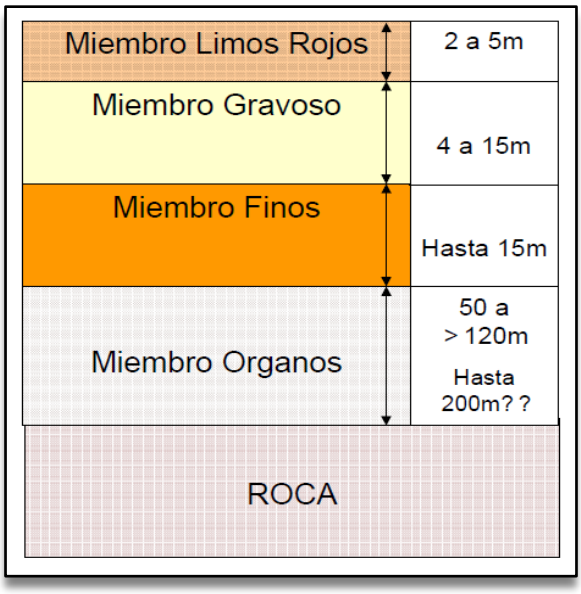


Ilustración 24 Perfil típico y espesores promedio de la Formación Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

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 África se reconocen tres unidades principales: un suelo gravoso del miembro Órganos, dominante en el área, compuesto por gravas y bloques dentro de una matriz limo-arcillosa erosionable; suelos coluviales antiguos, moderadamente compactos y con fuerte influencia vegetal, derivados del retrabajo de los depósitos gravosos; y suelos coluviales recientes, materiales sueltos y heterogéneos ubicados en concavidades y pies de talud.

SUELO GRAVOSO DEL MIEMBRO ÓRGANOS DE LA FORMACIÓN BUCARAMANGA (Sgmofb)

Corresponde a un suelo gravoso desarrollado sobre los conglomerados del miembro Órganos de la Formación Bucaramanga. Es un depósito matriz-soportado, con matriz limo-arcillosa, altamente erosionable, que incluye bloques y cantos redondeados a subredondeados. Se reconocen fragmentos de limolitas rojas alteradas y bloques de cuarcitas frescas, con lentes intercalados de arcillas limo-arenosas, con grado de meteorización medio y buena permeabilidad por la presencia de gravas.

SUELOS COLUVIALES ANTIGUOS (Sca)

Unidad con suelos coluviales antiguos sobre la ladera bajo las viviendas, con fuerte cobertura de vegetación herbácea y arbustiva. El material es una mezcla de gravas y cantos subangulares a subredondeados dentro de una matriz limo-arcillosa pardo rojizo, moderadamente compacta, producto de la alteración de los depósitos gravosos del Miembro Órganos. Presenta meteorización intermedia a alta, con estructura masiva a débilmente agregada y presencia de raíces finas y medianas.



Ilustración 25 Suelos coluviales antiguos, sector África

SUELOS COLUVIALES RECIENTES (Scr)

Corresponde a suelos asociados a un depósito coluvial joven localizados al pie de pequeños taludes y en pequeñas concavidades dentro del sector. Están formados por materiales sueltos y heterogéneos, con bloques y cantos subangulares a subredondeados, inmersos en una matriz arenoso-limosa y arcillosa. Son suelos con un grado de meteorización bajo a intermedio.

CÓDIGO UGI	UNIDAD GEOLOGICA PARA INGENIERÍA	ÁREA (HECTÁREAS)
Sgmo	Suelo gravoso del miembro órganos	0,56
Sca	Suelos coluviales antiguos	0,09
Scr	Suelos coluviales recientes	0,030

Tabla 8. Clasificación unidades geológicas para ingeniería UGI, sector África



Ilustración 26 Mapa de unidades geológicas para ingeniería, Sector África

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

El relieve del sector África se ha desarrollado sobre una ladera de origen coluvial-aluvial. La morfogénesis está controlada por la acumulación sucesiva de materiales transportados por gravedad y escorrentía, que generaron una combinación de material de diferentes tamaños de suelos coluviales antiguos en las zonas con mayor cobertura vegetal y coluviales recientes en concavidades y depresiones activas.

En la parte central y más consolidada del área de estudio, sobre el cual se levantan las viviendas, domina un sustrato de suelo gravoso, que constituye la base morfogénica de la ladera. Este material grueso, producto de antiguos procesos fluviales y de abanico, ha sido posteriormente modificado por meteorización y por aportes coluviales desde los bordes superiores.

La evolución de la pendiente muestra un modelado controlado por procesos de remoción lateral, que han ido suavizando la ladera y generando ligeras depresiones donde se acumulan coluviones recientes. La presencia de senderos, construcciones y canalización de aguas lluvias ha modificado parcialmente la geometría original de la ladera.

5.2. MORFOMETRÍA

El análisis morfométrico en este estudio AVR busca comprender cómo la forma del relieve condiciona. 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. PENDIENTES

El terreno del sector África presenta una morfología predominantemente inclinada a moderadamente abrupta, con pendientes que oscilan entre 8° y 35°, lo cual coincide con la disposición de la ladera hacia la vía principal. Las zonas más estables corresponden a pequeñas áreas suavemente inclinadas,

ubicadas en el extremo nororiental y en algunos rellenos generados por intervenciones antrópicas dentro del sector.

Los sectores con pendientes moderadamente abruptas entre 8° y16°, se distribuyen de manera continua en el centro del sector, donde se desarrollan la mayoría de las viviendas. Este patrón refleja un modelado natural suavizado por acumulación coluvial y por nivelaciones realizadas para la construcción. Las áreas con pendientes abruptas entre 16° y 35° se concentran en los bordes de la ladera, especialmente hacia la parte sur y suroccidental, donde se identifican pequeños taludes. Estas zonas muestran mayor susceptibilidad a procesos de erosión y pequeños deslizamientos superficiales.

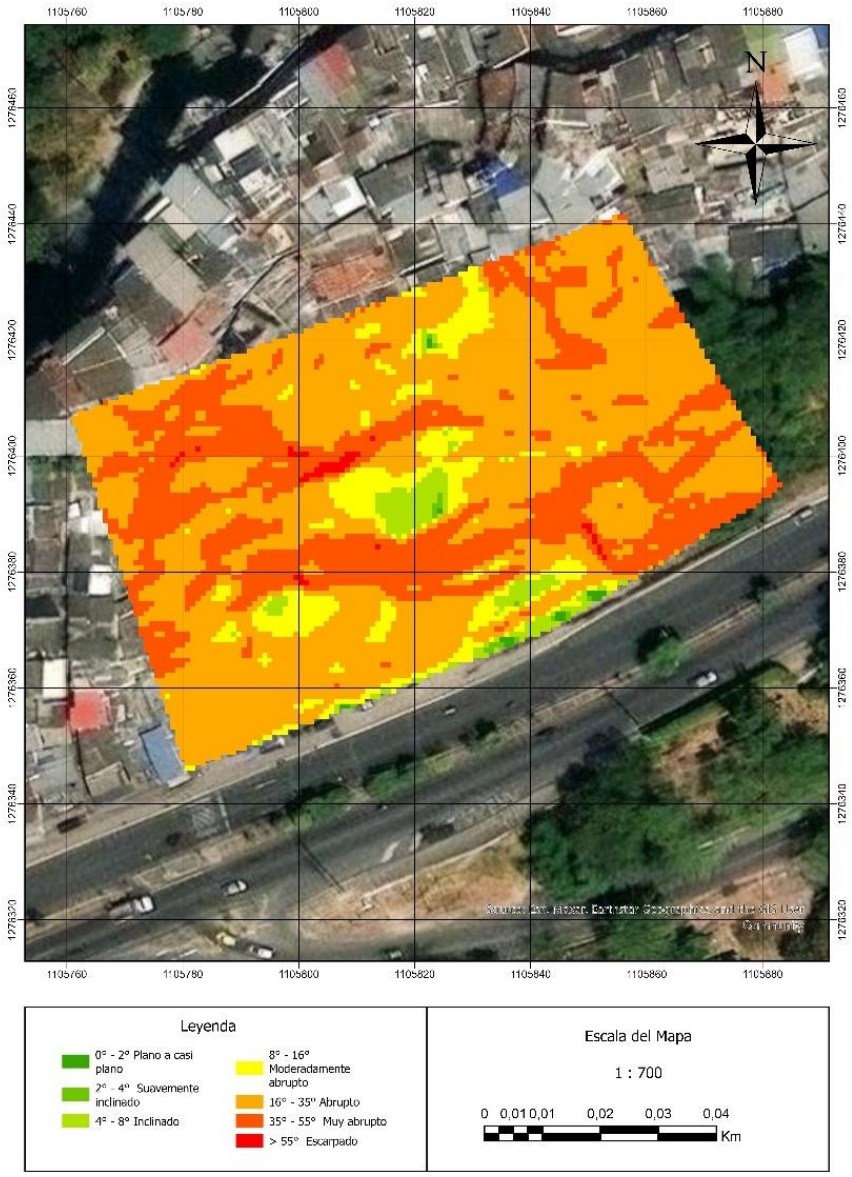


Ilustración 27 Mapa de Pendientes, sector África

5.2.2. CURVATURA

La curvatura del terreno en el sector África muestra un relieve dominado por superficies planas a semiplanas, que corresponden a la mayor parte del área central y coinciden con las zonas donde se han realizado nivelaciones y adaptaciones para la construcción de viviendas. Las zonas con laderas semiplanas indican un modelado relativamente suavizado sobre los materiales coluviales y el suelo gravoso subyacente.

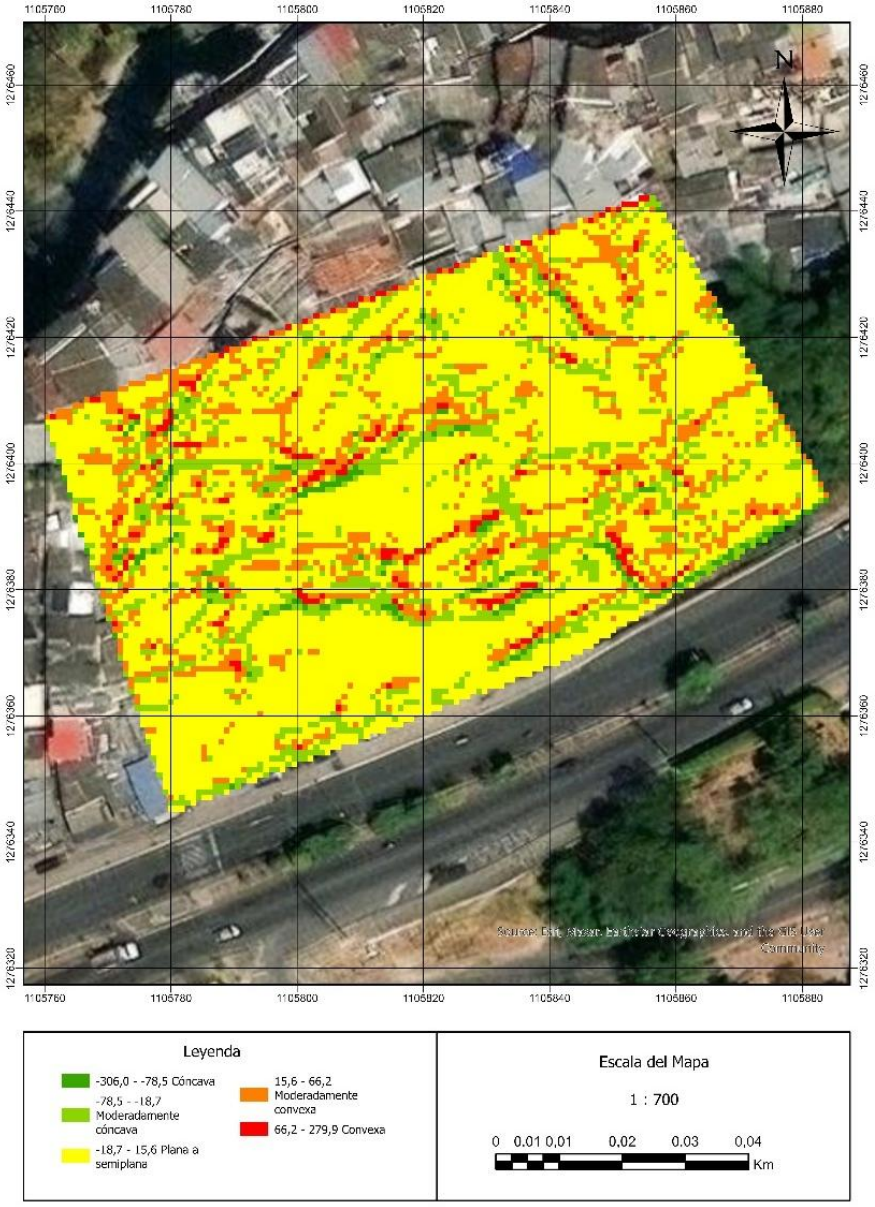


Ilustración 28. Mapa de curvatura del terreno, sector África

Hacia los bordes sur, suroccidente y algunos puntos del límite noroccidental aparecen sectores moderadamente convexos, asociados a pequeños lomos y resaltes formados por acumulaciones coluviales que favorecen el drenaje superficial.

Los sectores del área con superficies cóncavas y moderadamente cóncavas se distribuyen en pequeñas depresiones que atraviesan la ladera. Estos sectores representan áreas donde se concentra el flujo superficial, acumulando humedad y favoreciendo procesos de remoción de materiales finos, especialmente dentro de los coluviones recientes.

5.2.3. RUGOSIDAD

La rugosidad del terreno en el sector África muestra un patrón variado, con dominios de rugosidad baja a media en la mayor parte de la superficie central, donde el relieve es más continuo y suavizado por acumulación coluvial y construcciones antrópicas. Estos valores reflejan formas poco contrastadas, pendientes moderadas y ausencia de cambios bruscos en la topografía superficial.

Los niveles de rugosidad media a alta se concentran en franjas alargadas que atraviesan el área de estudio de norte a sur y de noreste a suroeste. Estas zonas coinciden con pequeños taludes, lomos erosivos y pequeños drenajes superficiales. Allí, la topografía presenta mayor variabilidad en distancias cortas, lo que indica una superficie más disectada y susceptible al desprendimiento de materiales

Las áreas con rugosidad muy alta aparecen sobre sectores puntuales del borde occidental y en el límite central, donde se combinan pendientes abruptas con irregularidades generadas por erosión, escorrentía concentrada y cortes para viviendas.

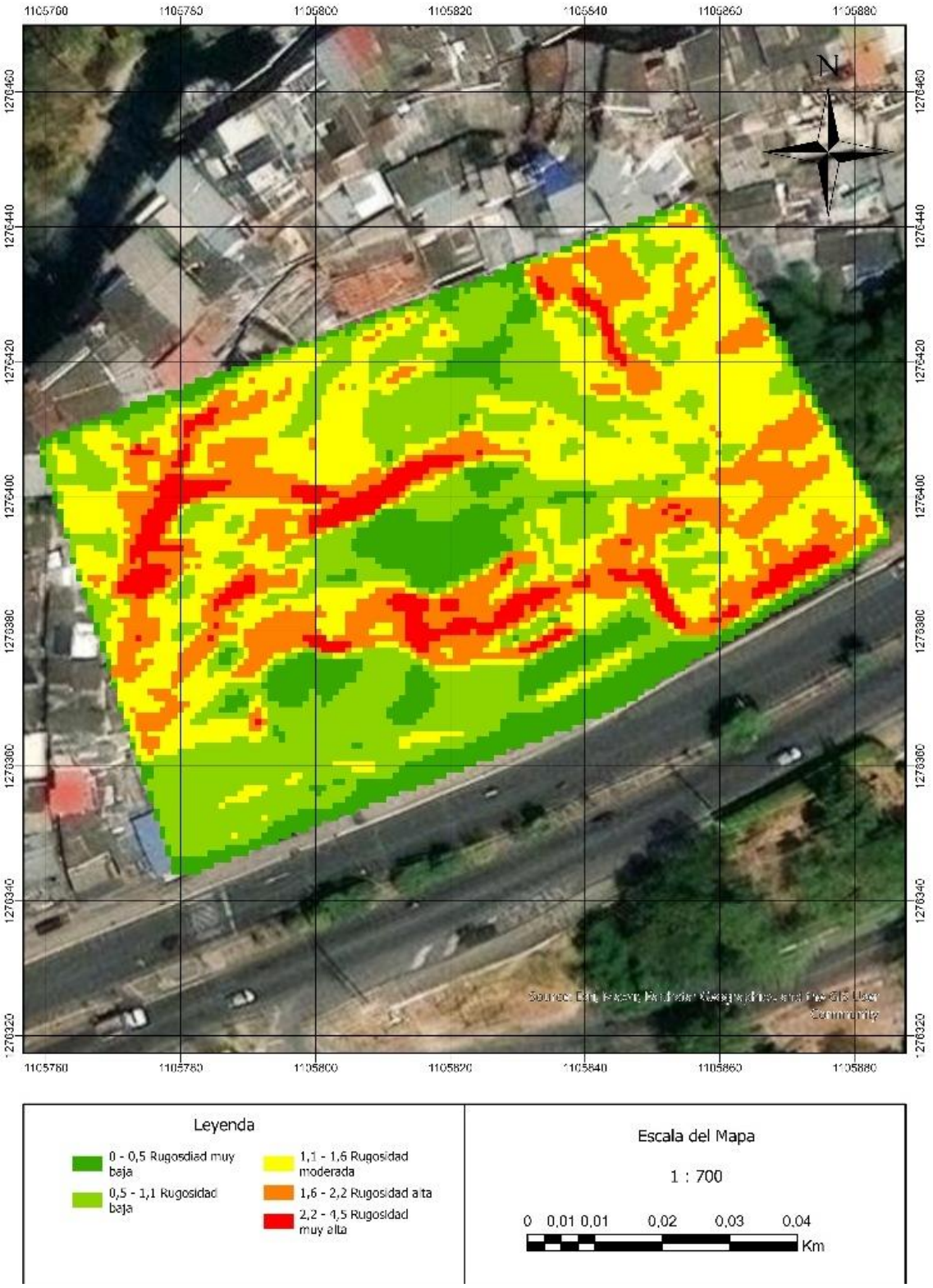


Ilustración 29. Mapa de curvatura del terreno, sector África

5.3. MORFODINÁMICA

La morfodinámica del sector África está controlada por la interacción entre una ladera coluvial activa, la presencia de pendientes moderadas a abruptas y la intervención antrópica. Los coluviones recientes ubicados en las zonas cóncavas y depresiones muestran los procesos más activos, con evidencias de erosión superficial, lavado de finos y pequeños movimientos de remoción que se reactivan durante las lluvias. Su estructura suelta y la concentración de escorrentía aumentan la susceptibilidad a deslizamientos superficiales. En contraste, los coluviones antiguos, presentan una dinámica más estable, aunque los cortes para senderos y la eliminación de la cobertura vegetal generan zonas localizadas de inestabilidad y exposición de taludes. En el sector central, la morfodinámica está dominada por modificaciones antrópicas, como nivelaciones, rellenos, cortes verticales y canalizaciones.

5.4. ELEMENTOS GEOMORFOLOGICOS

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. 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.

En el sector África las geoformas denudacionales se encuentran mediante laderas abruptas, muy abruptas y fuertemente disectadas, conformando un relieve inestable donde predominan pendientes pronunciadas. Estos elementos reflejan un modelado continuo por remoción superficial y retrabajo coluvial, generando superficies irregulares con susceptibilidad a erosión y deslizamientos superficiales, especialmente en sectores donde se combinan pendientes altas y materiales sueltos.

5.4.1. GEOFORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL

LADERA DENUDACIONAL ABRUPTA (Dlda)

Se localiza hacia el borde oriental del sector África, donde la ladera conserva su forma natural, pero presenta pendientes pronunciadas entre 16° y 35°, con microtaludes y superficies convexas. Este elemento refleja un modelado por remoción superficial y retroceso de la ladera. Los suelos coluviales antiguos expuestos mantienen susceptibilidad a pequeños deslizamientos superficiales durante periodos de lluvia.

LADERA DENUDACIONAL MUY DISECTADA (Dldm)

Ubicada en el centro y suroccidente del sector, donde el relieve presenta alta rugosidad, alternancia de crestas y canales estrechos. La disección se relaciona con la escorrentía concentrada que atraviesa el barrio y con el retrabajo constante del material coluvial. Las pendientes moderadas a abruptas y la presencia de zonas cóncavas favorecen el encauzamiento de flujos y el desarrollo de cárcavas incipientes. Es un elemento dinámico y clave en la distribución de materiales dentro de la ladera.



Ilustración 30. Ladera denudacional muy disectada, sector África

LADERA DENUDACIONAL MUY ABRUPTA (Dldmi)

Caracteriza el borde sur de la zona de estudio, donde se combinan pendientes muy pronunciadas mayores a 35°, cortes expuestos y alta variabilidad topográfica. Se observan discontinuidades superficiales que favorecen el movimiento descendente de bloques y sedimentos finos. La interacción entre coluviones recientes y antiguos, sumada a intervenciones antrópicas cercanas, puede generar condiciones de inestabilidad.

5.4.2. GEOFORMAS DE ORIGEN ANTRÓPICO

LADERA ABRUPTA ANTRÓPICA DE EXPLANACIÓN (Alde)

Corresponde a los taludes modificados artificialmente para habilitar plataformas de vivienda. Presentan pendientes abruptas, cortes casi verticales y superficies irregulares producto de excavaciones puntuales y rellenos locales. La dinámica está dominada por erosión superficial, socavación por escorrentía y desprendimientos menores debido a la falta de contención y a la exposición directa del suelo gravoso y coluvial.

CÓDIGO EGMF	ELEMENTO GEOMORFOLÓGICO	ÁREA HECTÁREAS
Alde	Ladera abrupta antrópica de explanación	0,476
Dlda	Ladera denudacional abrupta	0,08
Dldmi	Ladera denudacional muy disectada	0,05
Dldma	Ladera denudacional muy abrupta	0,07

Tabla 9. Clasificación de elementos geomorfológicos sector África

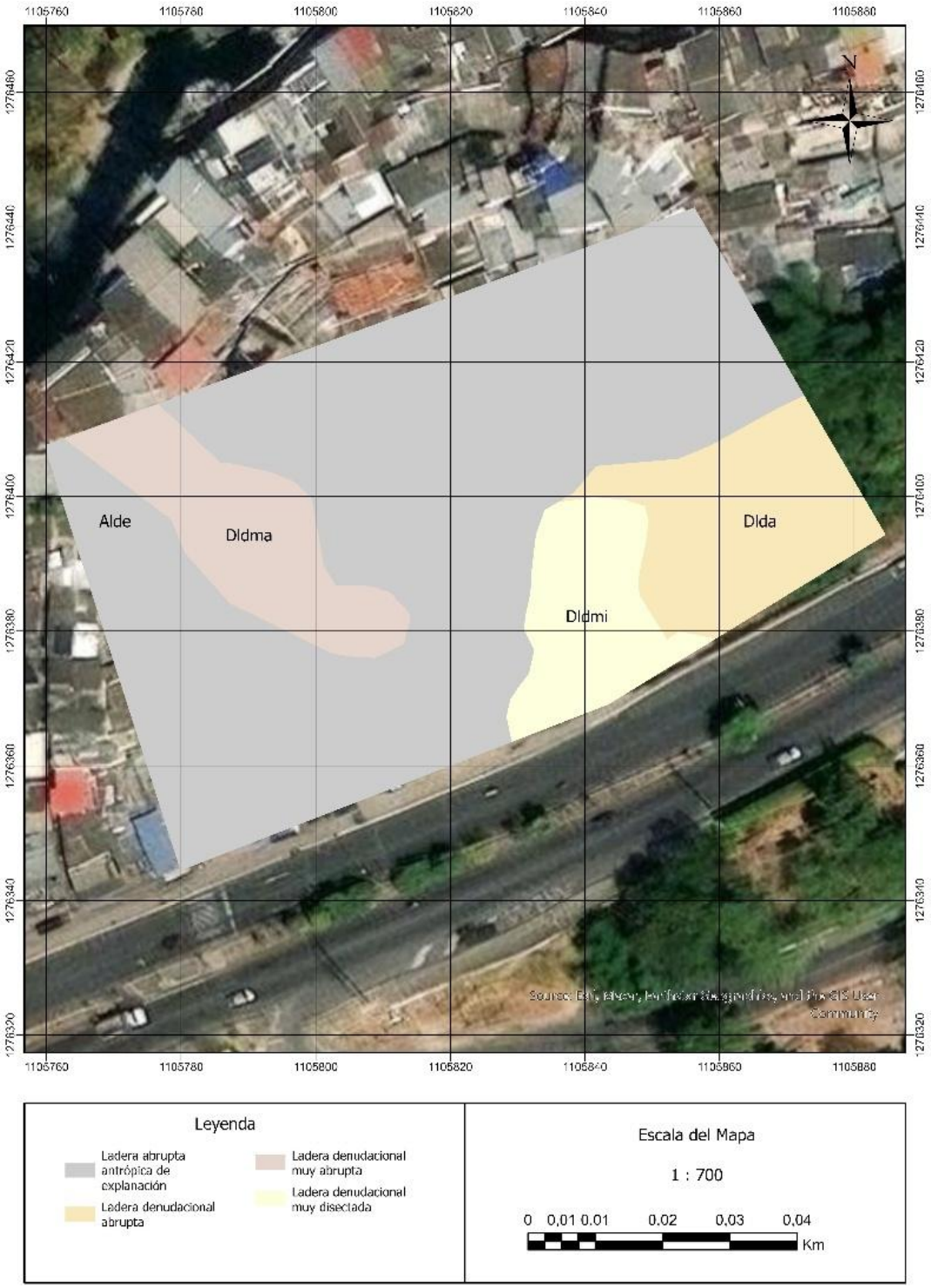


Ilustración 31. Mapa de elementos geomorfológicos, sector África

6. REGISTRO FOTOGRAFICO

- Apique 1:





- Apique 2:




FECHA: 20-10-2025
CONTRATO: 210.16218.4
LUGAR: AFRICA.
APIQUE: 2
PROFUNDIDAD: 0,00 - 1,57 mts.

- Apique 3:




FECHA: 20-10-2025
CONTRATO: 210.16218.4
LUGAR: AFRICA
APIQUE: 3
PROFUNDIDAD: 0,00 - 1,63 mts.

- Apique 4:

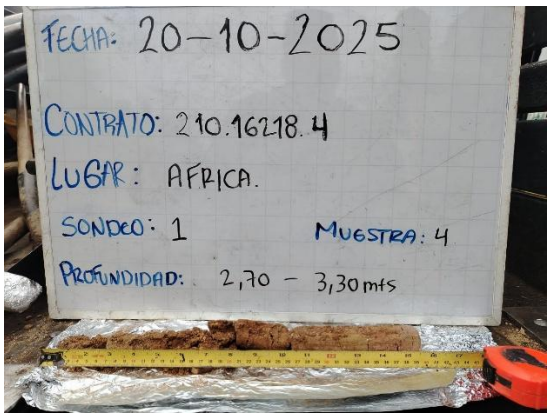

FECHA: 20-10-2025
CONTRATO: 210.16218.4
LUGAR: AFRICA.
APIQUE: 4
PROFUNDIDAD: 0,00 - 1,52 mts.



- Sondeo 1:





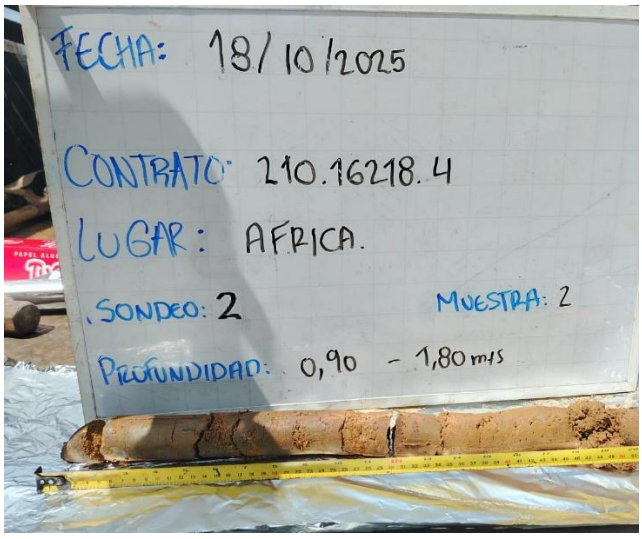

FECHA: 20-10-2025
CONTRATO: 210.16218.4
LUGAR: AFRICA.
SONDEO: 1
MUESTRA: 4
PROFUNDIDAD: 2,70 - 3,30 mts


FECHA: 20-10-2025
CONTRATO: 210.16218.4
LUGAR: AFRICA.
SONDEO: 1
MUESTRA: 3
PROFUNDIDAD: 1,80 - 2,70 mts.

- Sondeo 2:






FECHA: 18/10/2025
CONTRATO: 210.16218.4
LUGAR: AFRICA.
SONDEO: 2
MUESTRA: 2
PROFUNDIDAD: 0,90 - 1,80 mts

- Sondeo 3:






FECHA: 18/10/2025
CONTRATO: 210.16218.4
LUGAR: AFRICA.
SONDEO: 3
MUESTRA: 4
PROFUNDIDAD: 2,70 - 3,60 mts

7. RESULTADOS

7.1. Perfiles estratigráficos

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

N° DE APIQUE	1	N° DE ORDEN DE SERVICIO	162-25	N° DE ORDEN DE TRABAJO	162-25	FECHA	20/10/2025

PROYECTO	CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA
SUPERVISOR	ROBINSON OCHOA

CONDICIONES METEREOLÓGICAS	SOLEADO	LUGAR DE PERFORACIÓN	AFRICA

COORDENADAS	PLANIMÉTRICAS		GEOGRÁFICAS		COTA	904.48
	NORTE	1276408.074	N	7.09469758		
	ESTE	1105868.105	W	73.11923323		

PROFUNFIDAD m		DESCRIPCION DE CAMPO (SUELO-ROCA-CAMBIOS DE ESTRATO, TEXTURA, COLOR)
0.00	1.00	
1.00	1.50	ARCILLA MEDIA PLASTICIDAD ARENOSA DE CONSISTENCIA FIRME HUMEDO COLOR 7,5 YR 5/4

OBSERVACIONES:

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

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

N° DE APIQUE	2	N° DE ORDEN DE SERVICIO	162-25	N° DE ORDEN DE TRABAJO	162-25	FECHA	20/10/2025

PROYECTO	CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA
SUPERVISOR	ROBINSON OCHOA

CONDICIONES METEREOLÓGICAS	SOLEADO	LUGAR DE PERFORACIÓN	AFRICA

COORDENADAS	PLANIMÉTRICAS		GEOGRÁFICAS		COTA	868
	NORTE	1276374.674	N	7.09439600		
	ESTE	1105845.991	W	-73.119434		

PROFUNFIDAD m		DESCRIPCION DE CAMPO (SUELO-ROCA-CAMBIOS DE ESTRATO, TEXTURA, COLOR)
0.00	0.80	
0.8	1.6	ARENA ARCILLOSA DE CONSISTENCIA FIRME HUMEDO COLOR 7,5 YR 5/4

OBSERVACIONES:

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

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

N° DE APIQUE	3	N° DE ORDEN DE SERVICIO	162-25	N° DE ORDEN DE TRABAJO	162-25	FECHA	20/10/2025

PROYECTO	CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA
SUPERVISOR	ROBINSON OCHOA

CONDICIONES METEREOLÓGICAS	SOLEADO	LUGAR DE PERFORACIÓN	AFRICA

COORDENADAS	PLANIMÉTRICAS		GEOGRÁFICAS		COTA	880
	NORTE	1276392.243	N	7.09455500		
	ESTE	1105837.558	W	-73.11951		

PROFUNFIDAD m		DESCRIPCION DE CAMPO (SUELO-ROCA-CAMBIOS DE ESTRATO, TEXTURA, COLOR)
0.00	0.70	
0.7	1.5	ARENA LIMOSA DE CONSISTENCIA FIRME HUMEDO COLOR 7,5 YR 5/4

OBSERVACIONES:

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

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

N° DE APIQUE	4	N° DE ORDEN DE SERVICIO	162-25	N° DE ORDEN DE TRABAJO	162-25	FECHA	20/10/2025

PROYECTO	CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA
SUPERVISOR	ROBINSON OCHOA

CONDICIONES METEREOLÓGICAS	SOLEADO	LUGAR DE PERFORACIÓN	AFRICA

COORDENADAS	PLANIMÉTRICAS		GEOGRÁFICAS		COTA	887
	NORTE	1276406.027	N	7.09467900		
	ESTE	1105870.565	W	-73.119211		

PROFUNFIDAD m		DESCRIPCION DE CAMPO (SUELO-ROCA-CAMBIOS DE ESTRATO, TEXTURA, COLOR)
0.00	0.90	
0.9	1.7	ARENA LIMOSA DE CONSISTENCIA FIRME HUMEDO COLOR 7,5 YR 5/4

OBSERVACIONES:

SUPERVISÓ		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	1	Nº DE ORDEN DE SERVICIO	162-25	Nº DE ORDEN DE TRABAJO	162-25	FECHA INCIO	20/10/2025

PROYECTO	CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA

SUPERVISOR	ROBINSON OCHOA	OPERADOR	ARTURO ALVAREZ
EQUIPO DE PERFORACIÓN	SPT	LUGAR DE PERFORACIÓN	AFRICA
CONDICIONES METEREOLÓGICAS	SOLEADO		

COORDENADAS	PLANIMÉTRICAS		GEOGRÁFICAS		COTA	917
	NORTE	1276422.773	N	7.09483271		
	ESTE	1105758.906	W	-73.1202205		

MÉTODO DE PERFORACIÓN	SPT

EXPLORACIÓN 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	✓	-	3	4	4	8	-	✓	-	-	Arena limosa SM
	0.45	0.90	✓	-	8	7	6	13	-	✓	-	-	
2	0.90	1.35	✓	-	8	7	6	13	-	✓	-	-	
	1.35	1.80	✓	-	4	6	8	14	-	✓	-	-	
3	1.80	2.25	✓	-	2	5	5	10	-	✓	-	-	Arena limosa SM
	2.25	2.70	✓	-	1	6	8	14	-	✓	-	-	
4	2.70	3.15	✓	-	8	7	9	16	-	✓	-	-	
5	3.15	3.30	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	
6	3.30	4.80	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	
7	4.80	6.30	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	
8	6.30	7.80	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	Arena arcillosa SC - Arena limosa SM
9	7.80	9.30	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	
10	9.30	10.80	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	
11	10.80	12.30	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	Arena limosa SM
12	12.30	13.80	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	
13	13.80	15.30	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	

OBSERVACIONES

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

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	20/10/2025

PROYECTO	CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA
SUPERVISOR	ROBINSON OCHOA
OPERADOR	ARTURO ALVAREZ
EQUIPO DE PERFORACIÓN	SPT
LUGAR DE PERFORACIÓN	AFRICA
CONDICIONES METEREOLÓGICAS	SOLEADO

COORDENADAS	PLANIMÉTRICAS		GEOGRÁFICAS		COTA	913
	NORTE	1276462.606	N	7.09519200		
	ESTE	1105792.112	W	-73.1199200		

MÉTODO DE PERFORACIÓN	SPT

EXPLORACIÓN 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	✓	-	6	9	11	20	-	✓	-	-	
	0.45	0.90	✓	-	13	17	20	37	-	✓	-	-	
2	0.90	1.35	✓	-	16	11	14	25	-	✓	-	-	
	1.35	1.80	✓	-	17	19	21	40	-	✓	-	-	
3	1.80	2.25	✓	-	24	21	26	47	-	✓	-	-	Arena arcillosa SC
	2.25	2.70	✓	-	30	26	28	63	-	✓	-	-	
4	2.70	3.15	✓	-	18	16	15	31	-	✓	-	-	
	3.15	3.60	✓	-	22	22	27	49	-	✓	-	-	
5	3.60	4.05	✓	-	17	20	22	42	-	✓	-	-	Arena limosa SM
	4.05	4.50	✓	-	28	27	37	64	-	✓	-	-	
6	4.50	4.95	✓	-	25	21	24	45	-	✓	-	-	
7	4.95	5.40	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	
8	5.40	5.90	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	
9	5.90	8.40	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	Arena limosa SM
10	8.40	8.90	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	
11	8.90	11.40	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	
12	11.40	12.90	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	
13	12.90	14.40	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	Arcilla media plasticidad arenosa CL
14	14.40	15.90	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	

OBSERVACIONES

SUPERVISÓ		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	3	Nº DE ORDEN DE SERVICIO	162-25	Nº DE ORDEN DE TRABAJO	162-25	FECHA INCIO	20/10/2025

PROYECTO	CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA		
SUPERVISOR	ROBINSON OCHOA	OPERADOR	ARTURO ALVAREZ
EQUIPO DE PERFORACIÓN	SPT	LUGAR DE PERFORACIÓN	AFRICA
CONDICIONES METEREOLÓGICAS	SOLEADO		

COORDENADAS	PLANIMÉTRICAS		GEOGRÁFICAS		COTA	880
	NORTE	1276385.094	N	7.09448962		
	ESTE	1105849.153	W	-73.1194002		
MÉTODO DE PERFORACIÓN	SPT					

EXPLORACIÓN 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	✓	-	3	4	3	7	-	✓	-	-	
	0.45	0.90	✓	-	5	6	7	13	-	✓	-	-	
2	0.90	1.35	✓	-	8	6	8	14	-	✓	-	-	
	1.35	1.80	✓	-	5	5	4	9	-	✓	-	-	
3	1.80	2.25	✓	-	8	11	10	21	-	✓	-	-	Arena arcillosa SC
	2.25	2.70	✓	-	9	9	8	17	-	✓	-	-	
4	2.70	3.15	✓	-	12	16	21	38	-	✓	-	-	
5	3.15	3.60	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	
6	3.60	5.10	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	
7	5.10	6.60	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	
8	6.60	8.10	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	Arena arcillosa SC
9	8.10	9.60	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	
10	9.60	11.10	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	
11	11.10	12.60	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	
12	12.60	14.10	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	Grava limosas GM
13	14.10	15.60	-	✓	R	-	-	-	-	✓	-	-	

OBSERVACIONES

SUPERVISÓ		REVISÓ	
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	9
Corte Directo	INV E – 154- 13	4

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 GRAVOSO DEL MIEMBRO ÓRGANOS DE LA FORMACIÓN BUCARAMANGA (Sgmofb)

Corresponde a un suelo gravoso desarrollado sobre los conglomerados del miembro Órganos de la Formación Bucaramanga. Es un depósito matriz-soportado, con matriz limo-arcillosa, altamente erosionable, que incluye bloques y cantos redondeados a subredondeados. Se reconocen fragmentos de limolitas rojas alteradas y bloques de cuarcitas frescas, con lentes intercalados de arcillas limo-arenosas, con grado de meteorización medio y buena permeabilidad por la presencia de gravas.

SUELOS COLUVIALES ANTIGUOS (Sca)

Unidad con suelos coluviales antiguos sobre la ladera bajo las viviendas, con fuerte cobertura de vegetación herbácea y arbustiva. El material es una mezcla de gravas y cantos subangulares a subredondeados dentro de una matriz limo-arcillosa pardo rojizo, moderadamente compacta, producto de la alteración de los depósitos gravosos del Miembro Órganos. Presenta meteorización intermedia a alta, con estructura masiva a débilmente agregada y presencia de raíces finas y medianas.

SUELOS COLUVIALES RECIENTES (Scr)

Corresponde a suelos asociados a un depósito coluvial joven localizados al pie de pequeños taludes y en pequeñas concavidades dentro del sector. Están formados por materiales sueltos y heterogéneos, con bloques y cantos subangulares a subredondeados, inmersos en una matriz arenoso-limosa y arcillosa. Son suelos con un grado de meteorización bajo a intermedio.

CÓDIGO UGI	UNIDAD GEOLOGICA PARA INGENIERÍA	ÁREA (HECTÁREAS)
Sgmo	Suelo gravoso del miembro órganos	0,56
Sca	Suelos coluviales antiguos	0,09
Scr	Suelos coluviales recientes	0,030

Tabla 11. Clasificación unidades geológicas para ingeniería UGI, sector África

De acuerdo a la caracterización geotécnica y al análisis y levantamiento Geológico y geomorfológico se estableció un modelo geológico geotécnico cuyas características se muestran a continuación:

Tabla 12: Propiedades del Modelo Geotécnico

	Φ (º)	C (KPa)	ϒ (g/cm³)
Sgmo	31.4	25	2.10
Sca	30	12	2.07
Scr	33.1	63	1.95
sismo	Kst	0.32	

Fuente: Ensayos de Laboratorio.

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-vivenda-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