



---

---

## **Caracterización Petrográfica y Mineralógica de los Suelos de un sector al SW de Ciudad Bolívar, en Bogotá, aplicada a la Geología Forense**

## **Mineralogy and Petrography Characterization of Soils in SW from Ciudad Bolívar, in Bogota, Applied to Forensic Geology**

---

---

CARLOS M. MOLINA, G. <sup>1</sup>

JAIME E. MENDOZA P. <sup>2</sup>

HAROLD A. PEÑA P. <sup>3</sup>

CESAR F. PEÑA, P. <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Geólogo Forense. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses

E-mail: marmolgal@yahoo.com

<sup>2</sup>Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá

E-mail: jemendozap@unal.edu.co

<sup>3</sup>Geólogos Universidad Nacional de Colombia

Molina, C.M., Mendoza, J.E., Peña, H.A., Peña, P.C. F. (2007): Caracterización Petrográfica y Mineralógica de los Suelos de un sector al SW de Ciudad Bolívar, en Bogotá, aplicada a la Geología Forense. - GEOLOGÍA COLOMBIANA, 32, pp. 69-76, 2 Figs., Bogotá.

### **RESUMEN**

Se caracterizaron petrográfica y mineralógicamente 50 muestras al SW de la Ciudad de Bogotá, D. C. y al sur del Municipio de Soacha; para ello se elaboró la cartografía geológica, se recolectaron muestras de rocas y suelos en una malla previamente diseñada, se efectuó análisis químico elemental por medio del método espectrométrico, se estandarizó el proceso de preparación de muestras de suelos para el análisis mineralógico y se estudiaron macro y microscópicamente las rocas. Con base en todo lo anterior, se relacionaron las formaciones geológicas con la distribución de minerales y elementos químicos de los suelos en la zona, y se establecieron los parámetros que servirán al Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses para adelantar sus investigaciones en los casos judiciales que lo requieran.

Palabras Clave: *Geología Forense, Suelos, Petrografía, Mineralogía, Ciudad Bolívar, Bogotá.*

### **ABSTRACT**

Fifty samples the SW of the City of Bogotá, D. C. and the south of the Municipality of Soacha were petrography and mineralogical characterized. It was elaborated by geologic cartography, samples of rocks and soils were gathered in a previously designed net, those were carried out to elementary chemical analysis by spectrography, the process of floor's preparation of samples was standardized for the mineralogical analysis and the rocks were studied macro and microscopically. In order to all the above-mentioned, the geologic formations were related with the distribution of minerals and elements of the soils in the area, and that allows to settle parameters to make a good use for the Institute of Legal Medicine and Forensic Sciences to advance their investigations in the judicial cases that be required.

Key words: *Forensic Geology, Soils, Petrography, Mineralogy, ciudad Bolívar, Bogotá.*

## INTRODUCCIÓN

La geología forense es la rama de las ciencias de la tierra que usa rocas, minerales, fósiles, suelos y materiales relacionados para dar evidencia en investigaciones judiciales y criminales (MURRAY 1975).

La geología forense es muy utilizada en países desarrollados desde hace varias décadas, y una parte de los estudios de esta ciencia se ha basado en la caracterización geológica y química de los suelos, con lo cual se han registrado e inventariado sus propiedades en varios sectores geográficos, para tener como base de datos que permita confrontar versiones dentro de una investigación judicial.

En Colombia durante los últimos años el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses se ha preocupado por ampliar las herramientas de soporte para Jueces, Fiscales y demás autoridades competentes colocando a su disposición el análisis de elementos materia de prueba no comunes en nuestro medio, como por ejemplo el suelo, que ha mostrado su importancia en la orientación o esclarecimiento de diferentes delitos.

Este trabajo corresponde al proyecto de investigación "Caracterización geoquímica de una zona de Ciudad Bolívar al sur oeste de Bogotá, por experimentación y aplicación de métodos analíticos de suelos y rocas con fines forenses" que se ha desarrollado en la modalidad de Trabajos de Grado con estudiantes de geología y química de la Universidad Nacional de Colombia.

Ciudad Bolívar ha ocupado en la última década los primeros lugares en muertes violentas en Bogotá, de ahí que teniendo en cuenta que son terrenos destapados se ha visto la necesidad de iniciar la caracterización geológica - forense de los suelos del área con el fin de que los estudios petrográficos y mineralógicos obtenidos sirvan como patrones de referencia para los diferentes análisis de suelos necesarios para las autoridades competentes que lo requieran con oportunidad y eficacia dentro de casos como, homicidios, violaciones, hurtos, secuestros, etc.

Para este estudio se recolectó información bibliográfica y de campo en un área de 48 Km<sup>2</sup> colectando 206 muestras de suelo y 63 muestras de roca, de las cuales se analizaron petrográficamente 20 muestras, y química y mineralógicamente 30 suelos determinando contenidos de Si, K, Mg, Pb, Cu, Co, V, etc., y la relación mineralógica existente.

## LOCALIZACIÓN

El área de estudio se encuentra localizada en los límites SW de la zona urbana de la ciudad de Bogotá D.C. y al sur del Municipio de Soacha, entre la coordenadas planas X=990000 a X=998000, Y=985000 a Y= 991000, la cual se

encuentra cubierta por las planchas topográficas del IGAC 246-II-B escala 1:25000 y 246-II-B-1 y 246-II-B-3 escala 1:10000 y las fotografías aéreas 000198-000199-000200 del vuelo C-2612 y las 000110-000111-000112-000113 del vuelo C-2520 correspondientes al sector SW del Distrito Capital, para un total de 48 Km<sup>2</sup>.

## GEOLOGÍA

### Geomorfología

El área de estudio se divide en dos sectores geomorfológicos, uno montañoso y otro plano. La parte montañosa se caracteriza por alturas que van desde 2700 hasta 3200 msnm formando cerros con marcados escarpes por sus fuertes pendientes y otros con escarpes un poco menos definidos, mostrando una morfología más suave, controlados por las estructuras geológicas que afectan a las rocas sedimentarias cretáceo – terciarias allí aflorantes. Algunas de estas estructuras se prolongan hacia el norte dando origen a pequeñas colinas que limitan la Sabana de Bogotá.

La parte plana corresponde a la denominada altiplanicie de la Sabana de Bogotá, que alcanza su mayor amplitud al occidente y norte del área de estudio, conformada por el relleno sedimentario del Cuaternario. (PEÑA & FRANCO 1989 y KHOBZI 1981).

### Estratigrafía

En el área estudiada afloran las siguientes unidades consolidadas y no consolidadas con edades que van desde el Cretáceo hasta el Reciente, discriminadas así: Formación Chipaque (Kvc), Grupo Guadalupe, Formación Arenisca Dura (Kgd), Formación Plaeners (Kgp),

Formación Arenisca de Labor (Kgl), Formación Arenisca Tierna (Kgt), Formación Guaduas (TKg), Depósitos cuaternarios, Depósitos Fluvio – Glaciares (Qfg), Coluviones (Qc), Depósitos Fluvio – Lacustres (Qfl), Depósitos Aluviales Recientes (Qal). (Fig 1).

Autores que han trabajado y detallado esto aspectos son: KARSTEN (1856), HETTNER (1892), STUTZER (1926), HUBACH (1957a escrito en 1951), UJUETA (1961), RENZONI (1962), PÉREZ & SALAZAR (1978).

### Geología estructural

Esta es una zona compleja desde el punto de vista tectónico lo cual se manifiesta en las variadas direcciones de sus estructuras, y los complicados sistemas de pliegues y la abundancia de fallas de diferente tipo y escala.

Generalizando se pueden mencionar dos tendencias estructurales principales: la dirección NNW que predomina y controla la posición de las rocas a escala regional y la



dirección NE. Otras tendencias menores de influencia más localizadas son NW, E-W y NNE.

Se destacan los pliegues del Anticlinal de Cheba, Sinclinal y Anticlinal de Soacha, Las Fallas de Sucre, Calderón, Terreros, Limas, Quiba, Fusunga y Soacha. (ANGEL & SAENZ 1988, RENZONI 1962 y JULIVERT 1963).

## SUELOS

Suelo para propósitos forenses, es el material que ha sido colectado accidental o deliberadamente y tiene alguna asociación con el suelo presente en el lugar de los hechos materia de investigación. Esta definición de suelo, involucra minerales y partículas orgánicas, tal como partes de plantas y una variedad de partículas de origen antrópico o que han sido incorporadas dentro del suelo, es decir el suelo en geología forense es una mezcla de minerales, partículas orgánicas y artificiales, que se han recogido en un determinado lugar (MURRAY & TEDROW 1992).

Los materiales de la tierra como suelos, rocas, minerales y fósiles pueden ser y comúnmente son usados como evidencia física en procesos jurídicos tanto penal como civil. El uso más común como toda evidencia física esta en el aporte de un argumento para definir un proceso ocurrido que resuelva una investigación.

En general, el valor de los suelos, rocas y minerales como evidencia física se basa en el hecho de que la naturaleza nos ha proporcionado un extenso número de variaciones y posibilidades de estos materiales lo que permite fácilmente observarlas o medirlas y de esta manera caracterizarlas (MURRAY 2004).

### Muestreo de suelos

Para realizar el muestreo de suelos con fines forenses en la mayoría de los casos se trabaja con la parte más superficial (0 a 2 cm), que generalmente es la que puede quedar adherida a la ropa, zapatos o vehículo del sospechoso o víctima en un incidente, pero en algunos casos cuando se presentan fragmentos de roca sobre el suelo, debe hacerse tomando hasta 4 cm de profundidad.

El muestreo fue realizado tomando los dos primeros centímetros del suelo con una pequeña pala de acero inoxidable para evitar la contaminación de la muestra con óxidos de Fe u otro elemento exógeno que pudiera dificultar los posteriores análisis químicos a realizarse. Cada muestra se recolectó en un área circular de 5 m de radio para evitar variaciones locales. Luego estas fueron depositadas y selladas en bolsas plásticas de tamaño medio (1.5 Kg).

De estas se utilizaron 30 muestras, principalmente de los valles ya que son los sectores en donde la muestra ha sido mas transportada, y de esta manera es mucho más fácil entender el origen de las diferentes variaciones tanto químicas como mineralógicas.

El muestreo se llevo a cabo siguiendo una malla que se diseño previamente, teniendo en cuenta el rumbo de las capas, ya que este es el factor geológico inicial con el que se cuenta para el proceso geológico de la caracterización de los suelos. Partiendo de este hecho, la malla tenia una dirección preferencial N15W y un espaciamiento entre puntos de muestreo de 500 metros, lo que permitió que en el sector se tomaron 206 muestras las cuales cubren toda el área y servirán como muestras de control en los casos judiciales que involucren suelos del sector. Estas muestras fueron ubicadas en un mapa topográfico, describiendo las características principales del sitio de la toma de la muestra para facilitar el entendimiento de las variaciones en sus propiedades.

### Análisis químico de los suelos del sector

El análisis químico elemental se practica a fin de caracterizar químicamente una roca o suelo, para calcular las cantidades totales de componentes en suelos, así como para determinaciones y balances sobre lixiviación y percolación de elementos en el suelo.

De manera general se determina el análisis químico total de los siguientes elementos: Si, Ti, Al, Mn, Ca, Mg, K, Na, P, etc. Los valores se calculan referidos generalmente a suelo seco.

### Variación de los elementos en los suelos del sector

Se muestran los resultados obtenidos al estudiar los valores del análisis espectrográfico y relacionarlos con la composición mineralógica de rocas y suelos. Estos resultados se analizan para cada elemento que presente variaciones significativas (mayores al rango de homogeneidad) en el sector y se mencionan los minerales primarios que pueden dar origen a los suelos, acumulando ciertos elementos como productos finales de la meteorización y del transporte de estos.

## PETROGRAFÍA Y MINERALOGÍA DE LOS SUELOS DEL SECTOR

Los geólogos forenses a menudo se han enfrentado con el problema de la determinación de distribución de tamaños de partículas en una muestra. El propósito es el de producir patrones para estudios de comparación que son similares, en cuyo caso, la muestra de control puede contener algunas partículas mayores o menores que no estén presentes en la muestra cuestionada o asociada y ellas deben ser removidas.

Cuando las muestras están fragmentadas bajando hasta submuestras en las cuales todas las partículas están en el mismo rango de tamaño para estudios mineralógicos, una determinación de la distribución de los tamaños de las partículas puede ser producida como un método de comparación y en los mismos casos puede tener valor de evidencia.

El método básico usado para la separación de tamaños de partículas de las muestras es el de pasar la mues-

tra a través de un juego de tamices de alambre con el tamaño de partículas decreciendo desde el tope hacia el fondo (MURRIA 2004).

### **Análisis petrográfico**

Mediante el uso del microscopio petrográfico se identificaron y cuantificaron los diferentes minerales que están presentes en las muestras de suelo, con el fin de establecer diferencias o similitudes mineralógicas entre estas.

### **Método para el análisis petrográfico de las muestras de suelo**

Se estandarizó el método de preparación de muestras de suelo a partir de ensayos previos. Primero se pone a secar la muestra durante 1 hora a 110°C, luego se pasa por microtamizadores de referencia conocida, como son los de la norma ASTM con malla para diámetros menores a 2mm. La fracción escogida para pesaje es la retenida en tamiz 0,053 mm, a la cual se procede a removerle la materia orgánica con peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) al 35% (m/v).

Luego, se procede a separar los óxidos utilizando NaOH al 50% y dejando hervir 5 minutos, después se añade 1g de ácido oxálico al 10%, y se introduce una lámina de aluminio. Se deja hervir 20 minutos añadiendo el agua perdida por evaporación. Se retira la lámina y se procede a lavarla, para después colocarla en un matraz de 250 ml, al cual se añade H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 35% (m/v) y ácido clorhídrico (HCl) normal (1.2N), se hierve durante 5 minutos y se añade 1 ml de cloruro amónico, colocando en baño de vapor para flocular.

Se pasa a tubos de centrifuga de 10 ml, se lava con cloruro de sodio (NaCl) al 5% en 0,001N de ácido oxálico. Se lava con alcohol saturado con HCl, luego con acetona.

Por último, desecar y pesar el suelo limpio con solución diluida de carbonato sódico de pH = 8,0, para finalmente montar la placa en frío utilizando un aceite de inmersión conocido. (PÉREZ 1965).

### **Variación del Porcentaje y Características de los Minerales en el Sector**

A continuación se muestra el comportamiento de variación porcentual de los minerales encontrados en el análisis petrográfico y las características ópticas observadas en las placas de suelo.

**Cuarzo:** El cuarzo en el sector se encuentra en promedio con porcentajes de 30 a 50%, mostrando valores altos de casi 70% hacia el noroccidente del área de estudio y valores muy bajos de casi el 10% al sur del área. Su contenido esta asociado directamente al aumento en el tamaño de grano de la roca parental siendo mayor en las formaciones más arenosas.

**Biotita:** La biotita es bastante homogénea con valores de 0 a 6%, mostrando los valores más altos en la parte oriental del área. Su rango de homogeneidad esta entre 0.5 y 3%.

**Clorita:** La clorita presenta valores de 0.5 a 10%, mostrando los valores mas altos hacia la parte central de casi 10% y hacia el sur oriente y nororiente los valores más bajos de casi 2%. Su rango de homogeneidad esta entre 1 y 3%.

**Muscovita:** La muscovita en el área varía de 2 a 20% en cuanto a su presencia (Fig. 2), mostrando los valores más altos hacia el noroccidente, nororiente y sur oriente de casi el 20% y hacia la parte central los más bajos de casi el 5%. Su rango de homogeneidad esta entre 5 y 12%.

**Feldespato potásico:** El feldespato potásico se presenta entre un 0 y 6%, en el área mostrando sus mínimos valores en el sur occidente y sur oriente entre 0 y 1.5%, rango de homogeneidad esta entre 1 y 3.5%.

**Plagioclasa:** La plagioclasa en el área se encuentra en contenido porcentual entre 1 y 13%, teniendo valores máximos entre 7 y 12% al norte del área y valores bajos de 1 a 2% al sur, sur oriente y sur occidente. Su rango de homogeneidad esta entre 4 y 8%.

**Plagioclasa sericitizada:** Se presenta con valores que están entre 20 y 65%, presentando los valores más altos hacia el noroccidente, occidente, centro, oriente de 60 a 65% y al sur occidente los valores más bajos de casi 20%. Su rango de homogeneidad esta entre 20 y 45%.

**Rutilo:** El rutilo se presenta con valores que están entre 0.5 y 6.5%, presentando los valores más bajos hacia el nororiente, centro y suroccidente de 0.5% y al suroriente y noroccidente los mas altos de casi 6.5%. Su rango de homogeneidad esta entre 1.5 y 4%.

**Circón:** Se presenta con valores que están entre 1 y 4.5%, presentando los valores más altos hacia el centro, suroriente y oriente de casi 4.5% y al norte los valores más bajos de casi 1%. Su rango de homogeneidad esta entre 1 y 3%.

**Opacos:** Se presenta con valores que están ubicados entre 2 y 24% presentando los valores más altos hacia el suroccidente y suroriente del 24% y al noroccidente los valores más bajos de casi 2%. Su rango de homogeneidad esta entre 6 y 12%.

**Partículas Magnéticas:** Incluyendo magnetita, la mayoría de partículas de ilmenita, hierro de hierro son opacas en la luz transmitida. Bajo la luz reflejada las partículas de magnetita, ilmenita y partículas de hierro son grisáceas, azulosas y negro pardusco con lustre metálico. La magnetita e ilmenita son encontradas como granos homogéneos, angulares a subredondeados mostrando algunas facetas cristalinas. Las partículas de hierro varían de fragmentos dentados irregulares a esferas bien redondeadas.

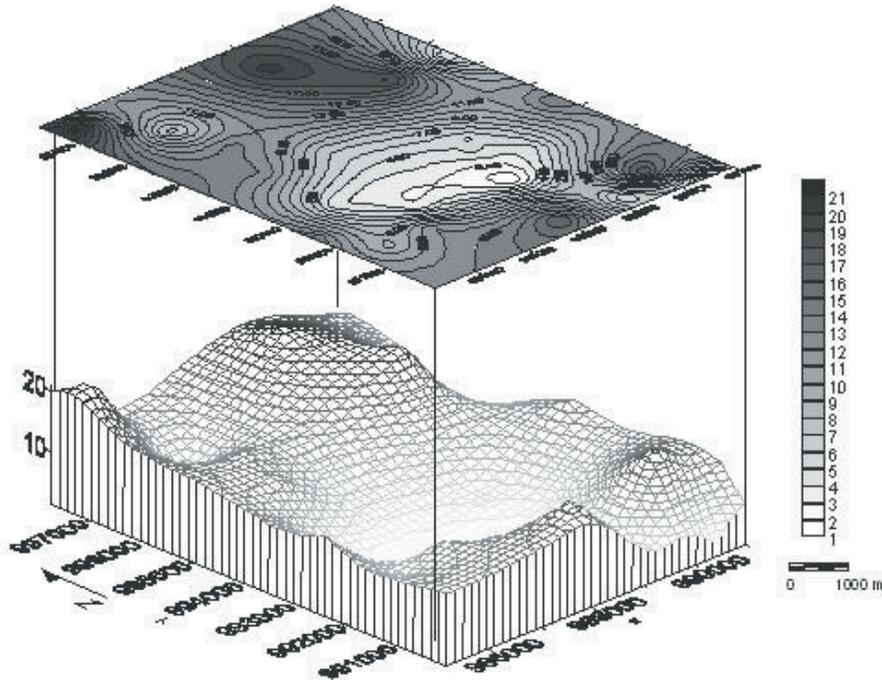


Fig. 2. Gráfica de variación del contenido de muscovita en la zona.

**Hematita y Partículas no Magnéticas:** Los granos de hematita generalmente aparentan ser opacos, pero los granos pequeños pueden mostrar alguna translucidez a lo largo de bordes delgados; bajo la luz reflejada las partículas son comúnmente café rojizo oscuro y frecuentemente exhiben reflexiones de muchas superficies pequeñas. Los granos de hematita en su mayoría se encuentran como partículas irregulares homogéneas; frecuentemente son elongadas, exhibiendo formas como cuña (triangulares) y frecuentemente tienen bordes rotos.

**Limonita:** Café cuando es traslúcida, pero es usualmente opaca en la luz transmitida. Bajo la luz reflejada varía de brillo metálico a terroso amarillo, naranja o café, las partículas redondeadas o agregados friables son comunes, se diferencia de las otras partículas opacas por sus colores en la luz reflejada.

**Partículas opacas negras:** Son opacas bajo la luz transmitida y negras bajo la luz reflejada. Esta clasificación incluye partículas negras de cenizas que no muestran contornos característicos; los granos de ilmenita que no son magnéticos y otras partículas que no tan comúnmente se presentan teniendo las mismas características, el color negro bajo la luz reflejada y la ausencia de magnetismo diferencia estos granos de las otras partículas opacas.

**Oolitos:** Se presenta con valores que están entre 0 y 3%, presentando los valores más altos hacia el noroccidente con 3% y al sur oriente los valores más bajos entre 0 y 0.2%. Su contenido esta asociado a sectores con sue-

los de horizontes muy delgados, debido a que estos se encuentran sobre zonas arenosas y áridas.

**Características de los suelos y su relación con las formaciones geológicas aflorantes en el sector**

Se presentan los principales elementos y minerales que permiten relacionar y caracterizar los suelos con las rocas aflorantes en el sector; esta caracterización y relación se logra gracias a la comparación de mapas de distribución de cada uno de los elementos, y minerales en la zona, teniendo en cuenta la composición mineralógica de suelos y las rocas aflorantes y por medio del mapa geológico la distribución areal a través de la zona:

**Caracterización y relación de los suelos con la formación Chipaque:**

De acuerdo a la composición de las rocas y a los diferentes procesos que influyen en la formación de los suelos, se tiene que los elementos que caracterizan y relacionan los suelos y rocas de esta formación son: Plata (7-15 ppm) y Plomo (100-200 ppm), y el mineral Rutilo (4-6.5%) los cuales dada su distribución en el sector permiten diferenciar suelos y rocas de otros con base a las anteriores características.

Los elementos que con ella están relacionados, pero que no permiten caracterizarla por su acumulación en donde se encuentran los suelos asociados, presentan variación química composicional de: Ba, Be, Cr, B, Fe, La, Mn e Y. Por otra parte esta formación, para los suelos asociados, presenta variación porcentual en los siguien-

tes minerales: cuarzo, muscovita, clorita, plagioclasa, plagioclasa sericitizada, circón y opacos.

**Caracterización y relación de los suelos con la formación Arenisca Dura (Grupo Guadalupe):** Esta unidad dada su composición mineralógica y teniendo en cuenta la variación de los minerales asociados en los suelos, presenta los siguientes elementos que caracterizan y relacionan a los suelos y las rocas del área del presente trabajo: boro (25-100 ppm), cobalto (6-10 ppm), cobre (12-20 ppm), galio (35-70 ppm), magnesio (2-5%), niobio (12-20 ppm), escandio (8-20 ppm), estroncio (500-1500 ppm), titanio (1-1.5%) y zirconio (500-1000 ppm), y en cuanto a minerales están: cuarzo (50-70%) y biotita (3-6%).

Los elementos que con ella están relacionados, pero que no permiten caracterizarla por su acumulación, en donde se encuentran los suelos asociados, presentan variación química composicional de: Ba, Ca, Fe, La, Mn, Mo, Pb, V, W y Zn. Por otra parte esta formación, en sus suelos asociados, presenta variación porcentual en los siguientes minerales: muscovita, clorita, feldespato potásico, plagioclasa, plagioclasa sericitizada, circón, rutilo, oolitos y opacos.

**Caracterización y relación de los suelos con la formación Plaeners (Grupo Guadalupe):** Dada la composición mineralógica y de acuerdo a la variación de los elementos y minerales relacionados a los suelos, se tiene que los elementos presentes en los suelos que caracterizan y relacionan los suelos y la formación son: calcio (5-20%), lantano (70-100 ppm), manganeso (400-700 ppm), vanadio (200-500 ppm) y zinc (300-700 ppm), y en cuanto a minerales están: clorita (3-10%), feldespato potásico (3.5-6%), muscovita (12-20%) y circón (3-4.5%).

Los elementos que con ella están relacionados, pero que no permiten caracterizarla por su acumulación, en donde se encuentran los suelos asociados, presentan variación química composicional de: Ag, Nb, Pb, W y Zr. Por otra parte esta formación, para sus suelos asociados, presenta variación porcentual en los siguientes minerales: cuarzo, plagioclasa sericitizada, oolitos y opacos.

**Caracterización y relación de los suelos con las Formaciones Arenisca de Labor y Arenisca Tierna (Grupo Guadalupe):** Para trabajar estas formaciones con los suelos asociados se trabajaron en conjunto, dada sus numerosas similitudes composicionales, lo que dificulta hacerlo por separado. De acuerdo a lo anterior y a la composición mineralógica de las rocas de la formación y de los suelos se pudo establecer lo siguiente; los elementos presentes en los suelos que sirven para caracterizarlos y relacionarlos son: bario (800-1500 ppm), níquel (20-50 ppm) e ytrio (12-50 ppm), y los minerales son los opacos (12-24%).

Los elementos que con ella están relacionados, pero que no permiten caracterizarla por su acumulación en

donde se encuentran los suelos asociados, presentan variación química composicional de: B, Be, Cu, Ga, Fe, La, Mn, W y Zr. Por otra parte esta formación, para sus suelos asociados, presenta variación porcentual en los siguientes minerales: cuarzo, moscovita, feldespato potásico, plagioclasa, plagioclasa sericitizada y circón.

**Caracterización y relación de los suelos con la formación Guaduas:** De acuerdo a la composición química y mineralógica tanto de rocas como de suelos se tiene que los más importantes parámetros que sirven para caracterizar y relacionar los suelos asociados a la formación son: berilio (1.4—2 ppm), cromo (150-500 ppm) y tungsteno y los minerales plagioclasa (8-13%) y plagioclasa sericitizada (45-65%).

Los elementos que con ella están relacionados pero que no permiten caracterizarla por su acumulación, en donde se encuentran sus suelos asociados, presentan variación química composicional de: B, Ba, Ca, Fe, La, Mn y Zr. Por otra parte esta formación, para sus suelos asociados, presenta variación porcentual en los siguientes minerales: cuarzo, muscovita y feldespato potásico.

**Caracterización y relación con los depósitos cuaternarios:** En cuanto a los depósitos cuaternarios, estos presentan características semejantes a las de las Formaciones Arenisca Dura y Plaeners, las cuales son las rocas que en la mayoría del sector infrayacen estos depósitos mostrando características muy similares en cuanto a composición mineralógica y química. Ya que estos depósitos pueden ser considerados como suelos consolidados a gran escala se hace difícil tratar de caracterizarlos separadamente de las formaciones geológicas asociadas. También para estos se tuvo en cuenta su distribución areal en el sector y así se diferenciaron.

## CONCLUSIONES

Se elaboró una cartografía geológica del área de interés a escala 1:25000, donde afloran rocas que van desde el Cretáceo hasta el Reciente, como lo son en su orden la Formación Chipaque, el Grupo Guadalupe (Formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Arenisca de Labor y Arenisca Tierna), la Formación Guaduas y Depósitos Cuaternarios de diferente origen (aluvial, coluvial, fluvio-glacial, conos de derrubio y fluvio lacustre).

Se realizó un muestreo representativo del suelo por medio de una malla sobre impuesta a un mapa topográfico con las unidades geológicas aflorantes. El total de muestras colectadas de suelos es de 207 y de roca 63.

Se caracterizó petrográfica y mineralógicamente las muestras de suelo y roca, mostrando las variaciones en porcentaje de minerales de los suelos y los cambios en las rocas.

Se estandarizó el procedimiento de preparación de las

muestras de suelo para el análisis petrográfico y mineralógico, facilitando los procesos de comparación posteriores de las muestras con el material objeto de investigación.

Se relacionó el suelo con la roca parental, caracterizando las formaciones con las variaciones de elementos y minerales de los suelos, presentando por medio de mapas los suelos similares asociados a la formación y los que por diferentes cambios no pueden ser asociados a las rocas.

Ya que el método espectrográfico es semicuantitativo, existen algunos elementos como el Titanio y Calcio, que presentan grandes variaciones proporcionales comparadas con los valores de la naturaleza. Esto puede ser debido a contaminación por agentes externos o por factores tales como fijación y movilidad de elementos.

La Formación Chipaque se caracteriza por los suelos con concentraciones de los elementos Ag, Pb y el mineral rutilo.

La Formación Arenisca Dura se caracteriza por los suelos con concentraciones de los elementos B, Co, Cu, Ga, Mg, Nb, Sc, Sr, Ti, Zr y los minerales cuarzo y biotita.

La Formación Plaeners se caracteriza por los suelos con concentraciones de los elementos Ca, La, Mn, V y Zn, y los minerales muscovita, clorita, feldespato potásico y circón.

Las Formaciones Arenisca de Labor y Arenisca Tierna se caracterizan por los suelos con concentraciones de los elementos Ba, Ni, e Y, y los minerales opacos.

La Formación Guaduas se caracteriza por los suelos con concentraciones de los elementos Be, Cr y W, y los minerales plagioclasa y plagioclasa sericitizada.

## RECOMENDACIONES

En aquellas investigaciones en las que se involucra un análisis mineralógico, se recomienda utilizar el método estandarizado para la preparación de muestras aquí propuesto, ya que este permite mayor facilidad y exactitud en el reconocimiento de los minerales.

Debido a que en los suelos se presenta un mayor contenido de minerales de alteración como son los arcillosos, es recomendable no utilizarlos para relacionar el suelo con la roca (Exceptuando los casos en que la composición de la roca parental, presente abundancia de este tipo de minerales).

Para que esta caracterización mineralógica, petrográfica y composicional de los suelos sirva como herramienta clave en investigaciones judiciales, es necesario continuar este proceso en nuevas áreas geográficas, implementando la base de datos, y de esta manera, en un futuro no muy lejano cualquier investigación forense que se realice sea mucho más eficaz.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de manera muy especial el apoyo del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses y a la Universidad Nacional de Colombia.

## REFERENCIAS

- ANGEL, C. & SAENZ, J. (1988) Estudio hidrogeológico de las zonas de Soacha y Ciudad Bolívar. Informe No. 2085. IN-GEOMINAS. Bogotá
- HETTNER, A. (1892). Die Kordillere von Bogotá. Pattermans Mitteilungen *Erganzungshett* 104. 229p. Justus Pertha Gotha.
- HUBACH, E.. (1957 a (Escrito en 1951)) Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores. *Bol. Geol.* V.5, No.2. Inst.Geol. Nal. Bogotá.
- JULIVERT, M. (1963). Los rasgos tectónicos de la región de la Sabana de Bogotá y los mecanismos de la formación de estructuras. *Bol Geol. Universidad Industriale Santander* No.13-14. Bucaramanga.
- KARSTEN, H. (1856) La Situación geognóstica de la Nueva Granada. *Trad. Rev. Acad. Col. Cienc. Exact. Fis. Nat., V. VII, No. 27.* P. 361 – 380. Bogotá.
- KHOBZI, J 1981.Aspectos de Geología Periglacial, Glaciaria y Fluvioglaciaria en la montañas tropicales Húmedas Norandinas. *Geología Norandina.* N.3, Bogotá.
- MURRAY, R.C. (2004). *Evidence from the Earth: Forensic Geology and Criminal Investigation*, 226 p. Montana.
- MURRAY, R & TEDROW, J. (1992) *Forensic Geology, "Earth Sciences and Investigation.* Prentice Hall. 203p. New Jersey, U.S.A.
- MURRAY, R. C. (1975) *Natural History Magazine*, February.
- PEÑA, M. & FRANCO, R. (1989) *Geología y geomorfología 1:10000 de 49 Km<sup>2</sup> entre Usme y Buenavista al sur de la Sabana de Bogotá.* Tesis U.N. Bogotá.
- PEREZ, G. & SALAZAR, A. (1978) *Estratigrafía y Facies del Grupo Guadalupe.* *Geol. Col.* No.10. Universidad Nacional de Colombia. P. 7 – 86. Bogotá.
- PÉREZ, M. J. (1965) *Análisis Mineralógico de arenas.* Patronato Alonso de Herrera. Madrid.
- RENZONI, G. (1962) *Apuntes acerca de la litología y tectónica de la Zona al E y SE de Bogotá.* *Bol. Geol.* No.10 (1-3). P. 56 – 79. Servicio Geológico Nacional. Bogotá.
- STUTZER, O. (1926) *Contribución a la geología de la Cordillera Oriental, Regiones Cerca de Bogotá.* *Publ. CEGOC*, Tomo11. P. 141 – 182. Bogotá.
- UUJETA, G. (1961). *Geología del Noreste de Bogotá,* *Bol. Geol. Serv. Geol. Nal.* V. IX, No. 1-3. P. 23 – 46. Bogotá.

*Manuscrito recibido Octubre 2007; aceptado Noviembre 2007*