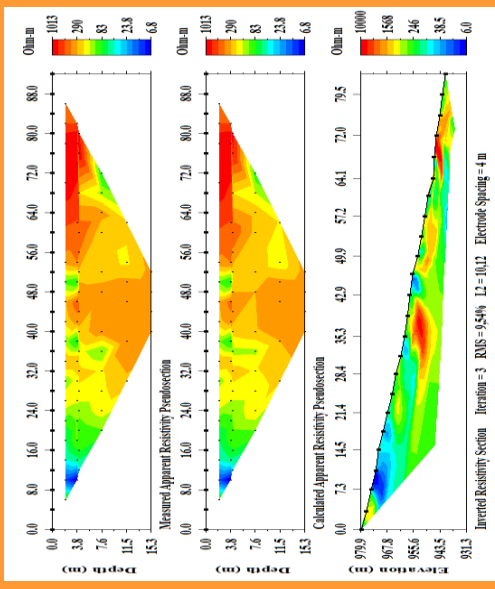
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB)

SECTOR 23 DE JUNIO EN EL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA - SANTANDER

TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 2D #2



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

INTRODUCCIÓN 4
OBJETIVOS 5
1 LOCALIZACIÓN GENERAL 6
2 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO 7
2.1 LOCALIZACIÓN DE LA LÍNEA TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 7
3 EXPLORACIÓN DE CAMPO 9
3.1 TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 9
3.2 Procedimiento en campo 9
3.3 Tipo de arreglo 10
3.4 EQUIPO DE TRABAJO 12
4 GEOLOGÍA 13
4.1 GEOLOGÍA REGIONAL 13
4.1.1 Miembro limo rojos (Qblr) 14
4.1.2 Miembro gravoso (Qbg). 14
4.1.3 Formación Girón (Jg) 14
4.1.4 Flujos de escombros (Gfe) 16
4.1.5 Terrazas medias (Qal2) 16
4.1.6 Terrazas bajas (Qal1) 17
4.1.7 Aluvial reciente (Qal) 17
5 RESULTADOS OBTENIDOS 18
5.1 PARÁMETROS GEOMECÁNICOS 18
5.2 CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN NSR-10 19
5.3 ENSAYO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA LÍNEA LGE2 20
5.3.1 Interpretación tomografía Geoeléctrica LGE2 20
6 CONCLUSIONES 22
7 BIBLIOGRAFÍA 23

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica de la refracción sísmica y tomografía eléctrica. . 6
Figura 2. Localización de la unidad central de la tomografía eléctrica. 7
Figura 3. Muestra esquemática de un arreglo tetra-electrónico. 10
Figura 4. Esquema del arreglo Schlumberger para el sondeo eléctrico vertical (SEV) (Loke, 2020). 11
Figura 5. Dispositivo electródico para prospecciones y secuencia de medidas. ... 11
Figura 6. Localización del área de estudio sobre el mapa geológico del AMB..... 13
Figura 7. Proceso de generación de la tomografía mediante la inversión método schlumberger tomografía Geoeléctrica línea LGE2..... 20
Figura 8. Perfil tomografía de resistividad eléctrica LGE2..... 21

LISTAS DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de inicio y fin de la línea de tomografía eléctrica. 7
Tabla 2. Unidad sismógrafo digital y de tomografía electica. 12
Tabla 3. Clasificación de suelos de acuerdo con la NSR-10. Tabla A.2.4-1 Clasificación de los perfiles de suelo..... 19

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.

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 con dos tomografías eléctricas para la prospección del subsuelo.
- Realizar en los puntos adecuado las tomografías 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.

1 LOCALIZACIÓN GENERAL

El proyecto se encuentra localizado en la zona occidental de Bucaramanga departamento de Santander.

Figura 1. Localización geográfica de la refracción sísmica y tomografía eléctrica.



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

2 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

2.1 LOCALIZACIÓN DE LA LÍNEA TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

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

Tabla 1. Coordenadas de inicio y fin de la línea de tomografía eléctrica.

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

Figura 2. Localización de la unidad central de la tomografía eléctrica.







Fuente autores.

3 EXPLORACIÓN DE CAMPO

3.1 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.

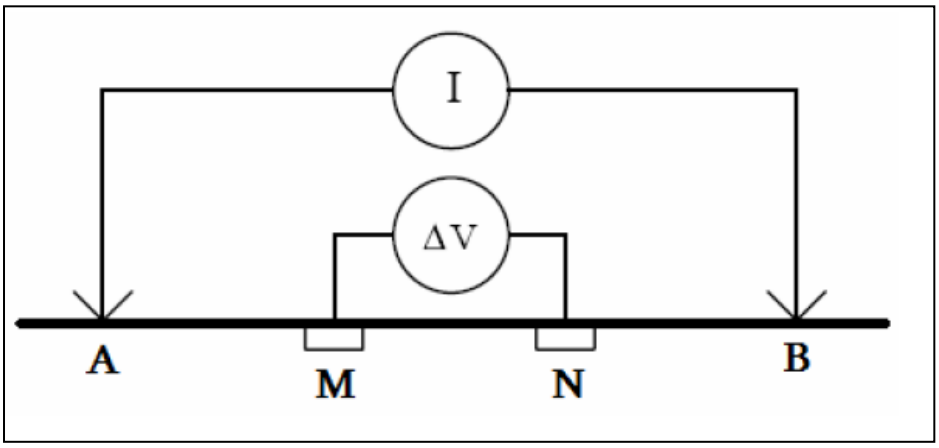
3.2 Procedimiento en campo

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 (ver Figura 7) para obtener una matriz de resistividades aparentes.

Figura 3. Muestra esquemática de un arreglo tetra-electrónico.

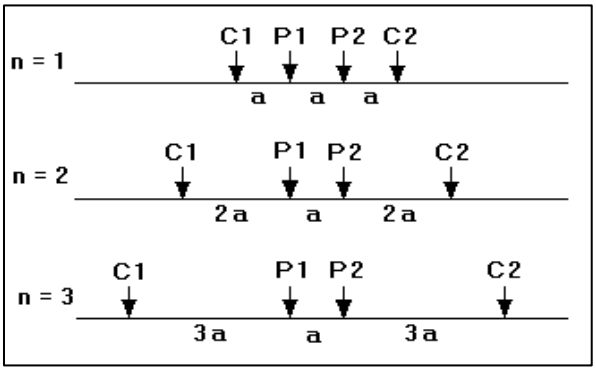


Fuente: Autores.

3.3 Tipo de arreglo

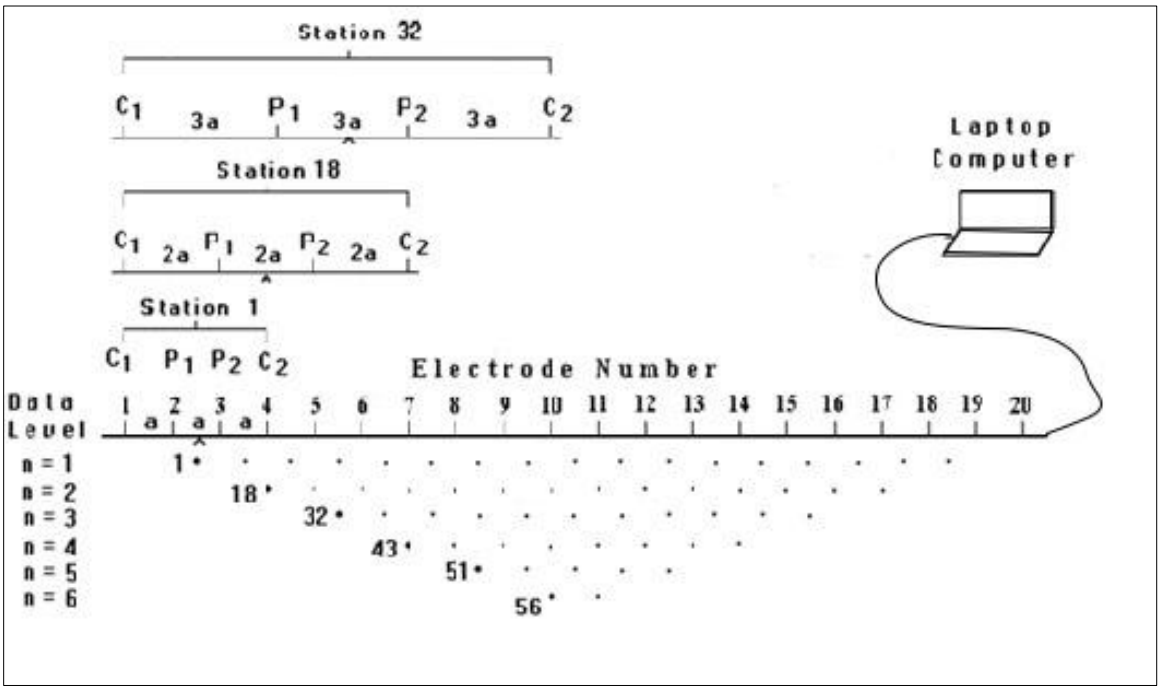
El arreglo Schlumberger es empleado tanto para el ensayo del sondeo eléctrico vertical y de tomografía. Este consiste en colocar los electrodos de medida de potencial separados una distancia a desde el centro del arreglo y en los extremos, cada electrodo de medida de corriente a una distancia na desde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

Figura 4. Esquema del arreglo Schlumberger para el sondeo eléctrico vertical (SEV) (Loke, 2020).



Fuente: Autores.

Figura 5. Dispositivo electródico para prospecciones y secuencia de medidas.



Fuente: Autores

3.4 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.

Tabla 2. Unidad sismógrafo digital y de tomografía electica.

EQUIPO DE TOMOGRAFÍA

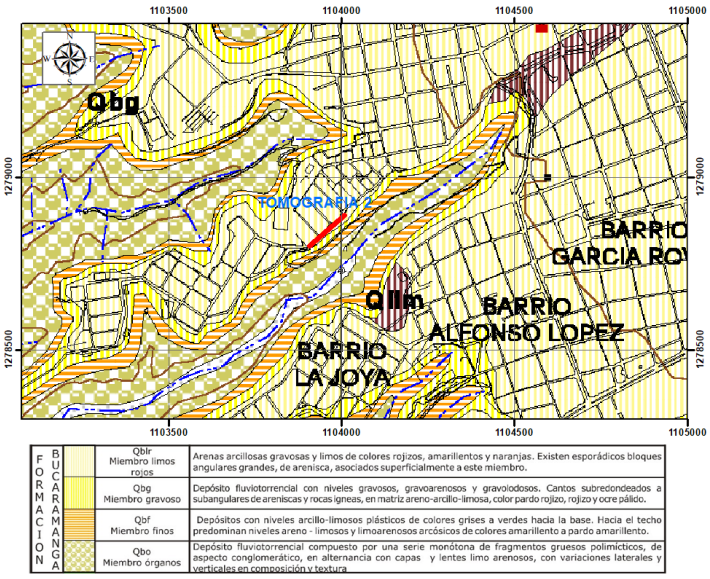
Equipo ABEM TERRAMETER LS 2 fabricado por la empresa Guideline Geo. Es un equipo multicanal portátil, medidor de resistividad del subsuelo e IP, con almacenamiento de lecturas en memoria con ciclos de medidas definidos por el usuario. El equipo cuenta con 2 canales de adquisición y 48 electrodos

4 GEOLOGÍA

4.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El presente capítulo corresponde con la revisión de la geología del área del municipio de Bucaramanga, más específicamente en el barrio 23 de Junio donde se realizó dos líneas sísmicas y dos tomografías. La geología de esta región se encuentra bien representada en geología del Área Metropolitana de Bucaramanga en el estudio de Zonificación Sismo-geotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga (INGEOMINAS 2001). De acuerdo con la Zonificación Sismogeotécnica indicativa del Área Metropolitana de la ciudad de Bucaramanga, sobre el escarpe Occidental se encuentra el sector del Proyecto, se localiza sobre depósitos pertenecientes a la Formación Bucaramanga que conforma el llamado abanico de Bucaramanga. El espesor de esta formación varía entre 240 y 290 m en promedio. El nombre de la formación Bucaramanga fue inicialmente propuesto por Hubach (1952) quien reconoce dos miembros (Miembro Finos y Órganos). Sin embargo, después de trabajos de campo detallados, el INGEOMINAS la subdivide 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). En el sector estudiado afloran: el miembro Órganos (Qbo), principalmente el miembro fino (Qbf), miembro gravoso (Qbg) y miembro limos rojos (Qblr).

Figura 6. Localización del área de estudio sobre el mapa geológico del AMB.



Fuente: INGEOMINAS 2001

Obsérvese en la figura anterior que el área puntual donde se realizaron los ensayos se ubican sobre los mienbros limos rojos (Qblr) y mienbros gravosos (Qbg).

4.1.1 Miembro limo rojos (Qblr).

Nivel definido por Julivert (1963). Regionalmente este miembro se localiza hacia la parte alta del sector urbanizado de Bucaramanga y Floridablanca, aunque no en forma uniforme. Está constituido por arenas arcillosas gravosas y lomos de colores rojizos, amarillentos y naranjas. Tiene presencia esporádica en bloques angulares de areniscas asociados superficialmente a este miembro; estos cantos pueden estar embebidos dentro de limos rojos y se caracteriza por estar meteorizados.
En estado seco presentan buena consistencia, pero en presencia de agua esta disminuye noblemente facilitando la erosión.

4.1.2 Miembro gravoso (Qbg).

Definido por Niño y Vargas (1992), ubicado sobre la escarpa occidental y norte de Bucaramanga, La morfología que presenta el miembro Gravoso es similar a la del órgano en los sectores de los valles de las quebradas, pero hacia la parte sur de la quebrada La iglesia la morfología corresponde a colinas suaves onduladas, con un drenaje detrítico. Su espesor varía entre 8 y 30 metros, presenta niveles gravosos, gravo lodoso. Los cantos son en su mayor parte tamaño grava, de diámetro promedia 15 centímetros y bloques de roca, en menor cantidad, hasta de 0.8 metros de diámetro, subangulares a subredondeadas, en matriz areno arcillo limosa, color pardo rojizo, rojizo y ocre pálido.
En general el depósito es matriz soportado, aunque localmente se presenta clasto soportado. El contacto inferior con el miembro finos es neto, continuo y suavemente onduloso, y el contacto con el miembro limo rojos es gradacional. Macroscópicamente se estima que la matriz representa alrededor de un 60% del volumen total, con aproximadamente 2/3 partes de arena, tamaño medio a grueso y 1/3 de finos.

4.1.3 Formación Girón (Jg)

“Hettner la define por primera vez (1982) como “Girón Series” (Ward, D.E. et al., (1973), para designar un conjunto grueso de areniscas, conglomerados y limolitas color marrón rojizo, se encuentra limitando la Formación Tambor, donde infrayace y suprayance respectivamente. Es una sección aproximadamente de 3500 m en un

miembro inferior arenoso de 750 m y uno medio de 1250 m y uno inferior de 1500 m".

"El contacto de Girón que suprayace la Formación Jordán, es una discordancia, que alcanza de 10°-15°. La amplia área de distribución de rocas sedimentarias tipo Girón se encuentra en el norte y este de Colombia y al oeste de Venezuela, la edad y correlación de la formación han sido por mucho tiempo fuente de incertidumbre y especulación. Los límites entre la Formación Girón y Jordán han presentados fragmentos de la fase porfirítica de una de estas rocas, el granito del pescadero es encontrado en las capas inferiores del Jordán cerca a Piedecuesta".

"El occidente del río de Oro esta encuentra cubierto principalmente por depósitos sedimentarios de origen aluvial y coluvial, tales como la formación Bucaramanga y los flujos de escombros y detritos de Floridablanca y Piedecuesta, así como de otros provenientes del cerro de Palonegro. Son presentados como estratos gruesos con intercalaciones de conglomerados, areniscas conglomeráticas con estratificación cruzada, y areniscas de grano grueso a medio, cuarzofeldespáticas, de colores crema, verde y rojo. También se observan intercalaciones de lodolitas masivas, violáceas, con bajo contenido de micas".

"Sobre el talud derecho de la autopista Floridablanca a Piedecuesta, correspondiente a la base de la ladera de la Mesa de Ruitoque, conforma una faja alargada de dirección aproximada norte-sur, caracterizada por la alternancia de estratos muy duros de conglomerados, hasta de 3 m de espesor, capas de arenisca dura de 0.8 a 2 m de espesor, y niveles blandos de lutitas violeta hasta de 2.5 m. Las areniscas presentan estratificación cruzada y gradación, pasando desde grano fino, medio, grueso, a conglomeráticas; su color es café claro".

"Los conglomerados se componen en su mayor parte de cantos de cuarzo, chert y riolita. La orientación de la estratificación varía entre N5°E/50W y N5°W/60°W; se destacan tres juegos de diaclasas: N5°W/50°E; N60°W/40°S; N80°E/60°N. En los alrededores de Floridablanca, muestra niveles de areniscas conglomeráticas de color marrón rojizo con intercalaciones de areniscas violáceas, de grano fino. Las areniscas conglomeráticas están intercaladas con niveles de areniscas de grano medio de mala selección. Estos bancos de areniscas son muy competentes; sin embargo, presentan alto grado de fracturamiento tanto paralelo como perpendicular a la estratificación".

"Afloramientos esporádicos de la formación Girón aparecen en la parte baja de las quebradas que llegan del escarpe occidental de la Meseta de Bucaramanga hacia el río de Oro. Se caracterizan por capas competentes de conglomerados, areniscas verdosas y rojizas, intercaladas con lodolitas violetas masivas".

4.1.4 Flujos de escombros (Gfe)

"Son depósitos de piedemonte de origen fluvio torrencial y fluvio gravitacional, provenientes principalmente de la denudación de los materiales alterados que componen el Macizo de Santander, los cuales son transportados a lo largo de los cauces de las corrientes de agua que nacen en éste".

"Se presentan sobre el piedemonte oriental del Área Metropolitana, entre el casco urbano de Floridablanca y Piedecuesta, donde se reconocen materiales cuyos depósitos, al pie de la ladera montañosa, forman abanicos y conos de deyección coalescentes con pendiente de 2° a 4°, y superficies suavemente onduladas. Sobre esta unidad se desarrolla un drenaje paralelo a subparalelo".

"Están constituidos esencialmente por fragmentos de rocas ígneas y metamórficas del macizo, tamaño grava y bloque, principalmente neises y granodiorita, esporádicamente anfibolitas, dioritas y esquistos, en matriz areno-limosa. Estos depósitos sedimentarios se han venido acumulando mediante repetidos episodios de descargas torrenciales, probablemente violentas, por lo que los espesores y sus proporciones granulométricas y volumétricas son muy variados. Se pueden encontrar eventos clasto-soportados, con predominio de bloques y gravas, como también matriz soportados, con predominio de arena; el tamaño máximo de estos bloques puede sobrepasar 1 m de diámetro. Estos depósitos descansan principalmente sobre rocas de las formaciones Girón, Jordán y Silgará, su espesor medio se estima entre 10 y 15 m".

4.1.5 Terrazas medias (Qal2)

son depósitos de origen aluvial, de superficie más o menos plana, poco disectados, ubicados hacia las márgenes de las principales corrientes de agua. Se observan terrazas altas y sobre la margen izquierda de la quebrada La Estancia, afluente del río Frío, al occidente de Floridablanca, conforma un nivel de terraza medio, compuesto por fragmentos angulares a subangulares, de 20 cm promedio de

diámetro, clasto soportado, con coloración blancuzca, en matriz de arena cuarzo feldespática, provenientes del macizo de Santander. En estos depósitos se aprecia que hay predominio de rocas de neis cuarzo feldespático-micáceo, y que los clástos se encuentran en estado de meteorización alto a moderado".

4.1.6 Terrazas bajas (Qal1)

"Se observan en las márgenes del río Frío; estos depósitos corresponden a los niveles máximos de inundación alcanzados por las crecientes extraordinarias actuales. En los escarpes de las terrazas se observan cantos subredondeados a redondeados de areniscas cuarzosas blancas, amarillentas y resistentes, guijos ígneo-metamórficos, algunas areniscas violáceas y fragmentos de cuarzo lechoso con una disposición no uniforme y esporádicos lentes arenosos. En el municipio de Floridablanca este nivel se presenta como un depósito de forma alargada, de superficie más o menos plana, de aproximadamente 4 Km de longitud por 250 m promedio de ancho, donde se ubican los barrios Bucarica y Lagos II Etapa".

"Este nivel se distribuye aguas abajo por el río Frío y la quebrada La Estancia, hasta muy cerca de la confluencia con el río de Oro. En dicho sector, está compuesto de gravas arenosas y arenas gravosas, de forma angular a subangular, con algunos bloques de roca de tamaño métrico, de neis y cuarzomonzonita provenientes del Macizo de Santander. Corresponde a depósitos aluviales, tipo flujos torrenciales y flujos de escombros, transportados a lo largo del río Frío en época reciente".

4.1.7 Aluvial reciente (Qal)

"Las principales acumulaciones están localizadas en los valles y llanuras de inundación del río Frío, además de sus quebradas tributarias como Zapamanga, Suratoque, Aranzoque y en general toda la red hidrográfica que se desarrolla al occidente del Macizo de Santander. Estos depósitos están compuestos por fragmentos de composición y granulometría muy variable. En general contienen cantos de areniscas silíceas, areniscas conglomeráticas, conglomerados, cuarcitas y lodolitas, como también granito, granodiorita, diorita, gabro, neis y esquisto, en una matriz areno lodosa. El tamaño de los cantos varía desde unos pocos centímetros hasta 1 m, con predominio del diámetro de 50 cm, de forma subredondeada a redondeada y baja esfericidad".

5 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.

5.1 PARÁMETROS GEOMECÁNICOS

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

Ecuaciones para materiales homogéneos e isotrópicos

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

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

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

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

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

Según la teoría elástica, el módulo de elasticidad dinámico **E**, viene dado en función de la velocidad de propagación de ondas longitudinales (Ondas P) y ondas transversales (Ondas S), las ondas longitudinales son siempre más rápidas de las transversales, lo que hace que la detección de estas últimas sea más complicada en campo, y lo que suele hacerse para hallar el **E** es estimar la relación de Poisson como se enunció anteriormente.

El módulo dinámico E tiene un valor mayor que el estático, ya que se obtiene para incrementos tensionales pequeños como son los producidos por ondas sísmicas. La relación entre el módulo dinámico y el estático se considera normalmente de 4

(v. Link, 1969; Mayer, 1963), pero el rango puede estar entre 1 y 19.6. (Jiménez Salas, De Justo Alpañes, 1981).

El geotecnista encargado del proyecto, deberá escoger que velocidades Vs que considere más convenientes para el diseño, dependiendo de la cantidad de información adicional del suelo que se tenga en el proyecto

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

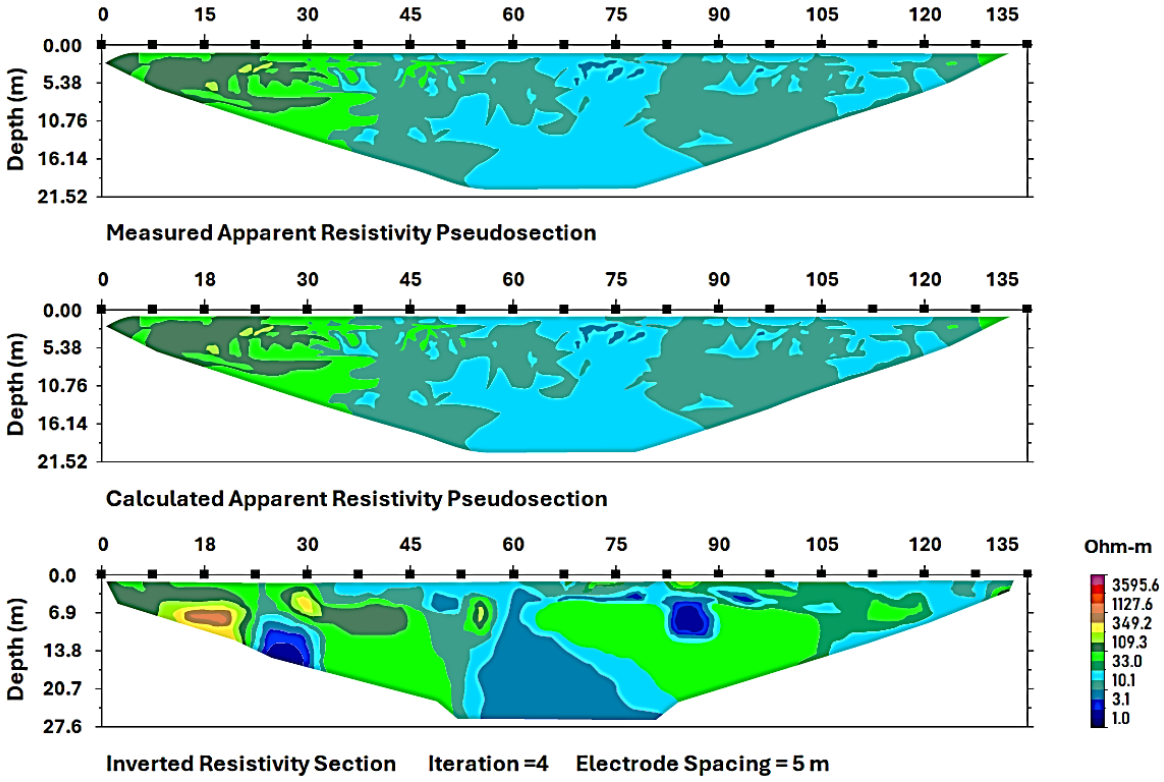
Tabla A.2.4-1
Clasificación de los perfiles de suelo

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)	

5.3 ENSAYO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA LÍNEA LGE2

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

Figura 7. Proceso de generación de la tomografía mediante la inversión método schlumberger tomografía Geoeléctrica línea LGE2.



5.3.1 Interpretación tomografía Geoeléctrica LGE2

La línea fue adquirida en la calle 32 entre carreras 1 oeste y 3 oeste en el barrio 23 de junio, su resistividad invertida y en la sección a analizar e interpretar fue posible apreciar registro de resistividad eléctrica desde de 1 Ω*m a 3595.6 Ω*m con una profundidad de investigación de 27.6 metros.

La región superficial corresponde a una capa de geometría irregular y distribución discontinua, de espesor variable, entre 0.7 m a 21.52 m, con registro en el valor de resistividades entre 1Ω*m y 33Ω*m. Esta primera capa se relaciona probablemente con el Suelo antrópico areno-limoso saturado (Salle). Luego, en contacto lateral e infrayacente, se identifica una capa de espesor variable entre 1m y 27.6m (el total es desconocido) con un contraste en el valor de la resistividad, con registros mayores a 109.3 Ω*m, interpretado como Suelo transportado fluviotorrencial gravoso húmedo (Stft) perteneciente a la Formación Bucaramanga-Miembro Gravoso (Qbg) con lentes gravosos; Así mismo, capas de geometría irregular alargadas, discontinuas, con espesor variable entre 2m y 22m, con resistividades entre 1Ω*m y 10.1 Ω*m, definidas como Suelo transportado fluviotorrencial gravoso saturado (Stft) perteneciente a la Formación Bucaramanga-Miembro Gravoso (Qbg)

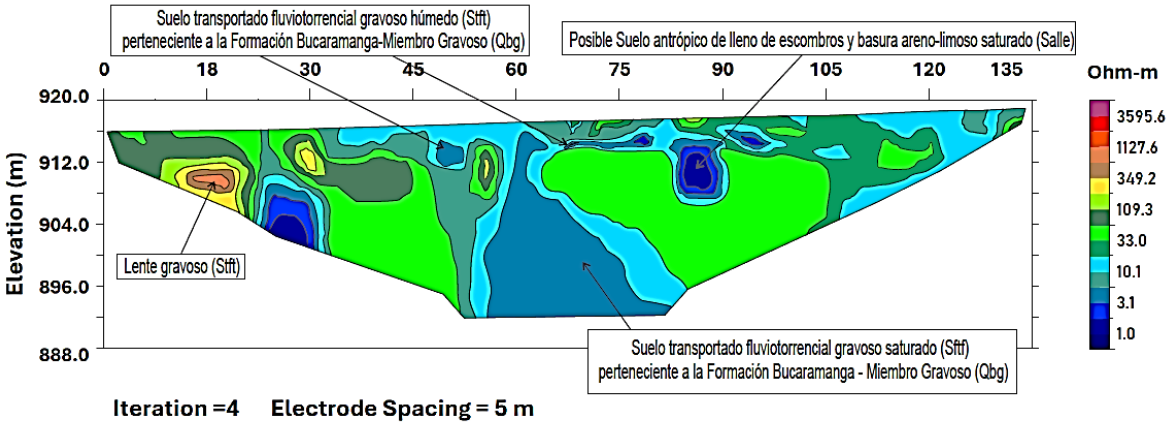


Figura 8. Perfil tomografía de resistividad eléctrica LGE2

6 CONCLUSIONES

De acuerdo con las observaciones de campo y la interpretación de la línea de tomografía 2 se tienen las siguientes conclusiones.

- **TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA LGE2**

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

7 BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Bucaramanga. Plan de Ordenamiento Territorial POT del Municipio de Bucaramanga Santander.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. 2010. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente, NSR-10. Bogotá, AIS, 2010.

Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation, (2000). Publicado en |mayo 2000. Originalmente publicado como D 5777 – 95.

Xia-Miller-Park-Ivanov 2004. Utilization of high-frequency Rayleigh waves in near-surface Geophysics.

Kearey, P. and Brooks, M. 1991. An Introduction to Geophysical Exploration, 2nd Edition: Blackwell Science.

Geometrics. 2009. SeisImager/2DTM Manual Versión 3.3.

Burger, H.R. 1992. Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface: Prentice Hall.

INGEOMINAS, (2001). Estudio de Zonificación sismogeotécnica indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga.

Loke, M. H. y Barker, R. D. 1996, Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by quasi-Nexton method. Geophysical Prospecting, v.44, p. 131-152.

Look, B. (2007). Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables.

Orellana, E. 1982. Prospección geoeléctrica en Corriente Continua. Editorial paraninfo.

Auge. M. 2008. Métodos Geoeléctricos para la Prospección de Agua Subterránea. Universidad de Buenos Aires.