

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD

2.1 GEOLOGÍA LOCAL

La ciudad de Santafé de Bogotá se localiza en promedio a 2650 m de altitud sobre el eje de la Cordillera Oriental de Colombia. Geomorfológicamente se diferencian dos zonas: 1) la plana, ubicada hacia la parte central del área, en donde se concentra la mayor parte de la población y 2) de relieve montañoso con una parte habitada, otra dedicada a la minería de tajo abierto (canteras, gravilleras y chircales) y otra aún no intervenida por el hombre, localizada en los sectores oriental y suroccidental de la ciudad.

La zona plana es drenada por el río Bogotá que corre en sentido NNE-SSW con sus afluentes Tunjuelito, Fucha y Juan Amarillo. La zona montañosa es drenada por los ríos Tunjuelito, San Francisco y quebradas de menor caudal que corren en sentido S-N y E-W que al entrar a la zona plana sus cauces se utilizan como canales de conducción de las aguas servidas de la capital a los ríos Bogotá y Tunjuelito.

Geológicamente la ciudad se localiza sobre un extenso relleno sedimentario que conforma la Sabana de Bogotá, y está rodeada por cerros constituidos por rocas de tipo arenisca, arcillolitas y conglomerados.

2.1.1 Litoestratigrafía

En el área de estudio afloran rocas sedimentarias de origen marino y continental, con edades entre el Cretáceo y Terciario, y depósitos sedimentarios pocos consolidados de edad Pleistoceno a reciente (INGEOMINAS, 1995-a ; Caro et al, 1996). Se describen a continuación las unidades en orden cronológico de la más antigua a la más reciente (Figura 2 1 - Mapa No. 1)

2.1.1.1 Formación Chipaque (Ksch)

Constituída por lutitas limo-arcillosas de color negro, carbonosas, piritosas y laminadas, en bancos hasta de 10m de espesor, con intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano muy fino, en estratos de 0.2 a 1.0m, que se acentúan hacia el tope. En los anticlinales de Bogotá, la parte que aflora tiene 130m de espesor y en el de Cheba 205m.

2.1.1.2 Grupo Guadalupe (Ksg)

Está compuesto por las Formaciones de Arenisca Dura, Plaeners y Labor-Tierna, cuyas características principales son las siguientes:

Formación Arenisca Dura (Ksgd)

Aflora en los ejes y flancos de los anticlinales de Bogotá y Cheba y conforma los cerros más prominentes del área, tales como, Guadalupe, Monserrate, Alto el Cable, La Cruz, La Viga y Cheba. Esta constituída por areniscas cuarzosas, duras, de grano fino y color gris claro, bien cementadas, con intercalaciones esporádicas de capas de arcillolitas silíceas. Su espesor de acuerdo con columnas estratigráficas levantadas varía entre 308 y 460 m.

Es importante económicamente como acuífero y como material para la construcción.

Formación Plaeners (Ksgp)

Aflora en los flancos de los anticlinales de Bogotá y Cheba. Consta de tres conjuntos litológicos: a) uno inferior donde predominan arcillolitas silíceas con un espesor de unos 40m, b) otro intermedio donde alternan arcillolitas silíceas y areniscas de grano fino, con un espesor entre 70 y 117m y c) el superior donde predominan las arcillolitas silíceas con un espesor de aproximadamente 50m. Se utiliza como fuente de recebo, caolín y como acuífero en zonas fracturadas.

Formación Labor-Tierna (Ksglt)

Esta unidad aflora en el flanco occidental del Anticlinal de Bogotá y flanco Oriental del Anticlinal de Cheba. Consta de tres conjuntos: a) uno inferior conformado por areniscas cuarzosas de color gris claro, de grano fino a medio, ligeramente friable y de espesor entre 135 a 165m; b) un conjunto intermedio donde predominan arcillolitas silíceas, con un espesor de 10 a 15m y c) el conjunto superior constituído por areniscas cuarzosas y feldespáticas, gris claras, de grano medio a grueso, con estratificación cruzada, en estratos de 0.2 a 3.0 m y de espesor variable entre 90 y 110m. Es importante como acuífero y proporciona la mayor parte de la "Arena de Peña" para la construcción.

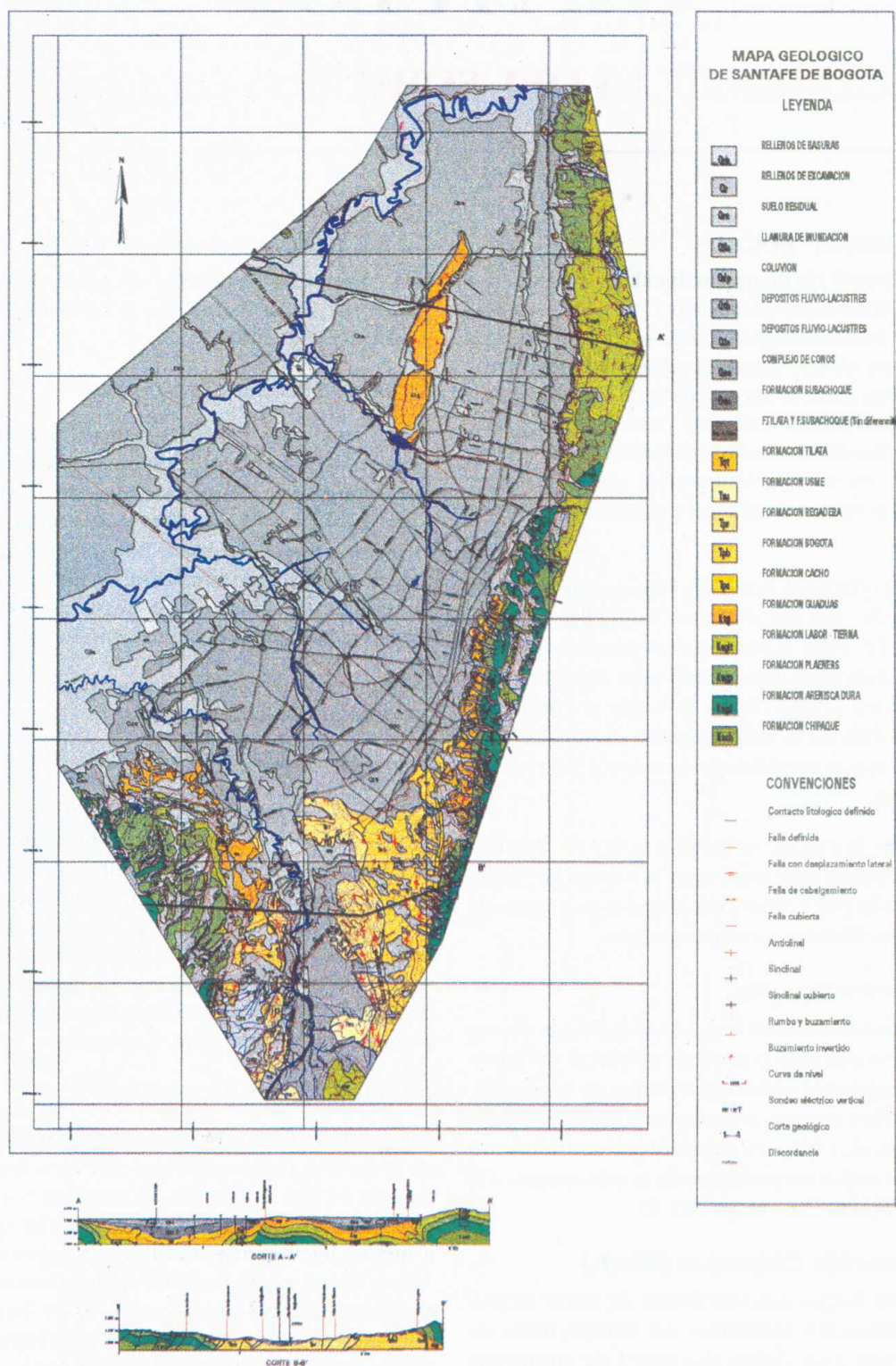


FIGURA 2.1 MAPA GEOLÓGICO DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ

2.1.1.3 Formación Guaduas (Ktg)

Aflora en los Cerros de Suba, en el piedemonte de los Cerros Orientales y en los sectores Sur y Suroeste de Santafé de Bogotá. Consta de tres conjuntos litológicos: a) parte inferior conformada por arcillolitas y areniscas de grano fino y con 70m de espesor; b) conjunto intermedio constituido por areniscas cuarzosas de color gris claro, de grano fino a grueso y con intercalaciones de arcillolitas y un manto de carbón de 0.4m; tiene un espesor de 606m y c) conjunto superior constituido por arcillolitas de color gris oscuro, con intercalaciones de areniscas cuarzosas, de grano medio a grueso, y mantos de carbón; su espesor es de aproximadamente 324m. Esta unidad posee el carbón a nivel comercial en la Sabana de Bogotá. Las arcillas como producto de meteorización de la roca, se utilizan para la fabricación de ladrillo, bloque, teja y tubería. El nivel intermedio se considera importante como acuífero y como fuente de arena para la construcción.

2.1.1.4 Formación Cacho (Tpc)

Aflora a lo largo del piedemonte oriental de Santafé de Bogotá, haciendo parte del flanco occidental del anticlinal de Bogotá. Litológicamente está constituida por areniscas de color amarillo rojizo, de grano grueso, con estratificación cruzada, en estratos de 0.1 a 2.0m y con un espesor de 50m. Es importante como acuífero y sus arenas se explotan como material de construcción.

2.1.1.5 Formación Bogotá (Tpb)

Aflora en los flancos del sinclinal de Usme-Tunjuelito. Consta de dos conjuntos: a) el inferior constituido por alternancia de arcillolitas y areniscas cuarzosas-feldespáticas, gris verdosas, de grano fino hacia la base y grueso hacia el tope, con un espesor de 620m; b) el conjunto superior constituido por arcillolitas gris oscuro, gris verdoso y marrón, por meteorización, su espesor sobrepasa los 100m. Las arcillas como producto de meteorización se utilizan para la fabricación de ladrillo, teja y tubería y como lechos impermeables para depósitos de basura.

2.1.1.6 Formación Arenisca la Regadera (Tpr)

Aflora hacia la parte media en las laderas del Valle del río Tunjuelito, haciendo parte del sinclinal Usme-Tunjuelito. Está constituida por capas de areniscas de cuarzo y fragmentos líticos, de color gris claro, con abundante matriz arcillosa e intercalaciones de arcillolitas de color gris claro a oscuro, blandas y plásticas, las cuales predominan hacia el tope de la unidad. Su espesor es de 360m. Sus arenas son importantes como material de construcción; tiene poca importancia como acuífero por su alto contenido de matriz arcillosa.

2.1.1.7 Formación Usme (Tpu)

La parte inferior aflora a lo largo del eje sinclinal de Usme-Tunjuelito. La parte que aflora está constituida por limolitas y arcillolitas de colores gris oscuro y amarillo por meteorización. Se presenta en bancos de 4 a 20 m, con intercalaciones esporádicas de areniscas cuarzosas de grano muy fino a medio. La parte que aflora tiene un espesor de 150m.

2.1.1.8 Formación Tunjuelo (Qpt)

Aflora a lo largo del piedemonte oriental de Santafé de Bogotá, pero sus mejores afloramientos se presentan en el Valle del río Tunjuelito, entre Yomasa y la escuela de Artillería. Su litología está compuesta por bancos de bloques, guijarros, guijos y gránulos de areniscas, limolitas, arcillolitas y chert, dentro de una matriz areno-arcillosa poco consolidada. Ocasionalmente se presentan intercalaciones de capas de arena y limo-arcilloso de aspecto lenticular y estratificación horizontal. Su espesor se estima en unos 100m. De esta unidad se extrae la gravilla de mejor calidad que existe en la Sabana de Bogotá y se utiliza como agregado para concretos de alta resistencia.

2.1.1.9 Formación Sabana (Qs)

Constituye la mayor parte de la superficie plana del área de estudio, geomorfológicamente corresponde al nivel de terraza alta descrita en el mapa. Consta de arcillas plásticas de color gris oscuro, en estratos de 0.4 a 1.0m de espesor, con interestratificaciones de lentes de arena y grava e intercalaciones de ceniza volcánica de color gris blancuzco, las cuales son más abundantes hacia la parte media del depósito. Sus niveles arenosos y de gravas son importantes para el almacenamiento de agua. El espesor total alcanza los 320m.

Depósitos aluviales (Qtb - Terrazas Bajas; Qta - Terrazas Altas)

Los afloramientos son escasos y su delimitación se realizó exclusivamente con base geomorfológica. Algunos de los afloramientos están constituidos por limos y arenas.

Coluvión (Qdp)

Son los depósitos productos de la fracturación, meteorización y erosión de rocas preexistentes, que han tenido transporte por acción del agua y de la gravedad y se han depositado en las partes media e inferior de las laderas. Sus mejores afloramientos se presentan en los piedemontes oriental, suroriental y suroccidental de área.

Suelo residual (Qrs)

Es el material producto del intemperismo de las rocas y

son importantes por su espesor, hasta de 10m, en la parte suroeste. Por tratarse de suelos predominantemente arcillosos, su permeabilidad es baja y su comportamiento geomecánico pobre.

Rellenos de excavaciones (Qr)

Son los depósitos que han resultado de acciones antrópicas para la adecuación de terrenos en el desarrollo urbanístico, principalmente en zonas pantanosas y deprimidas, donde el material utilizado es el sobrante sacado de las excavaciones. Estos depósitos abundan principalmente en los alrededores de Guaymaral, Aeropuerto El Dorado, Autopista Norte y Norte de Bosa.

Rellenos de Basura (Qb)

Están conformados por desechos sólidos que produce la ciudad y que se han concentrado sobre lechos relativamente impermeables, previamente excavados y acondicionados. Se destacan los rellenos sanitarios de El Corujo, Gibraltar, Santa Cecilia y Doña Juana.

2.1.2. Geología estructural

Se describe a continuación, algunos de los rasgos estructurales más notorios y se presentan interpretaciones sencillas, con el objeto de aportar ideas acerca de la génesis de la depresión que hoy ocupa la Sabana de Bogotá.

Por la conformación tectónica y estructural, el área de trabajo se ha subdividido en tres partes: a) bloque localizado al norte de la falla de Usaquén; b) bloque al sur de la falla de San Cristóbal; c) bloque central hundido, situado entre las fallas de Usaquén y San Cristóbal.

2.1.2.1 Bloque al norte de la falla de Usaquén

Es curiosa la desaparición, bajo los sedimentos de la sabana, de los cerros de Suba, Cota-Chía y Tabio-Tenjo, además de corresponder a estructuras anticlinales; los valles que separan estos cerros parecen haberse formado sobre depresiones estructurales de forma sinclinal. La linealidad y abrupta terminación de la punta sur de estos cerros, contra la prolongación de la trayectoria de la falla de Usaquén, el estilo estructural particular y la menor profundidad del relleno cuaternario, respecto al bloque central, de acuerdo con datos obtenidos por registros de geofísica, este bloque se interpreta como desgarrado del bloque central a través de la falla de Usaquén, en sentido lateral izquierdo, mediante movimiento de despegue hacia el W del bloque Central a través de las fallas de cabalgamiento como la de Bogotá.

Por otra parte, la continuidad de los Cerros Orientales hacia el Norte se ve interrumpida por la falla de Usaquén,

sitio a partir del cual los cerros Guadalupe y Monserrate aumentan de altura notoriamente y el Bloque Central presenta desplazamiento lateral.

La falla de Usaquén está cartografiada en los cerros orientales de la Sabana, pero parece prolongarse más al suroriente por varias decenas de kilómetros. En estudios recientes su traza ha sido ubicada dentro de la Sabana, debido a su alineamiento en la parte sur de los cerros de Suba, Cota-Chía y Tabio-Tenjo y el control y alineamiento del cauce del río Juan Amarillo.

2.1.2.2 Bloque al sur de la falla San Cristóbal

Se localiza al sur del Bloque Central teniendo como límite la prolongación de las fallas de San Cristóbal-Facatativá. Como estructuras sobresalientes se mencionan el sinclinal de Usme-Tunjuelito y la falla del río Tunjuelito, que parecen curvarse al noroeste, y la falla de Bogotá, aparentemente desplazada por la falla de San Cristóbal.

La falla de Tunjuelito es una falla inversa de dirección general NNE y buzamiento al oeste la cual, junto con la falla de Bogotá, prácticamente delimita el sinclinal de Usme-Tunjuelito. La dirección de la inclinación del plano de falla, contrasta con el buzamiento de los planos de falla del Bloque Norte.

2.1.2.3 Bloque central

Limita con los bloques norte y sur por las fallas de Usaquén y San Cristóbal-Facatativá, respectivamente. En este sector se tiene la mayor amplitud y profundidad del relleno Cuaternario de la sabana, además de otras particularidades como la inversión de las formaciones litológicas que conforman los cerros orientales.

La falla de Bogotá es una falla de cabalgamiento de dirección nor-noreste y plano buzando al este, el cual pone en contacto areniscas del Grupo Guadalupe y arcillolitas de la Formación Guaduas, sobre la parte media baja de los cerros al Oriente de Bogotá. Su traza está bien definida en los bloques Central y Sur, pero hacia el Norte, luego de Usaquén, no se tiene conocimiento de su continuidad.

La falla de San Cristóbal controla el curso del río del mismo nombre, en los cerros orientales de la Sabana. Su prolongación hacia el sureste se manifiesta por una serie de rasgos topográficos y drenajes alineados. La prolongación de su traza hacia el NW parece limitar el borde sur de la depresión de Funza, y de manera aproximada con el límite sur del relieve plano del valle de la sabana. Esta falla, junto con el sistema de fallas de Facatativá, marca la frontera sur de la cuenca de la Sabana de Bogotá las cuales probablemente ejercieron control tectónico, que sirvió de barrera estructural e impidió la deposición hacia el sur.

2.2 ESTUDIOS GEOFÍSICOS

Los ensayos de prospección geofísica tuvieron por objeto caracterizar los sedimentos y rocas que conforman el depósito con propiedades físicas como velocidad de ondas de compresión (V_p), de corte (V_s), densidad (σ) y resistividad eléctrica (ρ), de los sedimentos y rocas. La integración de la interpretación de resultados de los diferentes métodos geofísicos, correlacionados con perforaciones simultáneas, determinó un modelo único de la cuenca sedimentaria con su correspondiente geometría y características geofísicas. (INGEOMINAS, 1996-b; Rivera et al, 1996)

La toma de datos de los diferentes estudios realizados se efectuó por separado y sus resultados fueron integrados en una fase de interpretación conjunta para la obtención de un modelo de la cuenca. Se realizaron ensayos de resistividad eléctrica, gravimetría y sísmica.

2.2.1 Estudios de resistividad eléctrica

2.2.1.1 Adquisición de los datos geoelectricos

El método geoelectrico utilizado se denomina Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), que consiste en registrar la variación en profundidad de la resistividad eléctrica de los sedimentos y rocas para un punto dado.

Se utilizó un arreglo tipo Schlumberger y se hicieron 50 SEV. Los datos se tomaron con un equipo de resistividad eléctrica marca OYO.

2.2.1.2 Procesamiento de datos geoelectricos

Los datos geoelectricos fueron procesados con el paquete Resix Plus de la firma Interpex Ltda, el cual está basado en el método de aproximaciones sucesivas.

Para la interpretación final, no sólo se usaron los datos tomados para este proyecto, sino los recopilados en diferentes estudios realizados en el Instituto, para un total de 130 SEV. Los resultados obtenidos se generalizaron en perfiles y mapas para analizar la variación de la resistividad eléctrica de los materiales de la cuenca sedimentaria, tanto lateralmente como en profundidad.

2.2.1.3 Interpretación de resultados geo-eléctricos

Los resultados obtenidos se agruparon en cinco unidades petrofísicas de variación de valores de resistividad eléctrica, a los que se les denominó "zonas de resistividad", (Tabla 2.1).

ZONA DE RESISTIVIDAD	ρ , Ohm-m	PROFUNDIDAD MEDIA, h. metros	LITOLOGÍA	DISTRIBUCIÓN AREAL
1	15-60	0-25	Alternancia de arcillas, limos y algunas arenas parcialmente saturadas	Toda el área de estudio
2	10-20	25-50	Arcillas con algunas intercalaciones de limos.	Toda el área de estudio
3	25-60	50-200	Intercalaciones de arenas con capas delgadas de arcilla y algunos limos.	En la mayoría del área de estudio
4	10-19	200-300	Arcillas	Sector occidental
			Arcillolitas	Sector central y norte
5	>100	<500	Areniscas con intercalaciones de limolitas saturadas.	Áreas aledañas a los cerros orientales, cerros de Suba y en cercanías de Soacha

TABLA 2.1 ZONAS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA.



2.2.1.4 Mapas geoelectricos

Con base en la información puntual de los SEV se realizaron dos mapas el mapa de la profundidad del límite sedimento-roca y el mapa de contornos de la profundidad de la roca más compacta

En el mapa de la profundidad del límite sedimento-roca, se sitúa dicho límite entre las zonas de resistividad 3 y 4. Los datos de este mapa fueron calibrados por los sondeos mecánicos realizados en INGEOMINAS y en la Universidad Agraria. Este mapa es confiable en los sectores sur, centro y norte (entre los cerros de Suba y cerros Orientales), mientras que hacia el occidente pierde su validez.

El mapa de contornos de la profundidad del techo de la roca más compacta o techo de la zona de resistividad 5, corresponde principalmente a areniscas. En el sector entre los cerros de Suba y cerros Orientales la variación de la profundidad muestra una cuenca o estructura sinclinal con una dirección norte-sur. Una estructura similar se observa al Oeste de Soacha, en donde la estructura sinclinal posee también una orientación norte-sur.

Estos mapas permitieron obtener una primera aproximación de la geometría de la cuenca. En INGEOMINAS (1996-b) se presenta en forma detallada los resultados de este estudio.

2.2.2 Estudios gravimétricos

2.2.2.1 Adquisición de datos gravimétricos

El levantamiento de las estaciones gravimétricas se llevó a cabo con un gravímetro digital marca Scintrex, modelo CG-3, cuya resolución es de 0.01 miliGales y un rango dinámico de medida de 7000 miliGales.

Aún cuando el gravímetro utilizado permite realizar correcciones por deriva instrumental, mareas, inclinación y temperatura, se levantó una red de bases para minimizar las variaciones residuales por los factores arriba mencionados. La red estuvo conformada por 24 polígonos triangulares y 20 bases, siendo debidamente amarrada a la Red Nacional de Gravimetría a través de la estación MGLS-1967, ubicada en el Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional, la cual a su vez fué trasladada de la estación absoluta NPA2E1, ubicada en el Instituto Geofísico de los Andes.

En total se levantaron 320 nuevas estaciones gravimétricas con espaciamiento promedio de 0.7 a 1.0 km. Al presente estudio se adicionó la información gravimétrica obtenida por Pérez (1988), realizado en los alrededores de Funza, Mosquera y Madrid y la línea gravimétrica CM-10, levantada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi a lo largo de la carretera Funza-Cota.

2.2.2.2 Procesamiento de los datos gravimétricos

Los datos gravimétricos fueron procesados con el fin de obtener la anomalía de Bouguer Total, que es la manifestación directa de la distribución areal y en profundidad de las masas en el subsuelo y se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\Delta GBT = G_{obs} - G_t + CA - CB + CT, \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde: G_{obs} - gravedad observada,
 G_t - gravedad teórica, fórmula Internacional de gravedad de 1971
 CA - corrección de aire libre, referenciada a la altura del Observatorio Astronómico.
 CB - corrección de Bouguer, para una densidad de 2.6 gr/cc.
 CT - corrección topográfica, hasta el sector I de la tabla de Hammer.

2.2.2.3 Mapa de Anomalía Residual

Con el objetivo de resaltar los elementos estructurales locales se elaboró el mapa de anomalía residual sustrayéndole la componente regional del campo gravimétrico al mapa de anomalía de Bouguer Total.

Para resaltar los gradientes gravimétricos se le aplicó a este mapa un efecto de sombras, colocando una fuente ficticia a 270° de azimut y 30° de inclinación y otra fuente a 20° de azimut y 30° de inclinación, (Figura 2.2).

2.2.2.4 Interpretación gravimétrica cualitativa

De acuerdo con lo observado en el mapa de anomalía residual y en términos generales, la cuenca de la Sabana de Bogotá puede dividirse en dos subcuencas. La más profunda de ellas está localizada al noroeste del área de estudio, limitada al oeste por los cerros de El Rosal, al este por el Río Bogotá y a la altura de la intersección del río con la avenida de Las Américas tomando una orientación noreste-suroeste hacia los cerros de Bosa. Al norte esta cuenca estaría limitada por la conjunción de los cerros de Tenjo y los cerros de Cota y al sur por los cerros de Madrid. Esta subcuenca alcanza su mayor profundidad a 5 km al norte del municipio de Funza.

La segunda subcuenca se extiende de Sur a Norte por la cuenca del río Tunjuelito hasta la intersección de este con la Autopista del Sur, para posteriormente ramificarse en dos subcuencas más, localizadas entre los cerros de Cota y Suba y entre los cerros de Suba y los cerros Orientales. Estas últimas poseen su límite Norte por la unión en profundidad de los cerros de Cota, Suba y cerros Orientales.