

GEOLOGÍA FORENSE: TÉCNICAS APLICADAS EN MUESTRAS SEDIMENTOLÓGICAS

GEOLOGÍA FORENSE: TÉCNICAS APLICADAS EN MUESTRAS SEDIMENTOLÓGICAS, EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

Dra. Leticia Povilauskas
Colaboradores: Ing. Cristina Raverta, Bioquímico Carlos Arrúa
Superintendencia de Policía Científica, Dirección Química Legal, Buenos Aires, Argentina.

El estudio del suelo con técnicas aplicadas a las muestras de sedimentos por parte del aporte multidisciplinar de geología, edafología, la química forense y la criminalística, puede revelar información vital para el desarrollo y esclarecimiento de escenas delictivas dentro de procesos jurídicos. La Sección Ciencias Naturales de la División Química Legal de La Plata, generó una metodología pericial adecuada para fomentar su participación de los profesionales de estas áreas con el fin de multiplicar esfuerzos en el aporte del esclarecimiento de diferentes hechos.

La Geología Forense es una disciplina dentro de las Ciencias de la Tierra que, a través de la recolección y análisis de suelos, minerales, agua, etc., puede aportar valiosas pruebas para la resolución de problemas planteados por la justicia. Los objetivos de esta contribución son documentar las actividades de geología forense realizadas en la Sección Ciencias Naturales de la División Química Legal de La Plata, poner al alcance de geólogos algunas metodologías periciales adecuadas para fomentar su participación con el fin de multiplicar esfuerzos en el aporte del esclarecimiento de diferentes hechos desde la geología. Para ello se exponen algunas nociones básicas de ciencias como la

Geología, la Edafología, la Química Forense y la Criminalística. En base a los conocimientos proporcionados por estas disciplinas científicas, se plantea un protocolo de investigación forense que involucra algunas consideraciones a tomar en cuenta en la escena del crimen y análisis geológicos a desarrollar y hacer el cotejo pericial de las muestras obtenidas. Palabras clave: Métodos geológicos. Suelos. Palinología. Criminalística. Key words: Geological methods. Soils. Palynology. Criminology.

INTRODUCCIÓN

La Geología Forense es la rama de las ciencias de la tierra que involucra tierras, minerales, fósiles, suelos y materiales relacionados para dar evidencia en investigaciones criminalísticas (Murray, 1975).

Esta ciencia es muy utilizada en los países desarrollados desde hace varias décadas, y una parte de esta ciencia se basó en la caracterización geológica y química de los suelos, llevando un registro de las propiedades en varios sectores geográficos, para tener una base de datos que permita confrontar diferentes situaciones de estudio en el marco de una investigación judicial.

En Argentina durante los últimos años la División Química Legal perteneciente a la Policía de la Provincia de Buenos Aires, se ha preocupado por ampliar las herramientas de soporte y técnicas de estudio para Jueces, Fiscales y demás autoridades competentes..

colocando a su disposición el análisis de elementos de estudio no comunes en nuestro medio, como es el suelo, que demostró ser muy útil en la orientación o esclarecimiento de diferentes delitos.

En una investigación criminal, donde cada escena del crimen es única e irreplicable, se da la situación en la que se encuentran restos de suelo o tierra que por el Principio de Intercambio de Locard (si dos objetos entran en contacto transfieren parte del material que incorporan al otro objeto) hayan sido dejados en la víctima o en lugares u objetos relacionados intrínsecamente con esta. Por lo tanto, para la realización de una investigación criminal habría que recurrir a análisis de comparación o cotejo de las muestras obtenidas, para determinar si las mismas pertenecen a un equivalente origen, permitiendo así que los indicios o muestras las vinculen a un sospechoso. En esta contribución se pretende explicar las nociones básicas que se deben tener en cuenta para el muestreo de sedimentos en una investigación criminal, en donde se analizan por medio de diferentes técnicas restos de tierra dejados en la escena del crimen.

Se recopilieron datos obtenidos de diferentes hechos, en la Provincia de Buenos Aires, donde las muestras térreas fueron recuperadas de distintos objetos como alfombras, guardabarros y baúles de autos secuestrados, zapatillas, prendas de vestir y lugares propios en donde se



producen los hechos.

En base a los datos proporcionados por las muestras analizadas, se plantea una propuesta de investigación aplicada a la Geología Forense referente a análisis y técnicas de extracción físico-químicas para la realización de cotejos periciales de las muestras obtenidas.

El objeto de ello es que el investigador sepa por qué está realizando los procedimientos utilizados y no solo que los realice, sin entender la ciencia detrás de ellos; pero principalmente, que el manejo de la escena del crimen sea el adecuado para no destruir los indicios que se podrían utilizar como evidencias en un juicio.

Los objetivos de esta contribución son divulgar las actividades de geología forense realizadas en distintos hechos delictivos, poner en conocimiento algunas metodologías para el levantamiento y tratamiento de las muestras de suelo y agua, y fomentar la participación de colegas con el fin de multiplicar esfuerzos en el aporte desde la geología.

ANTECEDENTES

Las primeras investigaciones en Geología Forense trataban

solamente sobre el uso del suelo o sedimentos que se adhirieron a los zapatos de un sospechoso y que se pueden relacionar con la escena de un delito; en la actualidad la aplicación de las diversas disciplinas "geo" incluye otros elementos además de suelo o roca, utilizando técnicas analíticas para establecer la culpabilidad o inocencia de los sospechosos.

Por lo tanto, la geología forense aplica conocimientos de Ciencias de la Tierra para aportar pruebas o evidencias válidas a los investigadores y antropólogos forenses, para orientar o esclarecer problemas de carácter penal, humanitario y medio ambientales (Ruffell y McKinlet, 2008; CCI 2010).

Gran parte de los antecedentes y bibliografía de investigaciones de geología forense desarrolladas en otros países están enfocadas a apoyar las investigaciones de la escena del hecho, como la comparación de la presencia de salpicaduras de sedimentos (barro), en una prenda de un sospechoso, con la existente en el lugar donde fue enterrada una víctima. Algunos antecedentes importantes que se pueden citar son los trabajos realizados por France et al. (1992), Pye y Croft.

(2004) y Ruffell y McKinley (2008), entre otros.

En países como Inglaterra, Estados Unidos, Australia, Irlanda, Escocia, Alemania, Italia y Holanda desde hace varias décadas vienen trabajando e incorporando otras disciplinas científicas para ser aplicadas en el campo de la criminalística, y una de ellas es la geología forense. En la actualidad se suma Colombia, que también ha comenzado a aplicar la geología para contribuir a resolver diferentes delitos, y Brasil, que ha adquirido experiencia en este campo aplicándolo para resolver problemas ambientales y en el fraude de gemas (CCI 2010).

La intervención antrópica del medio natural como en el caso de una excavación para el enterramiento de cuerpos, modifica las condiciones naturales de los materiales del subsuelo y su entorno, generando perturbaciones en el medio físico. Estas pueden ser detectadas y delimitadas en forma indirecta mediante la aplicación de técnicas geológicas apropiadas, sin provocar alteraciones en el estado en que se encuentran los sedimentos (Aguilera et al., 2006; Sagripanti et al., 2012).

En la Argentina, el equipo de investigación de geología forense se integró con docentes provenientes de las universidades de Río Cuarto y San Luis, y comenzó a trabajar aplicando los conocimientos y técnicas de exploración, habitualmente usadas en el campo de la geología, y orientado junto con arqueólogos y antropólogos forenses abocados a la búsqueda e identificación de personas desaparecidas. El equipo de investigación de geología forense desde el año 2004 ha colaborado en numerosos casos, a solicitud de Juzgados Federales, Equipo Argentino de Antropología Forense y Organismos Nacionales de Derechos Humanos.

SUELOS

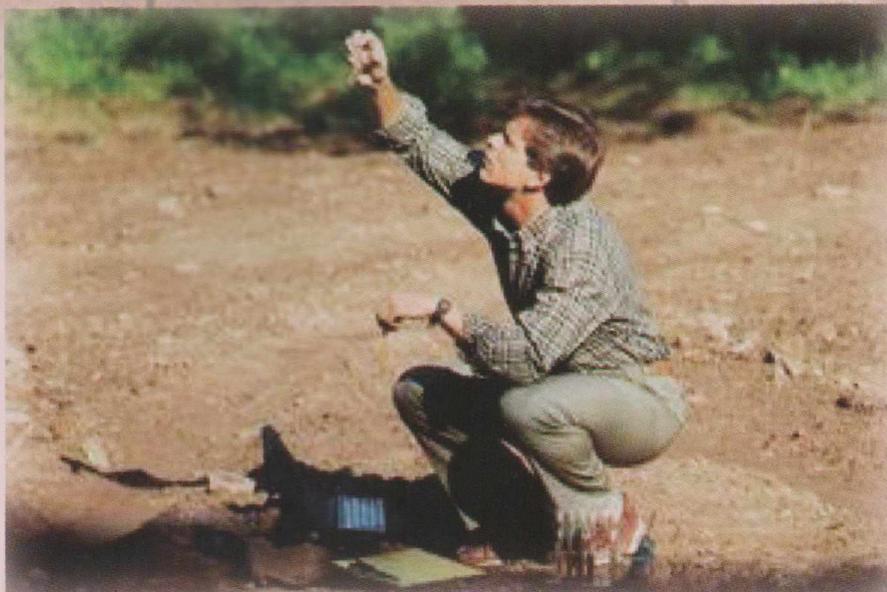
Suelo para propósitos forenses, es el material que ha sido colectado en forma accidental o deliberadamente que tiene alguna asociación con el suelo presente en el lugar de los hechos materia de investigación. Esta definición de suelo, involucra minerales y partículas orgánicas, como partes fragmentadas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

Los materiales de la tierra como suelos, rocas, minerales y fósiles son comúnmente usados como evidencia física en procesos jurídicos. El uso más común de toda evidencia física está 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 proporciona un extenso número de posibilidades y variantes de estos materiales lo que permite, ser fácilmente observados y medirlos, y de esta manera caracterizarlos (Murray, 2004). Las evidencias de origen antrópico en la superficie son las que pierden su expresión rápidamente, mientras que las que afectan la parte superior del perfil del suelo pueden reconocerse, y aportar datos de interés pericial utilizando métodos analíticos geológicos.

LA PALINOLOGÍA EN LA INVESTIGACIÓN CRIMINAL

Las escenas de los crímenes que se benefician desde el punto de vista palinológico son invariablemente los ecosistemas, pero pueden ser altamente modificados por el hombre. Por lo tanto, así en los



hábitats naturales y semi-naturales, el geólogo forense o palinólogo también debe apreciar las complejidades de los sistemas altamente manipulados, tales como jardines, parques, vertederos, plantaciones, lagunas, canales, bordes de caminos, setos y páramo. Los palinomorfos son partículas orgánicas importantes que se encuentran en los suelos y sedimentos y, en los últimos años, estos han proporcionado una valiosa evidencia de rastro en la investigación criminal. Originalmente, se utilizó el término 'palinomorfos' para describir los granos de polen y las esporas.

Con los años, sin embargo, este término se ha ampliado para incluir restos vegetales microscópicos como tricomas (pelos de plantas y glándulas); esporas de hongos y otros organismos fúngicos; diatomeas; cianobacterias, y animales microscópicos como amebas, huevos de nematodos, ácaros y otras partes del cuerpo de artrópodos. El palinólogo debe identificar diferentes tipos de palinomorfos, o buscar la experiencia adicional. Hay muchos casos donde la ecología, botánica y palinología han ayudado con éxito en las investigaciones donde se unen los objetos y los lugares (Wiltshire 2006a; Mildenhall, 2006), en la

localización de los restos humanos ocultos y determinar la procedencia de objetos (Brown et al 2002; Wiltshire 2005a), la estimación temporal de la deposición de los restos (Szibor et al 1998; Wiltshire 2002a; 2003b); y, la diferenciación de las escenas del crimen en los lugares de deposición (Wiltshire 2002b).

La anatomía de las plantas, animales y otros organismos asociados a la escena del crimen ayuda en la identificación de las víctimas, lo que han ingerido o inhalado antes de la muerte, y si un objeto es de origen biológico o antrópico (Wiltshire, 2003a ; 2004a; 2006b). Por lo tanto, está claro que la identidad, estructura, química, ciclos de vida, y crecimiento de organismos desempeñan un papel importante en la investigación criminal, y que incluso fragmentos de organismos presentan una evidencia forense valiosa.

ANTECEDENTES PALINOLÓGICOS

El estudio de los palinomorfos dio origen a la ciencia de la Palinología, establecida por Hyde y Williams en los años 1940 (Hyde y Williams 1944). Su trabajo consistió en atrapar las partículas en suspensión y la

identificación de secuencias temporales de la polinización para la construcción de los 'Calendarios polínicos'. El primer trabajo importante en el tema fue publicado por Erdtman (1921).

Los primeros casos registrados de Palinología fueron utilizados como una herramienta forense y descritos por Erdtman (1969). Aunque se aplicaron sólo en algunas ocasiones (por ejemplo Frei 1979; Nowicke y Meselson 1984), y se ha utilizado más habitualmente en los últimos 15 años aproximadamente.

Mildenhall y Bryant fueron pioneros en las técnicas palinológicas en Nueva Zelanda y Estados Unidos (Mildenhall, 1982; Bryant et al, 1990; Bryant y Mildenhall, 1998), han desarrollado la Palinología Forense, Ecología Forense, y la Botánica Forense en las Islas Británicas.

El polen y las esporas de las plantas se identifican por su forma, tamaño, pared externa (exina), estructura, esculturación superficial, y el tipo, número y disposición de las aberturas. Para lograr la más alta resolución de la identificación, es esencial eliminar la parte interna del grano de polen de modo que sólo la exina quede expuesta, lo que implica el uso de ácidos y corrosivos en la preparación palinológica (Moore et al. 1991). Los granos de polen y esporas de las plantas presentan las paredes externas compuestas de esporopolenina, un polímero muy robusto.

La Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y otros métodos microscópicos sofisticados (Microscopía Electrónica Confocal) tienen poca aplicación práctica para trabajos palinológicos forenses de rutina.

En las muestras forenses, por lo general es necesario identificar y contabilizar los palinomorfos encontrados en un preparado y,

aunque es técnicamente factible mediante la utilización del SEM (Jones y Bryant, 2007), el palinólogo no necesita necesariamente el empleo del SEM para la identificación.

De un lugar a otro, y de una muestra a otra, los perfiles palinológicos se caracterizan por su variabilidad y la singularidad, y cada muestra recuperada de cada delito en la escena del crimen, será única e irrepetible en la investigación.

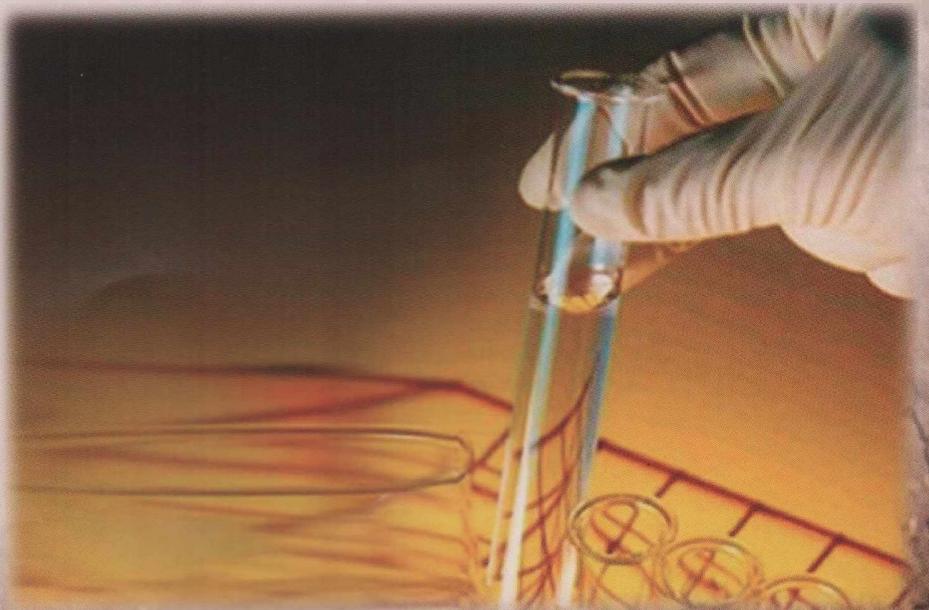
A nivel mundial, la palinología es un recurso poco utilizado para la investigación criminal. Esto es debido, en parte, a la escasez perenne de palinólogos competentes que poseen no sólo un conocimiento amplio botánico, sino también la formación ecológica y adecuada y una amplia experiencia en el campo, que puede facilitar la resolución de la investigación en el momento del juicio.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el lugar del hecho se realiza como primer etapa el reconocimiento del lugar, la búsqueda de evidencias superficiales y el desarrollo de la exploración del subsuelo a través de distintas técnicas de muestreo. En esta etapa de exploración del suelo, los geólogos realizan el

relevamiento de campo con los datos obtenidos de los antecedentes previos. La toma de muestras de un suelo es un problema complejo debido a la variabilidad de los mismos; ello hace difícil establecer un método totalmente satisfactorio para todos los casos en la toma de muestras. Asimismo, los detalles de los procedimientos deben quedar determinados en función del propósito con el que se toma la muestra. Por otro lado, es importante mencionar que muchos procedimientos utilizados en la Edadología se consideran que no son aplicables para conducir una investigación forense (Dávila Villegas, 2010).

Para realizar el muestro de suelos con fines forenses generalmente se trabaja con la parte más superficial (0 a 2 cm), que es la que puede quedar adherida a la ropa, zapatos o vehículo de la víctima en un hecho, pero en algunos casos cuando se presentan fragmentos de roca sobre el suelo, la toma de la muestra debe llegar a los 4 cm de profundidad. Los métodos geológicos y herramientas, normalmente usados en investigaciones convencionales de subsuelo, se han adecuado para la exploración muy somera de suelos (no mayor a 3 m), con objeto de búsqueda de tamaño reducido y que se manifiesta con pequeños cambios en las propiedades físicas



que tienen sutil diferencia con el material inalterado que lo rodea. Suele ser de utilidad conocer los datos de profundidad del nivel de agua subterránea, dado su condicionamiento sobre la respuesta a los estudios geológicos.

Al realizar una excavación en el campo, que generalmente supera 1 m de profundidad, se debe movilizar o extraer un importante volumen de material o sedimentos, disturbando los niveles edáficos superiores, principalmente el A que contiene la cobertura vegetal y materia orgánica (Fig. 1).

El muestro del suelo se realiza 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.

Cada muestra se recolecta directamente de donde se encuentre y si la escena del crimen es muy amplia, se hace un muestreo al azar estratificado o selectivo en un área circular de 5 metros de radio para evitar variaciones locales. No existe un modelo geológico simple que sirva para todo tipo de áreas investigadas, y no hay una observación simple que produzca un modelo geológico, tal como para cada homicidio y área estudiada que tengan características únicas. Bajo las variables y complejidades inherentes de los suelos, las condiciones geológicas actuales solo aparecerán en el momento de la excavación.

Posteriormente las muestras colectadas son selladas en bolsas plásticas o frascos de plástico de tamaño medio y debidamente identificadas.

Las muestras son ubicadas en un mapa topográfico, describiendo las características principales del

de la toma de la muestra para facilitar el entendimiento de las variaciones de sus propiedades. Las muestras colectadas se fotografían y sedocumentan.

Cuando llegan al laboratorio, se extienden para secarse, así la humedad del suelo natural no interfiere en la determinación del color y de otras características; posteriormente se separan mediante un tamiz y se preparan las muestras para los distintos análisis químicos y físicos.

Cuando llegan al laboratorio, se extienden para secarse, así la humedad del suelo natural no interfiere en la determinación del color y de otras características; posteriormente se separan mediante un tamiz y se preparan las muestras para los distintos análisis químicos y físicos.

Los geólogos forenses a menudo se enfrentan con el problema de la determinación de distribución de tamaños de partículas en una muestra.

Cuando las muestras están fragmentadas en submuestras en donde 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 o cotejo que puede tener valor de evidencia.

El método básico usado para la separación de tamaños de partículas de las muestras es el de pasar la muestra a través de una serie de tamices con variado tamaño de mallas decreciendo desde el tope hacia el fondo (Murray, 2004).

El método estandarizado de preparación de las muestras de suelo consta de varios pasos en el laboratorio. Primero, se observan las muestras colectadas bajo luz visible y lupa binocular y se anota la apariencia, textura y color

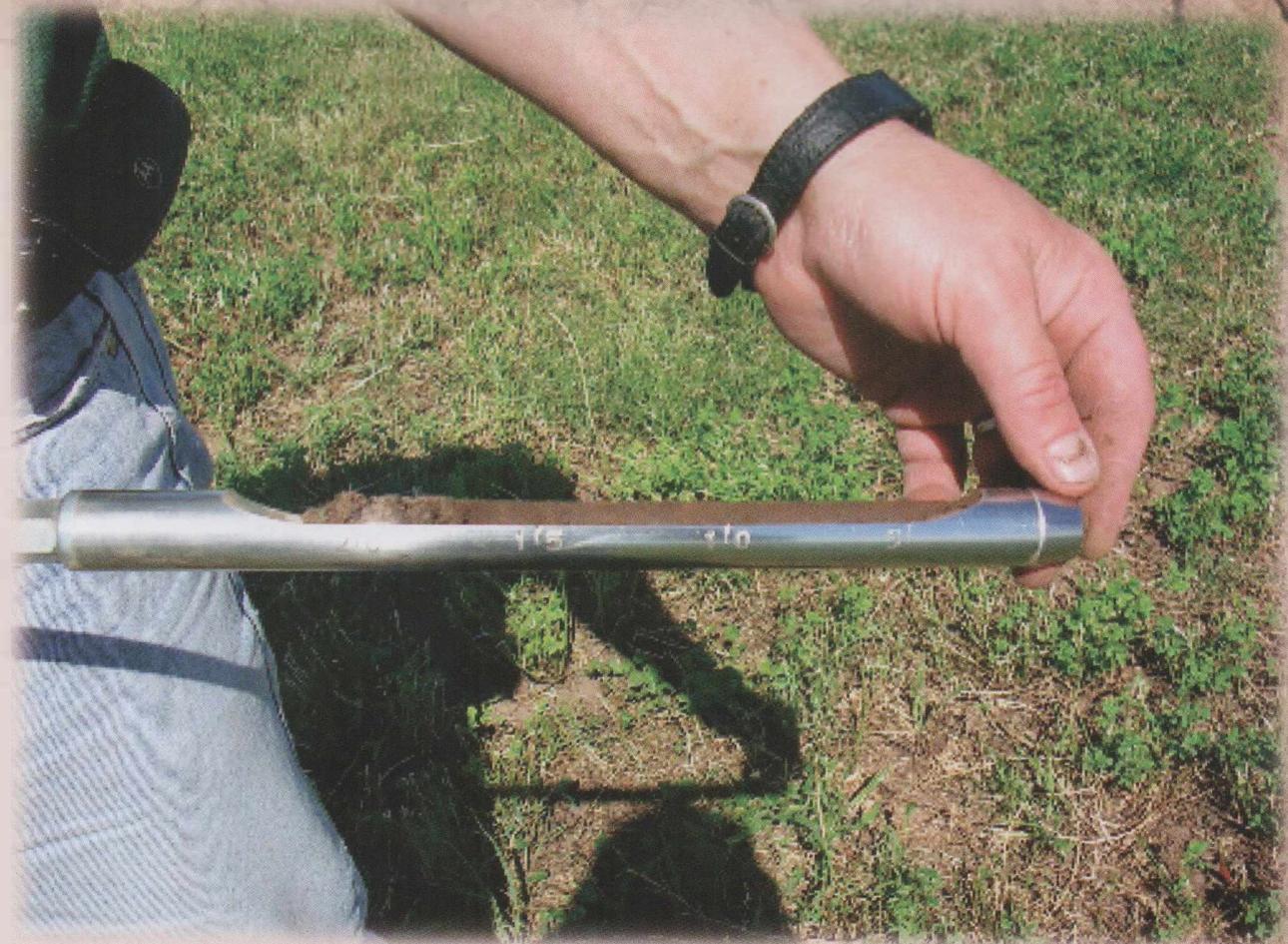
(utilizando la tabla de colores de M u n s e l l) .

Se coloca la muestra en los tamices pasando desde el mayor tamaño al menor comenzando con mallas para diámetros menores a 2 mm. La fracción de muestra que queda retenida en el tamiz de 0,053 mm es tratada con peróxido de hidrógeno (H₂O₂) para remover la materia orgánica (Soriano Soto et al., 2004).

Luego, se procede a separar los óxidos utilizando NaOH al 50% en caliente, y se realizan varios lavados con agua destilada para limpiar la muestra. Se agrega ácido clorhídrico normal (HCl) en caliente y se deja en ebullición durante unos 5 minutos, y se añade 1 ml de cloruro amónico para floccular.

Posteriormente, se pasa a tubos de centrifuga de 10 ml, se lava con cloruro de sodio (NaCl) al 5%. Se lava la muestra con alcohol y luego con acetona. Por último, se trata la parte orgánica de la muestra con fucsina para resaltar las características más relevantes, para finalmente montar la muestra en un portaobjetos utilizando aceite de inmersión en preparados mineralógicos definitivos (Pérez, 1 9 6 5) .

Mediante el uso de microscopio petrográfico y microscopio óptico común se identifican y cuantifican los diferentes minerales que están presentes en las muestras de suelo, con el fin de establecer diferencias o similitudes mineralógicas entre éstas.



CONSIDERACIONES FINALES

La experiencia adquirida y resultados obtenidos por la participación en numerosos casos, permiten plantear que desde una Ciencia de la Tierra como la geología se puede prestar una importante colaboración con la justicia. Es indudable que en otras áreas del conocimiento de la geología, como la palinología forense, existen profesionales especializados cuyas metodologías se pueden sumar en la etapa de investigación y hacer un mayor aporte al esclarecimiento de un hecho.

Ya que el método estandarizado 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.

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. 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 una base de datos, y de esta manera, cualquier investigación forense que se realice será mucho más eficaz.

Es importante lograr la concientización de las autoridades que requieren la investigación del hecho que la optimización del tiempo y del esfuerzo dedicado a la búsqueda se traduce en aumentar la posibilidad de hallazgo. Se espera que el contenido de esta contribución sea de utilidad a geólogos, antropólogos, arqueólogos, botánicos y

profesionales de Argentina y otros países, que trabajen en la búsqueda de indicios, objetos y elementos vinculados a un crimen, en casos forenses en los que es necesario hacer un aporte desde la geología para el esclarecimiento de un hecho.

REFERENCIAS

- Aguilera, D., Giaccardi, A., Membrives, A., Carrara, M. T. y De Grandis, N. 2006. *Santa Fe La Vieja, Arqueología de los Siglos XVI y XVII. Geofísica Aplicada a la Arqueología de "Santa Fe La Vieja"*, Capítulo 7: 9 p., Facultad de Humanidades y Artes, UNR, Rosario.
- Borrello, M. A. 1956. *Recursos minerales de la República Argentina. III Combustibles Sólidos Minerales. Revista Instituto Nacional Investigaciones Ciencias Naturales y Museo "Bernardino Rivadavia"*, Ciencias Geológicas 5: 665 p.
- Brown, A. G., Smith, A. and Elmhurst, O. 2002.