



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

PEDOLOGÍA FORENSE: ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN DE SUELOS EN
EL ESCLARECIMIENTO DE CASOS DELICTIVOS

NIETO OCHOA GABRIELA JACQUELINE
BIOQUÍMICA FARMACÉUTICA

MACHALA
2023



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

PEDOLOGÍA FORENSE: ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN DE
SUELOS EN EL ESCLARECIMIENTO DE CASOS DELICTIVOS

NIETO OCHOA GABRIELA JACQUELINE
BIOQUÍMICA FARMACÉUTICA

MACHALA
2023



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

EXAMEN COMPLEXIVO

PEDOLOGÍA FORENSE: ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN DE SUELOS EN EL
ESCLARECIMIENTO DE CASOS DELICTIVOS

NIETO OCHOA GABRIELA JACQUELINE
BIOQUÍMICA FARMACÉUTICA

SEGURA OSORIO MARISELA BRIGITTE

MACHALA, 07 DE SEPTIEMBRE DE 2023

MACHALA
07 de septiembre de 2023

Pedología forense: Análisis e investigación de suelos en el esclarecimiento de casos delictivos

por Gabriela Jacqueline Nieto Ochoa

Fecha de entrega: 07-ago-2023 09:59p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2142913784

Nombre del archivo: tigaci_n_de_suelos_en_el_esclarecimiento_de_casos_delictivos.pdf (395.89K)

Total de palabras: 4177

Total de caracteres: 23261

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, NIETO OCHOA GABRIELA JACQUELINE, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado Pedología forense: Análisis e investigación de suelos en el esclarecimiento de casos delictivos, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

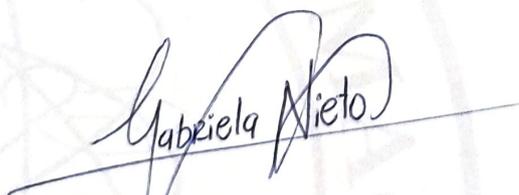
La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 07 de septiembre de 2023



NIETO OCHOA GABRIELA JACQUELINE
0750011918

DEDICATORIA

A mi Padre Celestial, por el gran amor y apoyo que me brindó a lo largo de mi camino académico, por darme la fortaleza necesaria para poder superar cada obstáculo, sobrellevando las dificultades que se me presentaron, y así hoy poder culminar con éxito mi carrera profesional.

A mis amados padres, Danilo y Luz, quienes son un gran pilar fundamental y cuyo ejemplo, consejos y guías han sido de gran ayuda para ser perseverante en cada paso de mi vida tanto personal como estudiantil y por ello, hoy cumplir una meta más. De igual forma, a mi hermano menor Alan, por impulsarme a ser un ejemplo de superación; y a mi tía Chemy por todo su cariño y respaldo durante mi vida universitaria.

A mi mejor amiga Juli por siempre recordarme el potencial y tenacidad que tengo para cumplir cada uno de mis objetivos, por sus cálidos consejos que, durante momentos de dificultad, me brindaron aliento y apoyo para continuar.

A cada uno de mis amigas, compañeros y docentes que extendieron su ayuda durante cada semestre. Y por último, pero no menos importantes, dedico con mucho cariño a las siete estrellas de mi galaxia que me impulsan a confiar y amarme a mí misma, a seguir mis sueños pese a las caídas o tropiezos, y sobre todo a valorar lo mucho que he avanzado y que puedo seguir logrando.

RESUMEN

La pedología forense, subdisciplina de las ciencias forenses encargada del análisis de suelos como prueba material en personas, objetos u otras superficies asociadas al delito, permite vincular o descartar a sospechosos con la escena del crimen. Debido a los diferentes componentes orgánicos e inorgánicos del suelo le otorgan características únicas asociándolo a un determinado espacio geográfico, aplicándolo en la resolución de casos como asesinatos, secuestros o búsquedas de fosas. En Ecuador, la Fiscalía General informa una tendencia delictiva en ascenso, con aumento de cifras de homicidios, extorsiones y secuestros. El objetivo fue determinar la importancia de los suelos como evidencia forense en el esclarecimiento de casos delictivos. La estadística delictiva nacional describe que hasta mayo de este año se han dado 370 casos de secuestro en el país, siendo Guayaquil el epicentro. Las aplicaciones del suelo en investigaciones forenses describen técnicas analíticas e instrumentales como SEM, RAMAN, ICP-MS/OES, XRF y FTIR para comparación de color, determinación de textura, tamaño de partícula, métodos de gradiente de densidad y estimación de materia orgánica e inorgánica, destacando las espectroscopías al ser óptimas y precisas para caracterización e identificación de muestras geológicas. El suelo a pesar de ser una evidencia poco utilizada demuestra valor potencial en la resolución de delitos; pudiendo ser la pedología forense una gran herramienta esclareciendo hechos criminales, como secuestros, en la justicia ecuatoriana que según el COIP en su art.161 y art.162 es penado con 5 a 7 años de cárcel y hasta 10 a 13 años respectivamente.

Palabras claves: Pedología forense, suelo, investigación criminal, geolocalización, secuestro.

ABSTRACT

Forensic pedology, a subdiscipline of forensic sciences in charge of the analysis of soils as material evidence in people, objects or other surfaces associated with crime, allows linking or discarding suspects with the crime scene. Due to the different organic and inorganic components of the soil, it has unique characteristics, associating it to a certain geographic space, which is applied in the resolution of cases such as murders, kidnappings or searches for graves. In Ecuador, the Fiscalía General reports a rising crime trend, with increasing numbers of homicides, extortions and kidnappings. The objective was to determine the importance of soils as forensic evidence in the clarification of criminal cases. National crime statistics show that up to May of this year there have been 370 cases of kidnapping in the country, with Guayaquil being the epicenter. Soil applications in forensic investigations describe analytical and instrumental techniques such as SEM, RAMAN, ICP-MS/OES, XRF and FTIR for color comparison, texture determination, particle size, density gradient methods and estimation of organic and inorganic matter, highlighting the spectroscopies to be optimal and accurate for characterization and identification of geological samples. Despite being a little used evidence, soil shows potential value in the resolution of crimes; forensic pedology can be a great tool to clarify criminal acts, such as kidnappings, in the Ecuadorian justice system that according to the COIP in its art.161 and art.162 is punishable by 5 to 7 years in prison and up to 10 to 13 years respectively.

Key words: Forensic pedology, soil, criminal investigation, geolocation, kidnapping.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN.....	6
OBJETIVOS	7
OBJETIVO GENERAL:	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	7
HIPÓTESIS	7
2. DESARROLLO.....	8
2.1. DELITO DE SECUESTRO	8
2.1.1. Concepto y causas.....	8
2.1.2. Pena privativa	8
2.1.3. Estadística nacional de secuestros	8
2.2. PEDOLOGÍA FORENSE	9
2.2.1. Importancia del suelo como evidencia forense	9
2.2.2. Aplicaciones de la pedología forense	10
2.2.3. Aporte de la pedología forense en casos de secuestro	11
2.3. QUÍMICA FORENSE	12
2.3.1. Concepto y tipos de evidencias.....	12
2.4. ESTUDIOS Y TÉCNICAS ANALÍTICAS DE SUELOS FORENSES.....	12
2.4.1. Recolección y procesamiento de muestras	12
2.4.2. Estudio de propiedades físicas	13
2.4.3. Estudio de propiedades composicionales	14
3. CONCLUSIONES.....	15
4. BIBLIOGRAFÍA	16
5. ANEXOS	20

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tasa de casos de secuestros en Ecuador	8
Tabla 2: Relevancia del suelo como prueba forense.....	9
Tabla 3: Casos criminales resueltos con evidencia geológica.	11
Tabla 4: Técnicas analíticas aplicadas en el estudio de las propiedades físicas del suelo.	13
Tabla 5: Técnicas analíticas aplicadas en el estudio de las propiedades composicionales del suelo.	14

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Usos y aplicaciones de la pedología forense.....	10
Ilustración 2: Química forense y tipos de evidencia	12

1. INTRODUCCIÓN

La ciencia forense es aquella que engloba la aplicación de distintas áreas, como biología, física, química y geología ^{1,2}, en investigaciones jurídicas para el procesamiento y análisis de evidencias con la finalidad de conocer los responsables, causas y daños de los hechos, contribuyendo así a la resolución de casos delictivos ³.

Al igual que los fluidos corporales, los materiales ambientales como suelos, polvos o sedimentos resultan ser indicios forenses distintivos, ya que éstos se transfieren fácilmente pudiéndose recolectar y analizar, aportando información relevante en los procesos judiciales ⁴.

El análisis de estas evidencias en el campo legal se conoce como pedología o geología forense, siendo principalmente empleadas para la geolocalización ³, cuya utilización está respaldada por el Principio de Intercambio de Locard, que establece que “siempre que haya contacto entre dos objetos se producirá un intercambio mutuo de materia” ⁵, es así que, la examinación de suelos de ropas y objetos recuperados permiten vincular o eliminar posibles escenas del crimen ⁶.

La ciencia forense del suelo se ha venido utilizando desde hace tiempo, comenzando en la época romana donde analizaba el suelo proveniente de los cascos de los caballos de sus enemigos para saber de dónde habían viajado. Actualmente es muy utilizada a nivel mundial, presentando buenos resultados en países como Estados Unidos, Rusia, Alemania, Japón, Australia, España, Países Bajos e Italia; sin embargo, en otras naciones como Brasil, Argentina, Belice, China e India está actualmente en desarrollo ⁷.

La importancia del uso de la pedología forense radica en que permite enlazar al criminal con el lugar de los hechos, dado que muchos delitos ocurren en circunstancias donde el suelo puede usarse como evidencia, siendo posible hallar tierra adherida en objetos como herramientas, neumáticos y zapatos. Además, los sitios utilizados para la eliminación de cadáveres generalmente son lugares deshabitados como llanuras o cerros, donde la composición del suelo es característica al sitio ⁸.

Por lo tanto, el estudio de muestras geológicas aporta significativamente en las indagaciones forenses ya que la ubicuidad, heterogeneidad y transferibilidad del suelo brindan datos geográficos valiosos para diferenciar entre ubicaciones según sus características y composición ⁹.

Existe una variedad de técnicas y combinaciones de métodos para el análisis y discriminación de muestras de suelo de diferentes ubicaciones geográficas, destacando las técnicas instrumentales como la ATR-FTIR, GC-MS, SEM-EDX, ICP-MS/OES y XRD ¹⁰, utilizándose principalmente en casos delictivos graves como asesinatos, violaciones, secuestros y crimen organizado ⁷.

En Ecuador, la ola delictiva está incrementando y con ello la tasa de secuestros ¹¹, por lo tanto, la pedología forense puede brindar información en este tipo de crímenes, permitiendo establecer la presencia pre-mortem de la víctima o sospechoso, el trayecto realizado por los involucrados y conocer si hubo traslado del cuerpo de la víctima por diferentes lugares ¹².

Por lo tanto, la presente investigación tiene como finalidad reconocer la importancia de la pedología forense en el esclarecimiento de casos, pues el suelo al estar ampliamente distribuido posibilita vincular a los involucrados con la escena del crimen ^{13, 10}. Así pues, la aplicación de técnicas analíticas permite la caracterización geoquímica, la determinación de individuos en lugares relacionados con el delito ¹⁴, contribuyendo también en la búsqueda o reducción de áreas de rastreo, y en la reconstrucción del crimen para la presentación de los hechos ante el tribunal de justicia ⁷.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Determinar la importancia del suelo como evidencia forense, mediante la revisión de técnicas analíticas geológicas, para su aplicación en el esclarecimiento de casos delictivos.

Objetivos Específicos:

- Reconocer la relevancia de los suelos como evidencia forense.
- Describir las aplicaciones de la pedología forense en el campo legal.
- Identificar las principales técnicas analíticas empleadas en muestras de suelo.

HIPÓTESIS

Actualmente el índice de delincuencia es alarmante en Ecuador, en donde, los casos de secuestros van en aumento. Entonces, ¿podrían las técnicas y métodos analíticos de pedología forense aportar información clave en la justicia ecuatoriana?

2. DESARROLLO

2.1. DELITO DE SECUESTRO

2.1.1. Concepto y causas

El secuestro es un delito grave en el cual las personas son llevadas por fuerza a un determinado lugar, donde son retenidas en contra de su voluntad, y por las cuales, exigen una demanda de rescate o recompensa. Este delito también incluye aquellas situaciones en que las personas son engañadas y atraídas para luego ser confinadas ilegalmente por la fuerza ¹⁵.

Las personas son secuestradas por diversas razones como prostitución o explotación sexual, adopción, esclavitud, venta de órganos, mendicidad y matrimonio, así como también para otros fines como asesinatos y otras actividades ilegales; además puede ser por venganza o extorsión ¹⁶.

2.1.2. Pena privativa

Según el Código Orgánico Integral Penal (COIP) en su artículo 161- Secuestro, establece que “La persona que prive de la libertad, retenga, oculte, arrebate o traslade a lugar distinto a una o más personas, en contra de su voluntad, será sancionada con pena privativa de libertad de cinco a siete años ¹⁷.”

2.1.3. Estadística nacional de secuestros

Tabla 1: Tasa de casos de secuestros en Ecuador

FUENTE	INFORMACIÓN ESTADÍSTICA
<i>Fiscalía General del Estado (FGE)</i>	Número de secuestros en Ecuador: <ul style="list-style-type: none">• Año 2020: 190 casos• Año 2021: 185 secuestros• Año 2022: 172 delitos ¹⁸
<i>Diario Expreso</i>	<ul style="list-style-type: none">• En este año 2023, de enero a mayo se han dado 370 casos de secuestro, un incremento del 64% (secuestros extorsivos).• Guayaquil es la ciudad que presenta más denuncias, seguida de la provincia de Santo Domingo y Los Ríos ¹¹.

<p><i>Policía Nacional</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Actualmente se dan secuestros por oportunidad, pudiendo ser cualquier persona aleatoriamente, ya sean mujeres, adultos o niños, extorsionando y exigiendo a sus familiares un rescate monetario en un corto tiempo ¹¹.
<p><i>Rescate Internacional (Freddy Ballesteros)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • La mayor parte de secuestros están vinculados con criminales colombianos y peruanos. • Existen casos donde ciudadanos indígenas se van a la frontera colombiana y se relacionan con otros delitos, con lo cual, sus niños “desaparecen” ¹⁹ y éstos pueden ser secuestrados para trabajo infantil, prostitución o venta de órganos.

2.2. PEDOLOGÍA FORENSE

La pedología forense es una subdisciplina de las ciencias forenses relacionada con el estudio legal de suelos y sedimentos tanto *in situ* cuyo material ambiental fue posiblemente perturbado por eventos inusuales; así como también material geológico transferido sobre los sospechosos, víctimas y elementos como neumáticos o vehículos de la escena del crimen ²⁰.

2.2.1. Importancia del suelo como evidencia forense

Tabla 2: Relevancia del suelo como prueba forense.

CARACTERÍSTICA	IMPORTANCIA
<p><i>Distribución</i></p>	<p>El suelo se encuentra ampliamente distribuido en diversos lugares estando fácilmente relacionado o presente en muchos delitos, siendo posible recolectar tierra de calzados y vestimenta usadas en la escena del crimen; de llantas o maletero de vehículo que se empleó para destruir un inmobiliario o transportar plantas de cannabis; o en palas y</p>

otras herramientas usadas en el entierro de cuerpos por asesinato u homicidios ²¹.

Variabilidad

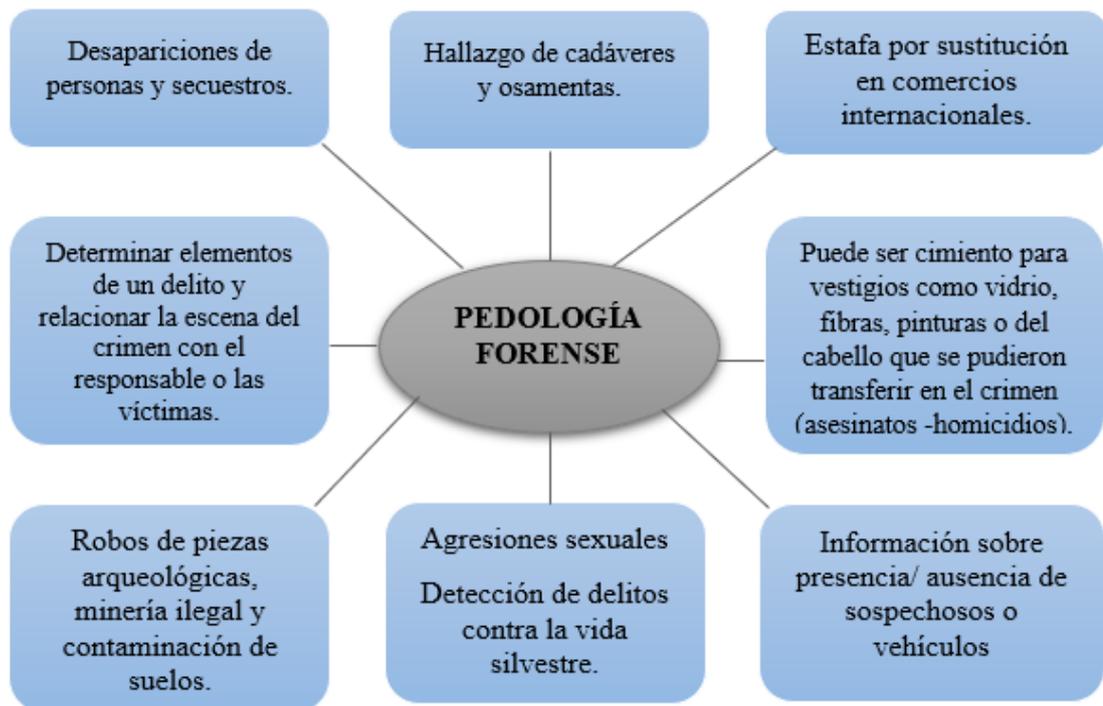
Los suelos muestran variabilidad por su mezcla compleja de minerales, materia orgánica, inorgánica, microorganismos y otros compuestos, presentando una identidad única o casi única; permitiendo la comparación o exclusión de suelos con los involucrados y con la ubicación de la escena del crimen, para la comparación forense y geolocalización ²⁰.

Individualidad y transferibilidad

La tierra resulta de valor probatorio ya que tiene una alta individualidad y probabilidad de transferencia y retención, además es una evidencia de fácil recolección, separación y caracterización contra una base de datos, por lo tanto, dichas características hacen del suelo una prueba de rastreo y vinculación muy relevante en investigaciones forenses ²¹.

2.2.2. Aplicaciones de la pedología forense

Ilustración 1: Usos y aplicaciones de la pedología forense



Fuentes: ^{22, 23, 24, 10}.

2.2.3. Aporte de la pedología forense en casos de secuestro

En casos delictivos, el análisis de muestras geológicas encontradas en la escenografía del delito aporta datos relevantes para el esclarecimiento y resolución de investigaciones judiciales.

A continuación, se describen algunos casos resueltos con evidencia geológica:

Tabla 3: Casos criminales resueltos con evidencia geológica.

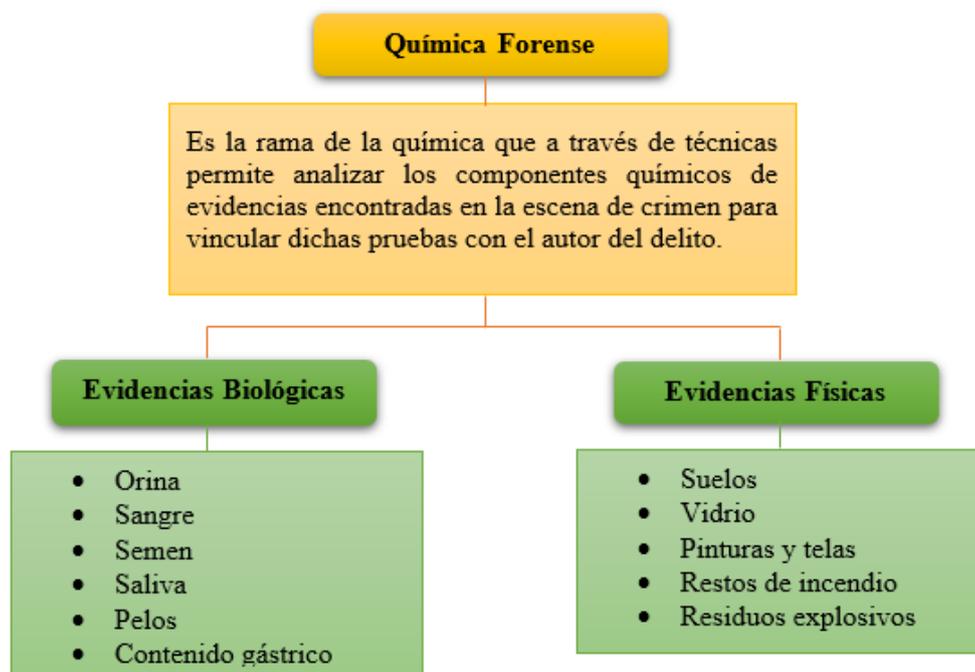
AÑO	TIPO DE CRIMEN	RESOLUCIÓN DE CASO
1930	Secuestro y asesinato	En el caso del secuestro de Matson, el FBI analizó y aplicó el suelo como evidencia para identificar el lugar donde había estado la víctima antes de su asesinato ²⁵ .
1978	Secuestro y homicidio	En Italia, el primer ministro Aldo Moro fue secuestrado y su cuerpo fue encontrado en la cajuela de un automóvil, por lo cual, se analizó el suelo encontrado en la ropa y los zapatos del Sr. Moro para la investigación forense ¹⁰ .
1990	Secuestro/desaparición u homicidio	Se emplearon métodos geológicos de exploración de minerales y terrenos para el rastreo de la tumba de un niño, que la policía sospechaba que había sido asesinado y enterrado en un lugar remoto de Europa ²⁵ .
2002	Secuestro y asesinato	Doce diputados secuestrados en Cali, once fueron encontrados fallecidos, se analizaron las trazas de suelo recolectadas en las bolsas que envolvían los cuerpos y se compararon con muestras patrón de la fosa. Se estableció que la escena del asesinato fue en un lugar diferente al sitio de cautiverio ²⁶ .
2010	Secuestro y asesinato	En Nueva Zelanda, Mauha Huatahi, fue arrestado por el secuestro y asesinato de Mellory Manning, en este caso, se encontraron semillas y polen en la ropa y cavidad nasal de la víctima, dichas muestras exhibieron características similares, con lo cual se

		estableció que el almacén de Mongrel Mob (vinculado con el sospechoso), fue la escena del crimen, ²⁷ .
2013	Desaparición o secuestro	En Inglaterra, un hijo denunció la desaparición de su madre durante cinco días, cuya pareja era el principal sospechoso, por ello, se recolectaron muestras del suelo de la escena del crimen, guantes y botas de los sospechosos e hicieron la comparación de las muestras para su resolución ¹⁰ .

2.3. QUÍMICA FORENSE

2.3.1. Concepto y tipos de evidencias

Ilustración 2: Química forense y tipos de evidencia



Fuentes: ^{28, 29, 30}

2.4. ESTUDIOS Y TÉCNICAS ANALÍTICAS DE SUELOS FORENSES

2.4.1. Recolección y procesamiento de muestras

Las muestras de suelo y sedimentos son evidencias y como tal deben ser recolectadas y almacenadas por especialistas forenses de manera adecuada, documentando a través de fotos o video cada etapa y siguiendo el protocolo ³¹ como se describe en el *Anexo I*.

2.4.2. Estudio de propiedades físicas

Tabla 4: Técnicas analíticas aplicadas en el estudio de las propiedades físicas del suelo.

PROPIEDAD FÍSICA	TÉCNICAS
<i>Color</i>	Se evalúa las muestras de suelos con la tabla de colores de Munsell (Munsell Soil Color Chart) que se muestra en el Anexo 2, para la caracterización y comparación de suelos con fines forenses ³² .
<i>pH</i>	Para su determinación, se pesan 10 g de suelo en un vaso de precipitación, se agregan 25 ml de agua destilada y se agita la suspensión durante 25 min. El pH de la suspensión suelo-agua se mide con un medidor de pH (pHmetro) ²¹ .
<i>Tamaño de partícula</i>	La determinación del tamaño de partículas generalmente se realiza utilizando un tamiz y según su diámetro pueden ser grava, arenas, limo o arcilla ³² . Además del tamizaje, se emplean otros métodos como la decantación (tamaño limo e inferior), y la granulometría láser (partículas muy finas) ²⁶ .
<i>Morfología</i>	El microscopio de barrido electrónico (SEM) permite analizar la morfología del suelo ya que el detector origina una imagen tridimensional de la superficie hasta con un tamaño de 1,5 nm, mostrando detalles como rayaduras, picaduras o modificaciones, con lo cual se obtiene rasgos valiosos de material orgánico e inorgánico ³² .
<i>Microscopía</i>	El suelo también puede contener componentes orgánicos ultramicroscópicos tales como hongos, polen, bacterias y otros microorganismos que solo son visibles con técnicas microscópicas a muy gran aumento como microscopía óptica o SEM ³¹ .

2.4.3. Estudio de propiedades composicionales

Tabla 5: Técnicas analíticas aplicadas en el estudio de las propiedades composicionales del suelo.

PROPIEDAD COMPOSICIONAL	TÉCNICAS
<i>Composición mineral</i>	<ul style="list-style-type: none">• Se emplea un percolador con una disolución de bromoformo para separar los minerales del suelo, tal y como se muestra en el <i>Anexo 4</i>. Después, se examinan por microscopía, para caracterizarlos según su tipología ³³.• La técnica de difracción de rayos X (DRX) también permite analizar la muestra, con la dispersión de rayos X a través de un cristal, logrando la diferenciación entre muestras ³².
<i>Análisis químico o Geoquímica</i>	<ul style="list-style-type: none">• Se realiza con técnicas instrumentales de alta precisión como la espectroscopía RAMAN, espectroscopia de absorción atómica (AAS), la espectroscopia de emisión óptica de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES), la espectroscopia de masas de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS) ³⁴.• También la espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF) para el análisis elemental, mientras que la espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR) se utiliza para definir las deformaciones vibratorias de los límites químicos y compararlos en las bases de datos ³⁴.

3. CONCLUSIONES

- El suelo es una mezcla de materiales inorgánicos y orgánicos, cuya composición química y mineralógica le otorgan características de una región geológica determinada, siendo así una valiosa evidencia física asociativa en investigaciones criminales, donde los métodos forenses convencionales no aportan pruebas suficientes.
- Las aplicaciones de la pedología forense son muy amplias, pudiendo emplearse en diversos delitos penales como asesinatos u homicidios, accidentes, agresiones sexuales, desapariciones o secuestros y búsqueda de cadáveres, pues cada suelo posee un conjunto de rasgos que lo hace distintivamente único y por ende útil como prueba ante el tribunal en casos forenses.
- En el análisis de material geológico se realiza la descripción y caracterización de sus componentes, mediante diversos métodos como las técnicas macroscópicas (para color, pH, granulometría), microscópicas (morfología, materiales orgánicos) y espectroscópicas (minerología y química), de las cuales, éstas últimas técnicas no son destructivas, demostrando una buena resolución y sensibilidad para identificar elementos desconocidos, aportando información precisa para la comparación geológica con bases de datos.
- En la justicia ecuatoriana, las características geológicas determinadas a través del estudio forense de suelos encontrados en artículos cuestionados como calzado, vestimentas o herramientas, permitirían obtener información mineralógica y química sobre el suelo desde el paisaje hasta escalas microscópicas para trabajos de inteligencia, en geolocalización de víctimas; y también presentarse como evidencias en los tribunales supremos de justicia por secuestro, que según la última Reforma 16-III-2022 del COIP puede cumplir una pena privativa de 5 a 7 años por secuestro (art.161), o incluso una de 10 a 13 años por secuestro extorsivo (art.162).

4. BIBLIOGRAFÍA

- (1) Da Silva, R. Estudo de solos para aplicação forense através da realização de análises não destrutivas in situ e em laboratório. *Repos. Univ. do Porto* **2020**.
- (2) Metzinger, A.; Szoldán, Z. *Analysis of Forensic Trace Evidence*; **2022**. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14502-5_9.
- (3) Mantovani, J. D. C.; Rodrigues, C. Geomorfologia Aplicada à Análise Forense: Uma Avaliação Necessária. *Geogr. Dep. Univ. Sao Paulo* **2018**, 68–78. <https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.144219>.
- (4) Pirrie, D.; Pidduck, A. J.; Crean, D. E.; Nicholls, T. M.; Awbery, R. P. Identification and analysis of man-made geological product particles to aid forensic investigation of provenance in the built environment. *Forensic Sci. Int.* **2019**, 305, 109974. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.109974>.
- (5) Mistek, E.; Fikiet, M. A.; Khandasammy, S. R.; Lednev, I. K. Toward Locard's Exchange Principle: Recent Developments in Forensic Trace Evidence Analysis. *Anal. Chem.* **2019**, 91 (1), 637–654. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.8b04704>.
- (6) Procter, F. A.; Swindles, G. T.; Barlow, N. L. M. Examining the transfer of soils to clothing materials: Implications for forensic investigations. *Forensic Sci. Int.* **2019**, 305, 110030. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.110030>.
- (7) Dawson, L.; Parratt, D.; Auchie, D. *The application of forensic soil science in case work and legal considerations*; **2019**. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20542-3_17.
- (8) Mazzetto, J. M. L.; Melo, V. F.; Bonfleur, E. J.; Vidal-Torrado, P.; Dieckow, J. Potential of soil organic matter molecular chemistry determined by pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry for forensic investigations. *Sci. Justice* **2019**, 59 (6), 635–642. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2019.07.003>.
- (9) Habtom, H.; Pasternak, Z.; Matan, O.; Azulay, C.; Gafny, R.; Jurkevitch, E. Applying microbial biogeography in soil forensics. *Forensic Sci. Int. Genet.* **2019**, 38, 195–203. <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2018.11.010>.
- (10) Sangwan, P.; Nain, T.; Singal, K.; Hooda, N.; Sharma, N. Soil as a tool of

- revelation in forensic science: A review. *Anal. Methods* **2020**, *12* (43), 5150–5159. <https://doi.org/10.1039/d0ay01634a>.
- (11) López, V. *Una ola de secuestros extorsivos cobija a Ecuador*. Expreso. **2023**. <https://www.expreso.ec/actualidad/ola-secuestros-extorsivos-cobija-ecuador-166312.html>.
 - (12) Somma, R. Advances in Flipped Classrooms for Teaching and Learning Forensic Geology. *Educ. Sci.* **2022**, *12* (6). <https://doi.org/10.3390/educsci12060403>.
 - (13) Kobus, H.; Robertson, J. The importance of forensic soil science and geology being connected to mainstream forensic science. *Geol. Soc. Spec. Publ.* **2021**, *492* (1), 33–38. <https://doi.org/10.1144/SP492-2017-314>.
 - (14) López Julián, P. L.; Anchuela, Ó. P.; Al-Fawal Portal, M. Geoquímica de elementos mayores aplicada al análisis forense en suelos arcillosos. Estudio de caso y análisis de alcance. *Geogaceta* **2018**, *64*, 155–158.
 - (15) Ottuh, P. O. O., & Aitufe, V. O. Kidnapping and Moral Society: an Ethico-Religious Evaluation of the Nigerian Experience. *Eur. Sci. J.* **2014**, *10* (14), 420–434.
 - (16) Ibrahim, B.; Ibrahim-Mukhtar, J. An Analysis of the Causes and Consequences of Kidnapping in Nigeria. *African Res. Rev.* **2017**, *11* (1), 103–103. <https://doi.org/10.1111/j.1465-7295.1966.tb01990.x>.
 - (17) Ministerio de Justicia. *Código Orgánico Integral Penal*; Zuñiga, L., González, Á., Eds.; Gráficas Ayerve C. A: Quito- Ecuador, **2014**; Vol. 30.
 - (18) Ecuador-Chequea. *Estadísticas de delitos de extorsión, homicidios y secuestros*. Ecuador Chequea. **2023**. <https://ecuadorchequea.com/el-porcentaje-de-secuestros-disminuyo-entre-2021-y-2022/#:~:text=Delito secuestro&text=Con base en estos datos,y 2022%2C se registraron 2.059>.
 - (19) Calle, J. La instalación artística como testimonio de la memoria colectiva en temas de violencia y secuestro infantil, Universidad de Cuenca, **2022**.
 - (20) Ruffell, A. Forensic pedology, forensic geology, forensic geoscience, geoforensics and soil forensics. *Forensic Sci. Int.* **2010**, *202* (1–3), 9–12. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.03.044>.

- (21) Rakshit, A.; Chakraborty, S.; Datta, A.; Ghosh, S.; Philip, V. *Soil Analysis: Recent Trends and Applications*; **2020**. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2039-6_13.
- (22) Avilés Ponce, L. R.; Cañar Muñoz, M. E.; Reyes Pozo, M. D.; Mullo Aimacaña, C. D. Geofísica aplicada a la búsqueda de restos óseos en el Ecuador. *Pro Sci. Rev. Prod. Ciencias e Investig.* **2020**, *4* (34), 42–49. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss34.2020pp42-49>.
- (23) Choi, K.; Ling, S.; Tan, L.; Fan, W.; Abdul, J.; Ning, M.; Yun, S. Pedological Studies of Forensic Soil Evidence in Singapore Using Statistical Approach. *Forensic Sci. Journa* **2022**, *21* (1), 27–36. <https://doi.org/10.6593/FSJ.202212>.
- (24) Fitzpatrick, R. W.; Donnelly, L. J. An introduction to forensic soil science and forensic geology: A synthesis. *Geol. Soc. Spec. Publ.* **2021**, *492* (1), 1–32. <https://doi.org/10.1144/SP492-2021-81>.
- (25) Donnelly, L. J. Introduction: The Episodes themed issue on Forensic Geology and the IUGS Initiative on Forensic Geology. *Episodes* **2017**, *40* (2), 96–105. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2017/v40i2/017011>.
- (26) Álvarez, J. Geología Forense y el desarrollo de este campo en Chile, con iluminación por casos de estudio, Universidad de Chile, **2017**, Vol. 5.
- (27) Suppajariyawat, P. Trace evidence: a role and impact on forensic science and the criminal justice system. *Soc. Sci. Asia* **2021**, *7* (3), 50–66.
- (28) Lian, J.; Xu, Q.; Wang, Y.; Meng, F. Recent Developments in Fluorescent Materials for Heavy Metal Ions Analysis From the Perspective of Forensic Chemistry. *Front. Chem.* **2020**, *8* (November), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.593291>.
- (29) Santos, C. D. C.; Henrique Barbosa Sabino, C.; Pereira, C. R.; Queiroz, T. O.; Mininel, F. J. Química Forense: A Ciência e sua importância para a sociedade. *Rev. Ciências Exatas e Tecnol.* **2021**, *16* (16), 16–23. <https://doi.org/10.17921/1890-1793.2021v16n16p16-23>.
- (30) Jara, E. N. El Valor De La Química Forense En La Investigación Criminal. *Rev. Ecuat. Med. Cienc. Biol.* **2015**, Núm. January 2015, 25–31.
- (31) Di Maggio, R. M. Pedology Applied to Forensics. En *Geoscientists at Crime*

Scenes, Soil Forensics; **2017**; pp 31–51. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58048-7_3.

- (32) Ramón, S. Análisis de suelos en la investigación forense, Universidad Alicante, **2022**.
- (33) García, C. Introducción a la Química Forense. En *Introducción a la Química Forense*; JMB BOSCH EDITOR: Barcelona, **2020**; pp 499–504. <https://doi.org/10.2307/j.ctv1gd0tzx>.
- (34) Tkachenko, Y.; Niedzielski, P. FTIR as a Method for Qualitative Assessment of Solid Samples in Geochemical Research: A Review. *Molecules* **2022**, 27 (24). <https://doi.org/10.3390/molecules27248846>.

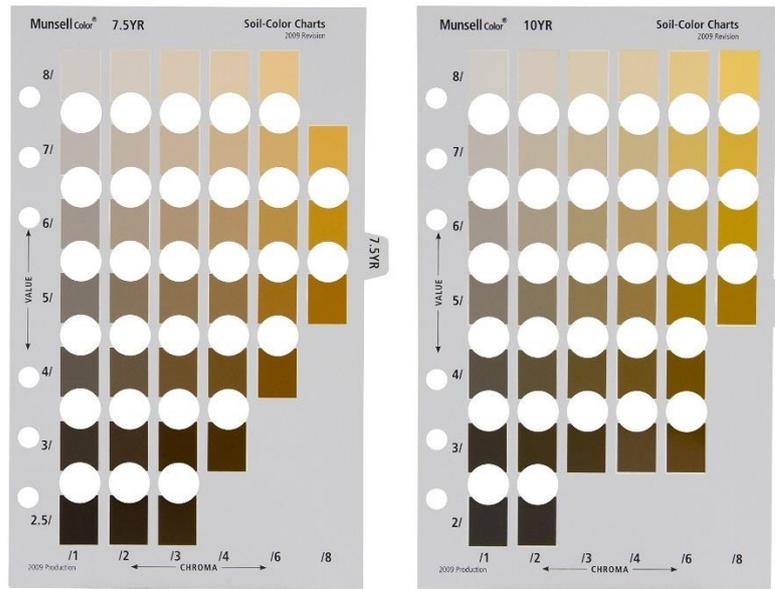
5. ANEXOS

Anexo 1: Recolección de muestras de evidencia y rastros de suelo.

-
- Se divide el área de interés en sectores según el tamaño y los diferentes tipos de suelo presentes, tomando una sola muestra de suelo en el centro y en varios puntos a su alrededor. Además, se debe indicar con una letra o un número, el punto de donde se tomó la muestra se debe georreferenciar, realizando un levantamiento fotográfico.
-
- Las muestras se recopilan utilizando instrumentos desechables, como pinzas, espátulas, cepillos; alternativamente, utilizando instrumentos de acero que entre muestreos deben limpiarse con acetona.
-
- Se deja que las muestras húmedas se sequen al aire antes de colocarlas en recipientes apropiados como viales, bolsas de teflón estériles o cajas, para garantizar la mayor integridad posible.
-
- La cantidad suficiente de muestra para el análisis depende del tipo de análisis requerido; en general, se requiere una cantidad igual a un volumen de aproximadamente 50 ml.
-
- Si en la escena del crimen hay rastros de tierra en superficies removibles como tapetes y pedales de vehículos o calzado, se recolecta el artículo completo y luego se extrae la muestra de tierra en el laboratorio.
-
- Finalmente se indica las muestras recogidas con el mismo código de referencia de su punto de recogida, documentándose fotográficamente y asegurando la cadena de custodia.
-

Fuente: ³¹

Anexo 2: Munsell Soil Color Charts.



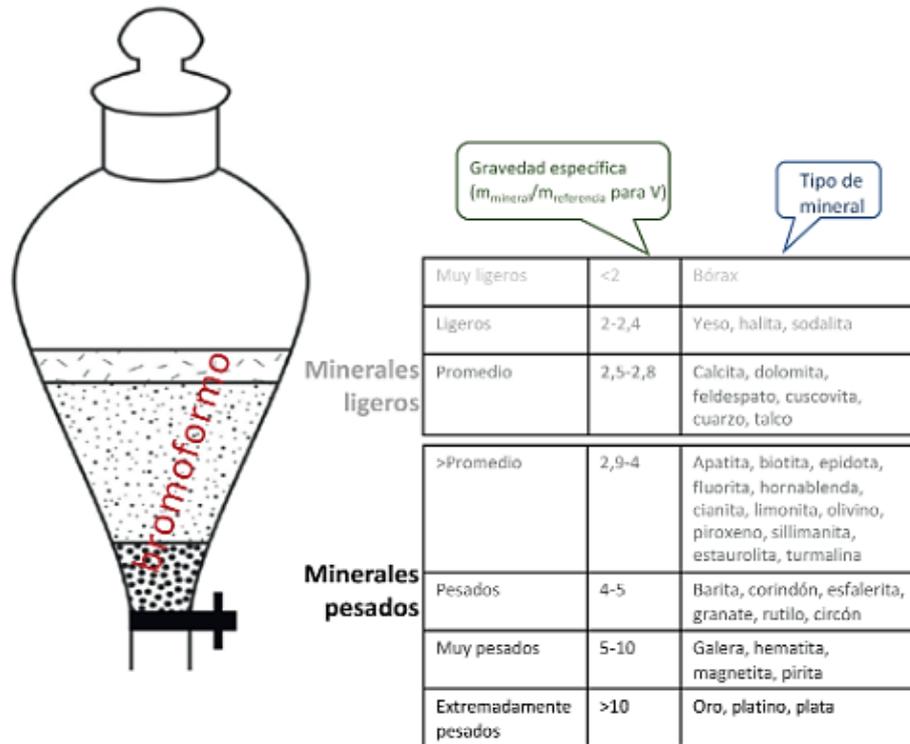
Fuente: ³³

Anexo 3: Tamizado, tamaño de malla y tipo de suelo.

Nº de tamiz	Tamaño de malla	Tipo de suelo	Aspecto aproximado
6	3,36 mm	Graba	
10	2,00 mm		
16	1,19 mm		
18	1,00 mm	Arena gruesa	
35	500 µm		
40	420 µm	Arena media	
60	250 µm		
70	210 µm		
100	149 µm	Arena fina	
270	53 µm		
325	44 µm	Limo	
400	37 µm		
< 400	< 37 µm	Arcilla	

Fuente: ³³

Anexo 4: Determinación de composición mineral de suelos.



Fuente: ³³