



## Estudio de Suelos con Fines Forenses por Análisis Físicos, Químicos, Mineralógicos y Granulométricos.

MARÍA INÉS BALLESTEROS

*Química M.Sc. Departamento de Química. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.*

CARLOS MARTÍN MOLINA

*Geólogo. Grupo de Química. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, Bogotá, Colombia.*

JAIRO MORENO BETANCOURT

*Geólogo. Departamento del Medio Ambiente. Seccional Girardot. Universidad de Cundinamarca. Girardot, Colombia.*

BALLESTEROS, M.I.; MOLINA, C.M. & MORENO-BETANCOURT, JAIRO (1998): Estudio de Suelos con Fines Forenses por Análisis Físicos, Químicos, Mineralógicos y Granulométricos.- GEOLOGIA COLOMBIANA, 23, pgs. 107-105, 5 Figs., 2 Tablas, Santafé de Bogotá.

**Resumen:** Para el estudio y validación de métodos analíticos de suelos con fines forenses se utilizaron suelos de dos zonas geográficas de taxonomía diferente, pertenecientes a las regiones de Funza y Zabrinisky localizadas en los alrededores de la Sabana de Bogotá. Se realizaron observaciones al estereomicroscopio y determinaciones de color, pH, fraccionamiento por tamizaje, análisis mecánico del suelo, gradiente de densidad, difracción de rayos X y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM). De los métodos aplicados se concluyó que todos permitieron diferenciar las muestras de suelo de las dos regiones, con excepción del pH, dado que se encontraron valores de pH similares. Se recomienda que los métodos aquí estudiados se analicen en conjunto para que tengan eficacia en el campo forense; a su vez para efectos prácticos y en laboratorio, se sugieren los siguientes y en su orden: color, pH, densidad y mineralogía.

*Palabras Claves :* Geología forense, Análisis forense de suelos.

**Abstract:** Soils from two different taxonomic geographical areas from Funza and Zabrinisky in the borders of the Bogotá Sabana were used to study and validate forensic analytical methods. The following analysis were used in this study: preliminary observation and test, color, pH, sieving, mechanical analysis, density gradient, X-ray diffraction and Scanning Electronic Microscopy (SEM). It was found that all these analysis but pH which yielded similar results for most of them were able to differentiate samples from both areas. It is recommended that the methods here described be analyzed as a set so they yield good results in the forensic field. It is also suggested they be applied in the following order: color, pH, density and mineralogic analysis

*Key Words:* Forensic geology, Forensic soil analysis.

### INTRODUCCION

La geología forense es requerida en el campo investigativo para buscar junto con la química, biología y otras disciplinas elementos que se constituyan como pruebas científicas para ayudar a la justicia. Con esto se pretende ir descartando la parte subjetiva para entrar en una etapa objetiva que permita colocar a disposición del sistema judicial herramientas de competencia geológica.

Vale la pena resaltar que el aspecto forense de la geología está ampliamente difundido en países desarrollados como Alemania, Inglaterra, Canadá y Estados Unidos y que en Colombia aún no se explorado; por eso se pretende establecer los primeros pasos en el desarrollo de este

tema de vital importancia en el ámbito de la justicia nacional, mostrando la necesidad de actuar interdisciplinariamente.

La ausencia en los laboratorios de nuestro país de métodos para comparar suelos con fines forenses, permite que se emprenda esta experimentación para implantar un modelo analítico que determine si dos muestras de suelo son o no similares. Por tal motivo se desarrolló el siguiente trabajo que tiene como objetivo experimentar y validar métodos de análisis de suelos tales como : color, pH, densidad, fracción por tamizaje, análisis mecánico, mineralogía, difracción de rayos X y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).

**MATERIALES Y METODOS**

**Suelos**

Se recolectaron muestras de suelo pertenecientes a la zona de Funza que según mapa de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (CARRERA *et al.* 1980) pertenece a la Asociación Tibaitatá - Zipaquirá - Corzo y de la Zona de Zabrinisky ubicada en la Asociación Bojacá.

**Muestreo**

Según los lineamientos dados por MUKOYAMA *et al.*

(1986) (MURRAY & TEDROW 1992) se tomaron muestras de suelo por triplicado por cada metro cuadrado (1m<sup>2</sup>), hasta una profundidad de 5 cm, las que posteriormente fueron homogenizadas. En total se tomaron 10 muestras: 5 del sitio de Funza (letra A) y 5 de Zabrinisky (letra B) y sus respectivas distancias las cuales variaron de cero (0) a veinticinco metros (25) de la siguiente forma: 0-1 m.; 3-4 m.; 6-7 m.; 12-13 m y 24-25 m.

**Análisis de Laboratorio**

-**Observaciones y ensayos preliminares:** Se hizo una descripción del aspecto general del suelo con el

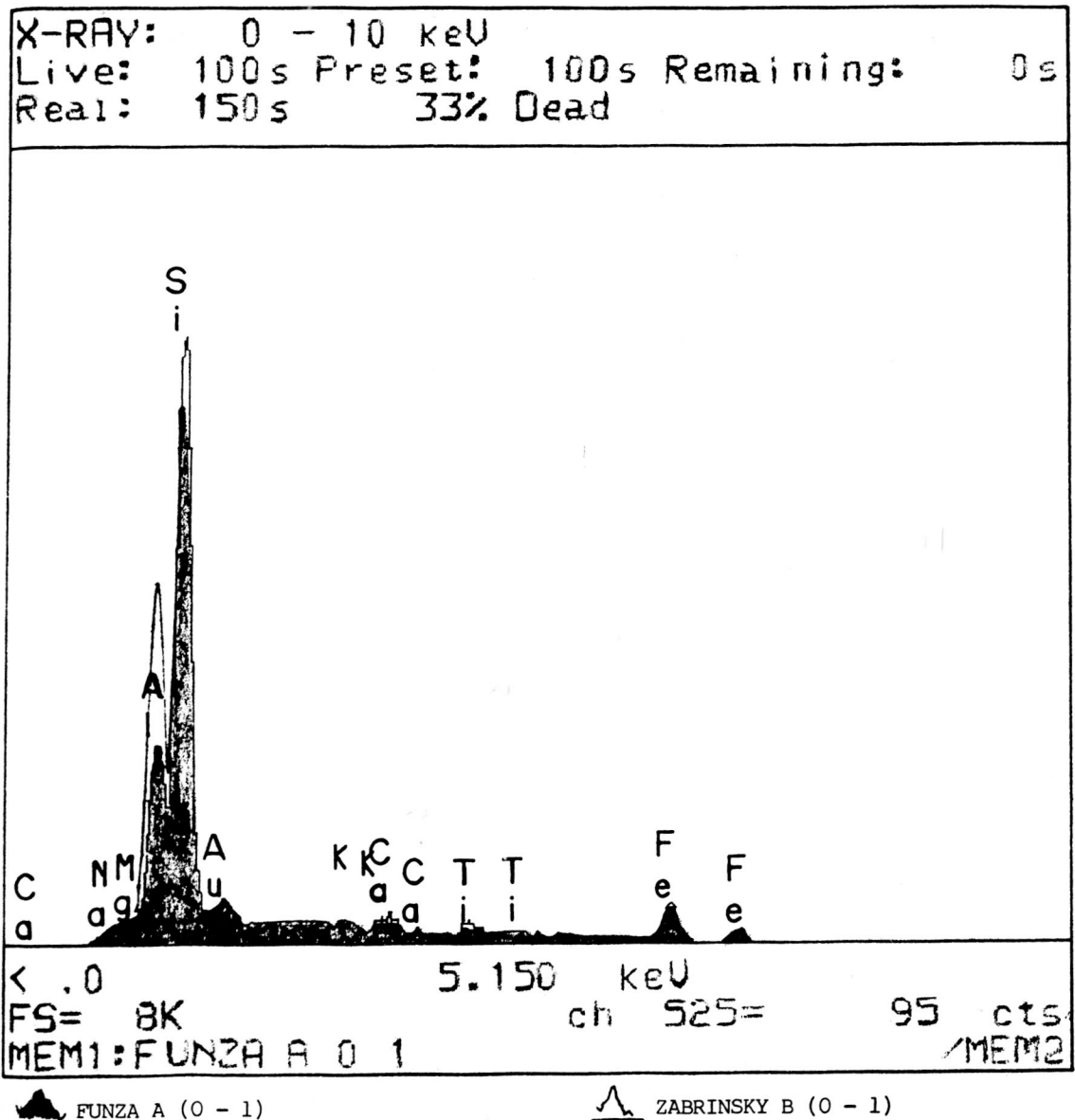


Fig. 1. Espectrogramas de las Muestras de Suelos A (0-1) y B (0-1) obtenidos por Microscopía Electrónica de Barrido.

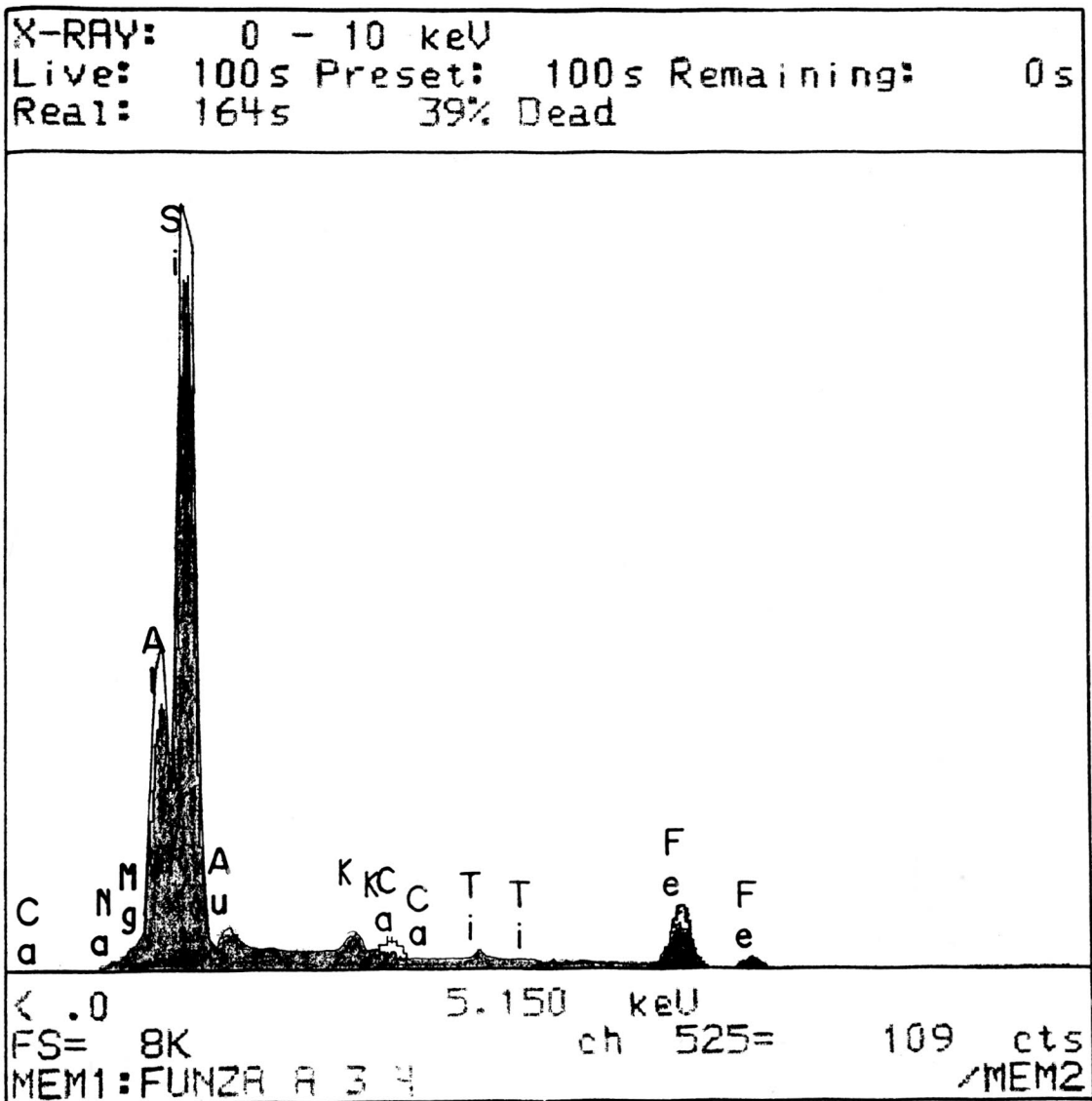
estereomicroscopio incluyendo la presencia de vegetación, redondez y esfericidad de las partículas del suelo con base en las escalas visuales de Powers y Krumbain (MUKOYAMA *et al.* 1986) (METRO DADE POLICE DEPARTMENT 1988).

**-Color:** Se determinó por comparación con la tabla Munsell tanto a la muestra total del suelo seco como a la fracción arcilla utilizando la jeringa Luer Lok (DUDLEY 1975) (JANSSEN *et al.* 1993) (MUNSELL 1994).

**-pH:** Se midió a muestras de 200 mg en relación suelo: agua (1:2,5) utilizando solución indicadora universal con rango de pH 4 a 10 con variación de 0,05 unidades (DUDLEY

1976). Igualmente se realizaron lecturas de pH por método potenciométrico, también en relación suelo-agua 1:2,5 (MOTTA *et al.* 1990).

**-Gradiente de densidad:** Se preparó una serie de soluciones patrón de densidades comprendidas entre 1,494 y 2,890 g/ml por mezcla de bromoformo y bromobenceno. En tubos de vidrio con diámetros de 10 mm se depositaron ocho soluciones de diferente densidad en capas de 4 ml cada una. Se introdujo en cada tubo 50 mg de suelo pasado por tamiz de 125  $\mu$ m y se hicieron observaciones de la ubicación de las partículas de suelo en cada una de las capas durante 8 horas (GOIN 1947) (METRO DADE POLICE



FUNZA A (3 - 4)

ZABRINSKY B (3 - 4)

**Fig. 2. Espectrogramas de las Muestras de Suelos A (3-4) y B (3-4) obtenidos por Microscopía Electrónica de Barrido.**

DEPARTMENT 1988).

**-Análisis Mecánico del suelo:** Se determinaron los porcentajes en peso de arena, limo y arcilla presentes en el suelo con base en la Ley de Stokes. Se dispersó 1,00 g de suelo utilizando mezcla de hexametáfosfato de sodio y carbonato de sodio. A diferentes tiempos se tomaron alícuotas de 20 ml cada una. El residuo sólido resultante después de evaporar la solución se pesó y se tomó como base para calcular las fracciones respectivas (METRO DADE POLICE DEPARTMENT 1988) (MOTTA *et al.* 1990).

de 200 mm se lavó con solución diluida de detergente libre de ácido. Mediante el microscopio petrográfico y en una placa con las partículas del suelo previamente tratadas, inmersas en bálsamo de Canadá se identificaron y cuantificaron los diferentes minerales presentes en la muestra.

**-Difracción de Rayos X:** La muestra de suelo pulverizada se colocó en un disco portamuestra para el análisis mineralógico y los resultados se observaron y analizaron con base en los difractogramas.

**-Mineralogía:** El suelo previamente pasado por tamiz

**-Microscopía Electrónica de Barrido (SEM):** En una

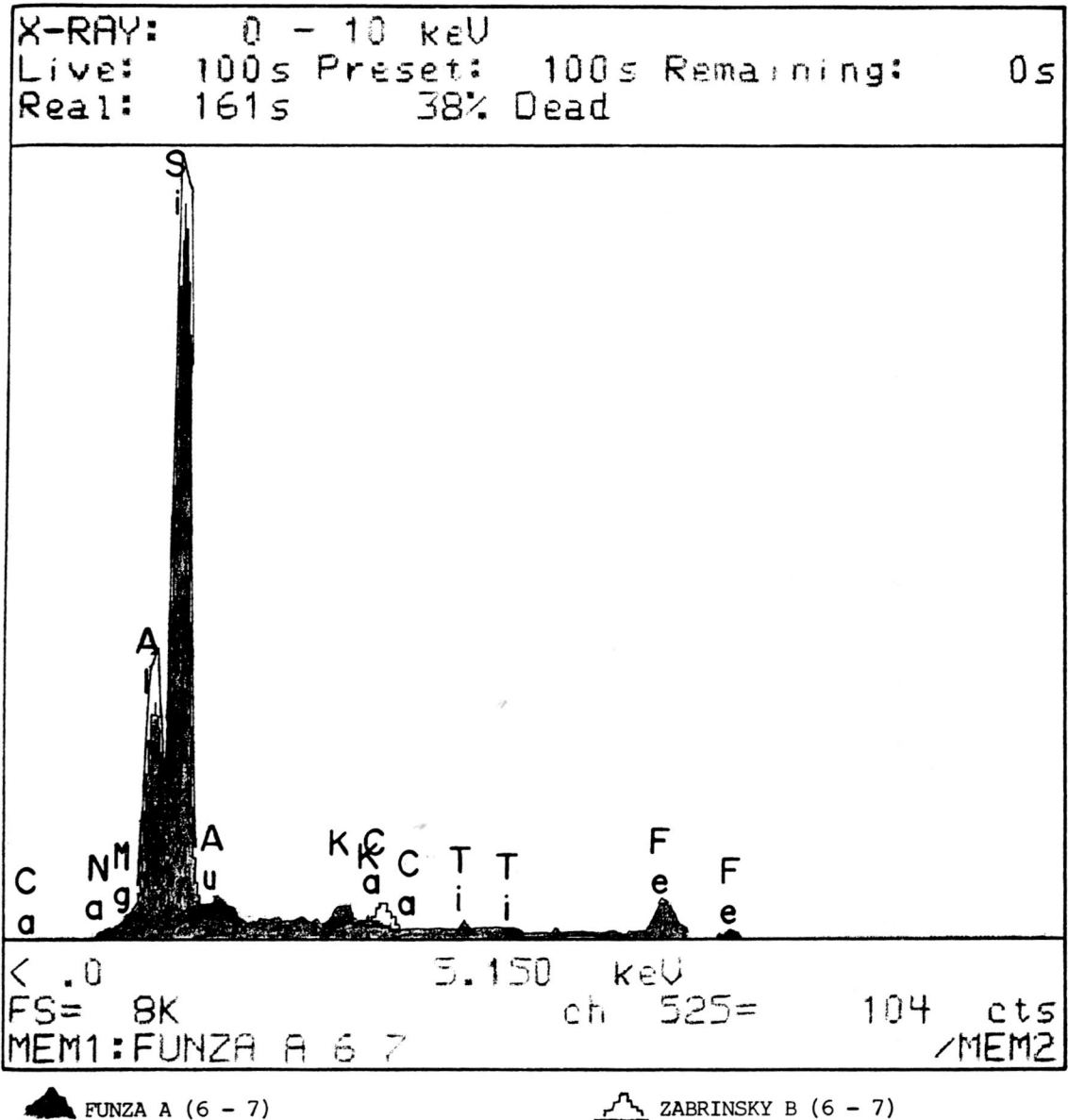


Fig. 3. Espectrogramas de las Muestras de Suelos A (6-7) y B (6-7) obtenidos por Microscopía Electrónica de Barrido.

pastilla de suelo de 10 mm de diámetro y 1 a 2 mm de espesor se analizó la composición química elemental (Fe, Ca, Mg, Si, Ti, K, Al) mediante espectrogramas cualitativos (DUQUE 1993).

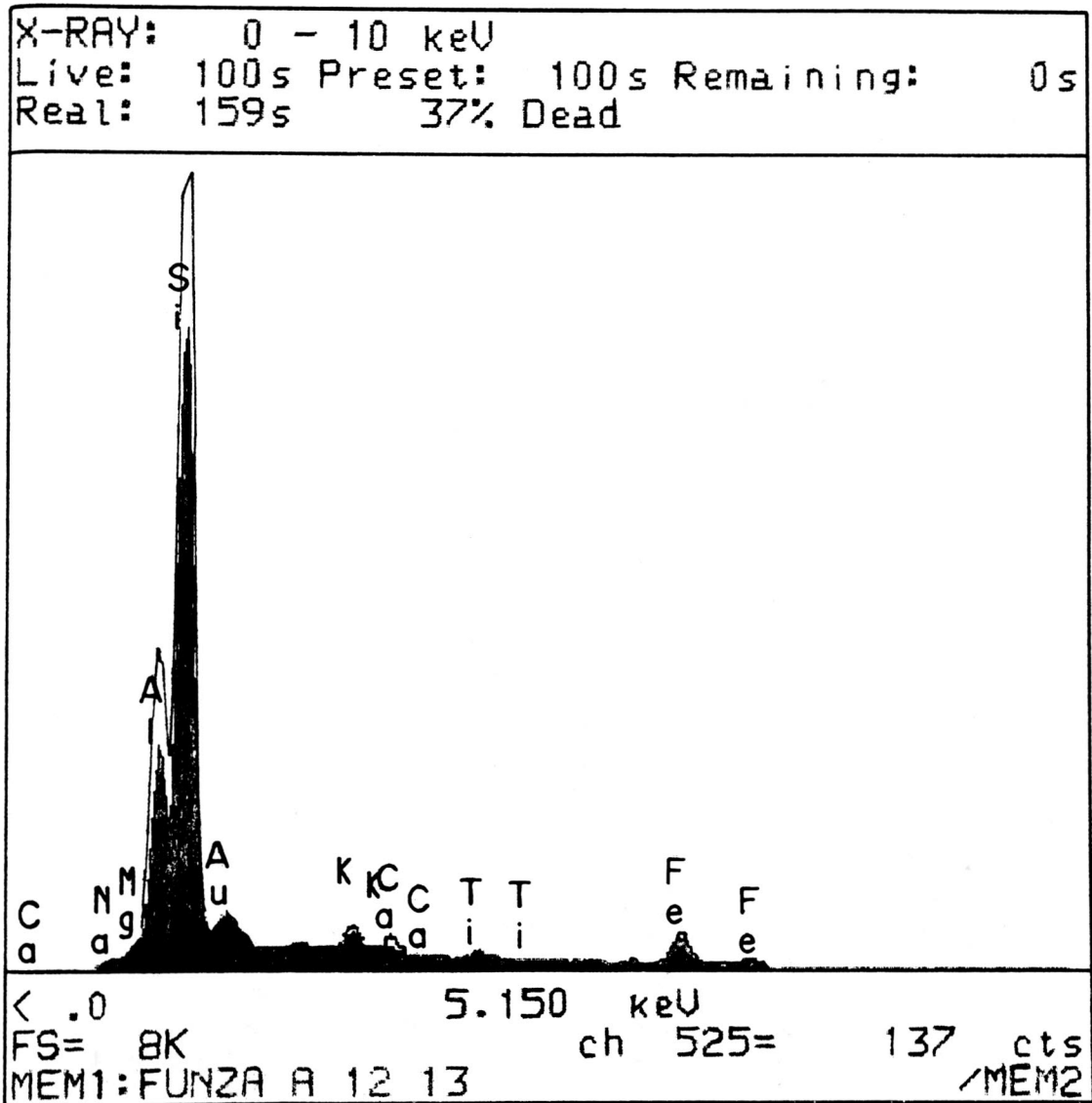
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**-Color:** Se encontró que los colores fueron similares tanto para la fracción arcilla (método de la jeringa Luer Lok) como para toda la muestra de suelo. Fue posible diferenciar por color las muestras de suelo de la región de Zabrinisky de las de Funza. En las primeras hubo predomi-

nio del color 10 YR 8/3 mientras que en las segundas fue 7,5 YR 3/2.

**-pH:** Esta metodología permitió mostrar reproducibilidad en los resultados y sus lecturas fueron comparables a las determinadas potenciométricamente. Con el uso de la solución indicadora universal de pH 4 a 10 las muestras de Funza estuvieron en un intervalo de pH de 5 a 6 mientras que en las de Zabrinisky fue de 4 a 6.

**-Gradiente de densidad:** El método presentó buena sensibilidad permitiendo distinguir el suelo de las 2 regio-



FUNZA A (12 - 13)

ZABRINSKY B (12 - 13)

**Fig. 4. Espectrogramas de las Muestras de Suelos A (12-13) y B (12-13) obtenidos por Microscopía Electrónica de Barrido.**

nes, encontrándose diferencia en la localización de las partículas en cada una de las capas de distinta densidad. Así es que el suelo de Funza se separó en la solución de densidad de 2,0 g/ml, mientras que el de Zabrinisky estuvo entre 2,5 y 2,6 g/ml.

**-Análisis Mecánico:** Los resultados del análisis mecánico aparecen en la Tabla 1 los cuales fueron bastante reproducibles y permitieron diferenciar el suelo de las dos regiones. Se observó homogeneidad en los suelos de Funza con valores entre 36,99 y 38,06% de arena, 1,94 y 2,22% de limo y 59,97 y 60,61% de arcilla, mientras que en los de Zabrinisky hubo heterogeneidad ya que a medida que se aleja del punto B 0-1 se presenta un incremento en la fracción arena de 28,96 a 38,34% y un descenso de la fracción limo de 2,37 a 0,93%, al igual que de la fracción arcilla de 68,68 a 60,73%.

**-Mineralogía:** Por los resultados de la determinación mineralógica que se observan en la Tabla 2 fue posible diferenciar los suelos de las dos zonas, ya que se encontró variabilidad en los constituyentes minerales como óxidos de hierro, carbón y materia orgánica, los que estuvieron presentes solamente en los suelos de Funza, mientras que en los de Zabrinisky se encontró caolinita la que no estuvo presente en los de Funza. En los suelos de Za-

brinsky hubo diferencia porcentual en el contenido mineral del cuarzo 1-58% y de la caolinita entre 5 y 51% mientras que en los de Funza los intervalos porcentuales fueron más homogéneos como en el caso del cuarzo lechoso que estuvo entre 11 y 15%.

**-Difracción de rayos X:** Con los difractogramas obtenidos (Departamento de Física - Universidad Nacional de Colombia), se pudo identificar minerales de hierro, cuarzo y feldspatos en suelos de Funza. En los de Zabrinisky se determinó la presencia de cuarzo y caolinita. Aunque los análisis se realizaron solamente en forma cualitativa, permitieron corroborar los resultados mineralógicos encontrados con el microscopio petrográfico y con el estereomicroscopio.

**-Microscopia Electrónica de Barrido (SEM):** Por esta metodología se realizó un análisis cualitativo, de ahí que no se determinó la fórmula química que identificara los minerales de las arcillas presentes en cada una de las muestras de suelo; sin embargo, se pudo hallar la mayor o menor presencia de cada uno de los siguientes elementos: Ca, Na, Mg, Al, Si, K, Ti, Fe y Au, en una proporción igual o mayor a 1%. La presencia de Au se debe al revestimiento previo de la muestra en el proceso de preparación para el análisis.

Se tomaron en total cinco espectrogramas para cada zona (Figs. 1, 2, 3, 4, 5), en los que se observó menos cantidad de Si y más de Al y Fe en suelos de Zabrinisky respecto a los de Funza. Estos últimos fueron los únicos en los que se encontró Ca, Mg, K y Ti. Al analizar el conjunto de los espectrogramas se destaca el comportamiento de dos elementos químicos: el calcio y el aluminio. El primero estuvo presente en todos los suelos de Funza, más no en los de Zabrinisky. El segundo, aunque estuvo presente en ambas zonas, siempre se encontró en mayor cantidad en los suelos de Zabrinisky.

## CONCLUSIÓN

Todos los métodos sirvieron para diferenciar las muestras de suelo de las zonas de Funza y Zabrinisky, con excepción del pH, dado que hubo poca diferencia en los valores obtenidos, razón por la cual no se debe tomar como parámetro independiente. Sin embargo, teniendo en cuenta la facilidad de su implementación para la aplicación se propone realizar en primera instancia y en su orden los métodos de determinación de color a toda la muestra, pH, análisis mecánico, mineralogía y gradiente de densidad. Se sugiere que para fines forenses los análisis aplicados aquí no sean tenidos en cuenta aisladamente sino en conjunto para que la comparación de los suelos sea más válida.

Suelo	Arena	Limo	Arcilla
A	%	%	%
0-1 m	37,40	2,22	60,44
3-4 m	36,99	2,50	60,51
6-7 m	37,49	2,34	60,17
12-13 m	38,06	1,97	59,97
24-25 m	37,45	1,94	60,61
B			
0-1 m	28,96	2,37	68,68
3-4 m	30,70	2,28	67,02
6-7 m	32,57	1,96	65,43
12-13 m	37,74	1,26	61,00
24,25 m	38,34	0,93	60,73

A = Funza  
B = Zabrinisky

Los resultados son el promedio de dos determinaciones.

**TABLA 2**  
**Identificación de Minerales**

<b>Composición mineralógica de los suelos de Funza (%)</b>						
<b>Estereomicroscopio</b>						
Suelo	Q. lechoso	Q. cristalino	Magnetita	Hematita	C-MO	Feldespatos
A 0-1	15	26	17	16	15	11
A 3-4	12	32	19	15	14	8
A 6-7	11	33	22	10	13	11
A 12-13	5	30	30	20	7	8
A 24-25	14	28	15	19	15	9
<b>Microscopio Petrográfico</b>						
Suelo	Feldespato-K	Cuarzo	Opacos			
A 0-1	14	44	42			
A 3-4	10	50	40			
A 6-7	10	39	51			
A 12-13	12	36	52			
A 24-25	13	46	41			
<b>Composición mineralógica de los suelos de Zabinsky (%)</b>						
<b>Estereomicroscopio</b>						
Suelo	Caolinita	Q. cristalino	Plagioclasa			
B 0-1	14	5	81			
B 3-4	48	3	49			
B 6-7	44	2	54			
B 12-13	9	28	63			
B 24-25	4	52	4			
<b>Microscopio Petrográfico</b>						
Suelo	Caolinita	Cuarzo	Plagioclasa			
B 0-1	17	7	76			
B 3-4	51	1	48			
B 6-7	45	2	53			
B 12-13	10	25	65			
B 24-25	5	58	37			
<b>Q = Cuarzo      C-MO = Carbón Materia Orgánica      K = F. potásico</b>						

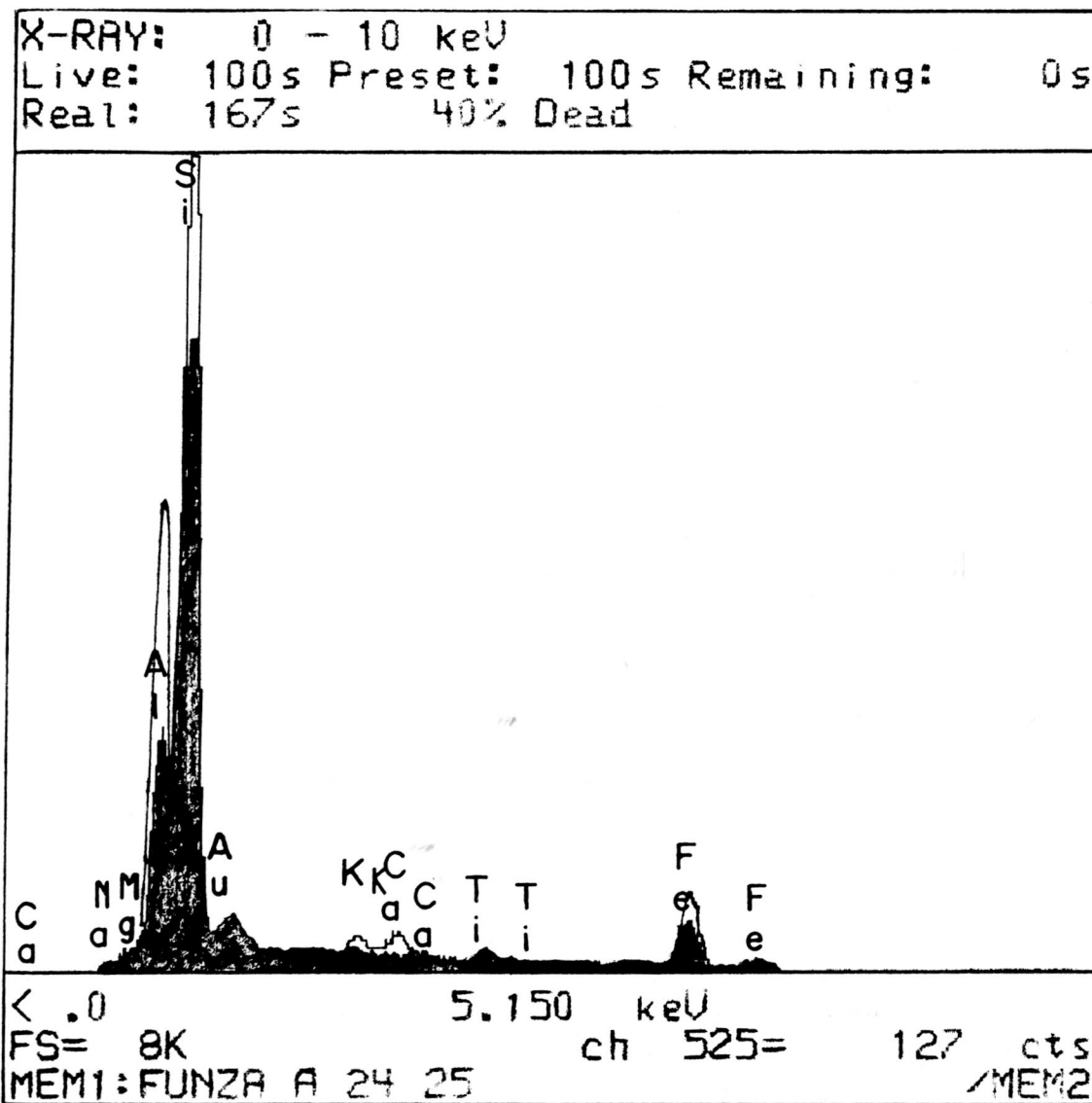
**AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses y a la Universidad Nacional de Colombia por el apoyo prestado para la realización de este trabajo.

**REFERENCIAS CITADAS**

CARRERA, E.; PICHOTT, J. & ALEXANDER, E. (1980): Estudio General de Clasificación de los Suelos de la Cuenca Alta del Río Bogotá para fines Agrícolas.- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, p. 62-82, 135-147.  
 DUDLEY, R.J (1976): A simple method for determining the pH of small soil sample and its use in forensic science.- *Journal of Forensic Science Society*, Vol. 16, No.1, p. 21-27.

DUQUE, H. (1993): Curso práctico sobre el uso y aplicaciones de la Microscopía Electrónica de Barrido.- Ingeominas y Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá, p. 1-48.  
 GOIN, L.J. & KIRK, P.L. (1947): Application of microchemical techniques identity of soil samples.- *American Journal of Police Science*, Vol. 38, p. 257 - 281.  
 JANSSEN, D.W.; RUHF, W.A. & PRICHARD, W.W. (1983): The Use of clay for soil comparisons.- *Journal of Forensic Sciences*, Vol. 28, No. 3, July, p. 773 - 776.  
 METRO DADE POLICE DEPARTMENT (1988): Standardized Analytical Procedures.- Crime Laboratory Bureau. Soil Examination.



FUNZA A (24 -25)

ZABRINSKY B (24 - 25)

**Fig. 5. Espectrogramas de las Muestras de Suelos A (24-25) y B (24-25) obtenidos por Microscopía Electrónica de Barrido.**



MOTTA, B.; RODRIGUEZ, C.; MONTENEGRO, H.; MARULANDA, J.; CORREA, A. & BENDECK, M. (1990): Métodos Analíticos de Laboratorios de Suelos.- Subdirección Agrológica. Instituto Geografico Agustin Codazzi, Bogotá, p. 495 -509.

MUKOYAMA, H.; RIDERER, J.; SELIER, K.; SETA, S. THATCHER, P.J. & THORNTON, J.I. (1986): Forensic Science Progress.- Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, p. 1-35.

MUNSELL (1994): Munsell Soil Color Charts. Revised edition. 10 p. y 9 cartas de colores.

MURRAY, R.F. & TEDROW, J.F.C. (1992): Forensic Geology.- Prentice Hall, 217 p.

*Manuscrito recibido, Julio de 1998*