

**LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y
Humanidades, Asunción, Paraguay**

ISSN en línea: 2789-3855, 2026

Los estudios de suelos en el contexto forense

Soil studies in the forensic context

Juan Alberto Pichardo Hernández

juan.pichardo@uaq.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5703-8657>

Universidad Autónoma de Querétaro
Querétaro – México

Carmen Mariana López Villalva

carmen.lopez.v@uaq.mx

<https://orcid.org/0009-0000-6667-9042>

Universidad Autónoma de Querétaro
Querétaro – México

Margarita Cruz Torres

margarita.cruzt@uaq.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8143-5345>

Universidad Autónoma de Querétaro
Querétaro – México

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v7i1.5274>


Redilat
Red de Investigadores
Latinoamericanos



Revista Latinoamericana de
Ciencias Sociales y Humanidades

Artículo recibido: 30 de septiembre de 2025
Aceptado para publicación: 03 de febrero de 2026.
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

VOLUMEN VII

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v7i1.5274>

Los estudios de suelos en el contexto forense

Soil studies in the forensic context

Juan Alberto Pichardo Hernández

juan.pichardo@uaq.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5703-8657>

Universidad Autónoma de Querétaro

Querétaro – México

Carmen Mariana López Villalva

carmen.lopez.v@uaq.mx

<https://orcid.org/0009-0000-6667-9042>

Universidad Autónoma de Querétaro

Querétaro – México

Margarita Cruz Torres

margarita.cruzt@uaq.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8143-5345>

Universidad Autónoma de Querétaro

Querétaro – México

Artículo recibido: 30 de septiembre de 2025. Aceptado para publicación: 03 de febrero de 2026.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

Esta investigación tiene como objetivos la exposición teórica de los estudios de suelo en el contexto forense y, la descripción de las actividades prácticas en la prospección y procesamiento en las Unidades Experimentales de Campo Abierto (UECA). En la primera parte de la investigación el método utilizado fue documental; enmarcando los estudios de suelo en la aplicación forense. La segunda parte de la investigación utilizó un método práctico-experimental, mediante estrategias de prospección, observación, levantamiento del muestreo de suelos en las UECA y su envío al laboratorio. El nivel de conocimientos adquiridos es exploratorio por su desarrollo teórico y las bases prácticas en las actividades iniciales de dichos estudios. Este primer avance del proyecto levantó 50 muestras de suelo en las UECA, que se enviaron al laboratorio para conocer las condiciones prístinas y tener un registro de la huella química. La investigación concluye, en términos teóricos, destacando la progresividad e importancia de los estudios de suelo para la interpretación en la investigación forense de manera más dinámica, pues aportan información reconstructiva del lugar para la localización de cuerpos sin vida en situación de enterramiento. Y de manera práctica en reconocer el trabajo conjunto entre las actividades de prospección de los estudios de suelo y el procesamiento del lugar criminalístico.

Palabras clave: análisis de suelos, prospección forense, procesamiento de lugar

Abstract

The purpose of this research is to present theoretical information on soil studies in the forensic context and to present practical activities in prospecting and processing at the UECA Open Field Experimental Units. In the first part of the research, the method used was documentary; framing the soil studies in the forensic application. The second part of the research used a practical-experimental method, through prospecting strategies, observation, taking soil samples in the UECA and sending them to the

laboratory. The level of knowledge acquired is exploratory due to its theoretical development and the practical bases in the initial activities of said studies. This first advance of the project took 50 soil samples in the UECA, sent to the laboratory to know the pristine conditions and to have a record of the chemical footprint that allows future interventions. The research concludes theoretically by highlighting the tendency of forensic soil studies to be more dynamic, providing reconstructive information on the site for the location of lifeless bodies in burial situations, the post-mortem interval, and the taphonomic and edaphological phenomena that explain such burials. In addition, it recognizes the practical need for joint work between the prospecting activities of soil studies and the processing of the forensic site, making evident the need to develop guides and methodological guidelines for this joint work.

Keywords: soil studies, forensic exploration, sediment analysis

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons. 

Cómo citar: Pichardo Hernández, J. A., López Villalva, C. M., & Cruz Torres, M. (2026). Los estudios de suelos en el contexto forense. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 7 (1), 512 – 536. <https://doi.org/10.56712/latam.v7i1.5274>

INTRODUCCIÓN

Los estudios de suelo se posicionan en la escena de la investigación forense por los aportes en la identificación y vinculación de los materiales del suelo encontrados o, en los aportes explicativos y reconstructivos que las características del suelo asocian con los fenómenos delictivos. En el imaginario común se tiene la siguiente imagen en la aplicación de los estudios del suelo: Restos de tierra o sedimentos¹ en un zapato, que una vez analizados dichos restos se establecen características particulares que coinciden con las propiedades específicas de un tipo de suelo asociado a un hecho delictivo, intercambiando la evidencia del suelo entre la persona que se desplazó en el lugar usando dicho calzado. El aporte descrito es trascendente, sin embargo, como veremos más adelante, los estudios del suelo también avanzan en la metodología de una prospección planeada para intervenir en espacios de investigación forense, en la descripción de los procesos naturales en la descomposición de la materia y su relación con el lugar, los efectos en el espacio y el análisis de los suelos con el entorno a partir de las exigencias forenses y las necesidades judiciales.

El presente artículo explica el aporte de los estudios de suelo en el ámbito forense, para ello, inicia con un recorrido histórico de las primeras intervenciones en dicho campo. La investigación resalta la importancia de las geociencias aplicadas a los estudios del suelo, por medio de los estudios de la materia inorgánica y los estudios de la materia orgánica del suelo, esta combinación además de identificar el tipo de suelo permite establecer posibles perturbaciones en la zona para reconstruir y caracterizar un lugar.

Sin duda, esta información además de orientar la investigación, explicar los fenómenos y reconstruir lo que ha ocurrido en ese lugar, lo hace por medio de métodos científicos confiables, utilizando técnicas básicas como la observación, la descripción y la taxonomía del suelo. Así mismo, utiliza tecnología más avanzada como las pruebas fisicoquímicas, los rayos X de dispersión de energía, la microscopía electrónica de barrido, entre otras técnicas e instrumentos que en su aplicación se vuelven contundentes en sus resultados. Con lo anterior, más allá de lo sofisticado del método y del equipo tecnológico utilizado, los resultados de los estudios de suelo se centran en la elección apropiada del método según las necesidades de la investigación, por ello una buena estrategia de prospección, procesamiento y envío de muestras a su respectivo análisis forense es crucial.

Esta investigación forma parte de los avances del proyecto: “Diagnóstico de áreas de actividad principalmente encaminadas a prácticas forenses”, financiado por los Fondos para el Desarrollo del Conocimiento (FONDEC) de la Universidad Autónoma de Querétaro: “Este programa incentiva la investigación académica con el objetivo de contribuir al desarrollo científico, social, humanístico, artístico y tecnológico, tanto a nivel estatal como nacional” (UAQ, 2025). El proyecto busca promover la enseñanza, la capacitación y la investigación de los estudios de suelo aplicados al área forense. Por ello, el último apartado del artículo aborda parte del proceso desarrollado en las Unidades Experimentales a Campo Abierto (UECA), destinadas para este propósito en un espacio gestionado por la Facultad de Derecho de la Universidad Autónoma de Querétaro. Dentro de dicha investigación se aplicaron metodologías y técnicas con pasos específicos a seguir con el fin de recolectar, documentar y analizar muestras recabas del área de estudio, mismas que fueron enviadas al laboratorio para un estudio más completo del espacio físico de investigación con el fin de sentar las bases y hacer aportes novedosos en los estudios de suelos aplicados al ámbito forense.

¹ Sedimento: Se compone principalmente de rocas, minerales y organismos y es inorgánico. Tierra: Capa superficial de la tierra, es mezcla de sedimentos, restos orgánicos y minerales, es una capa fértil. Suelo: Este compuesto por la descomposición de rocas, material orgánico, agua y tierra, el suelo se puede considerar como un ecosistema porque en él se desarrollaron organismos vivos.

METODOLOGÍA

La metodología empleada en la investigación se divide en dos secciones conforme a la propuesta del artículo, la primera sección presenta un recorrido teórico acerca de los estudios de suelo, lo cual hace un preámbulo de sustento explicativo para dichos estudios en el contexto forense. La segunda sección es la explicación de un avance experimental aplicado en las Unidades Experimentales de Campo Abierto (UECA); en esta parte la metodología se desarrolla de manera más amplia en la sección denominada "Metodología de trabajo criminalístico y de prospección en los estudios de suelo". De tal suerte que el propósito del artículo es mixto ya que inicia con una revisión teórica de los estudios de suelo y continúa con un avance práctico experimental en la intervención de suelos derivados de un proyecto de investigación universitario.

El enfoque de la investigación es cualitativo debido a que explora y describe el desarrollo histórico de las geociencias en el contexto forense, lo cual presenta un panorama de la perspectiva teórica del tema (Hernández et.al., 2014). De acuerdo con el nivel de conocimientos que se adquieren derivados de la investigación esta es de tipo exploratoria ya que su propósito es recuperar y presentar los aspectos más relevantes de los estudios de suelo en el uso forense y que más adelante sean empleados en contextos de investigación y enseñanza.

En cuanto a el diseño de la investigación como estrategia adoptada para alcanzar los fines propuestos (Arias, 2012), la primera sección de la investigación es documental basándose en la obtención y análisis de la información proveniente principalmente de literatura científica especializada en temas como geología, edafología, tafonomía y los estudios de suelos forenses, localizada en libros, artículos científicos, manuales y protocolos periciales así como estudios de caso en el ámbito de las ciencias forenses. Esta información fue analizada mediante la técnica de fichado de lectura que derivó en un análisis de contenido y una comparación temática, siendo claves para la guía analítica, esto con el objetivo de identificar explicaciones, usos, alcances y límites de los estudios de suelo en el contexto forense, su integración en la investigación criminal y las pautas para la propuesta experimental de la segunda sección.

Como se señaló previamente, la metodología completa de la segunda sección práctico-experimental se desarrolla de manera detallada en su apartado correspondiente; por ello, en este espacio se describe la propuesta metodológica empleada. Esta propuesta consistió en una metodología práctico experimental de campo orientada a la prospección, recolección, documentación y análisis de las muestras de suelo recabadas de las UECA, bajo los criterios de procesamiento de la criminalística de campo y la prospección de los estudios de suelo, teniendo como referentes las recomendaciones técnicas internacionales. Las muestras obtenidas fueron analizadas en laboratorio de calidad de agua y suelo, perteneciente a la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro, con el fin de identificar las condiciones prístinas del suelo y sentar las bases para futuros estudios de prospección y procesamiento tafonómicos y edafológicos en contextos de capacitación forense.

DESARROLLO

Historia de las geociencias en el contexto forense

Una de las particularidades de la investigación forense es la colaboración con diferentes disciplinas y estudios para contestar las interrogantes que podrían dilucidar en la explicación de múltiples fenómenos delictivos o casos criminales de diversa naturaleza. Existen áreas de conocimiento forense que, por su uso habitual y estandarizado en las investigaciones son más conocidas y forman parte de los servicios ofrecidos por las instituciones encargadas de investigar los delitos, algunas de estas son:

criminalística de campo, medicina forense, genética forense, antropología forense entre otras áreas. Sin embargo, debido a las exigencias del caso, al contexto regional y a los avances en la propia ciencia, se han incorporado ciencias de diferentes áreas de conocimiento a la investigación forense, tal es el caso de las ciencias del suelo.

El estudio y análisis de los suelos en la investigación criminal o en la persecución del delito tiene antecedentes en la resolución de casos mediante la comparación de sedimentos presentes en las prendas de vestir, zapatos u otros objetos, bajo el principio de intercambio, ofrece información del lugar por los sedimentos y características térreas que se encuentran en los objetos en cuestión. Actualmente, además de la investigación en los casos mencionados, el contexto en México en torno a la desaparición de personas ha visibilizado a las geociencias como disciplinas que contribuyen en la investigación de delitos y fenómenos asociados a desaparición, inhumaciones y exhumaciones. Es así que, se relata de manera breve algunos antecedentes históricos de casos forenses relacionados a la evidencia del suelo.

Existen registros de que la primera aplicación del estudio de suelos se llevó a cabo por Christian Gottfried Ehrenberg en abril de 1856, cuando barriles que contenían monedas de oro y plata fueron vaciados durante su transporte y su contenido fue sustituido por arena. Gottfried tomó muestras de arena que se localizaban a lo largo de las estaciones ferroviarias por donde transitaban los barriles en cuestión y, auxiliándose de un microscopio realizó comparaciones entre dichas muestras, logrando localizar en qué estación se llevó a cabo el intercambio de la mercancía (Fitzpatrick y Donnelly., 2021).

George Popp en Alemania, en el año de 1904 basado en la evidencia de tierra dejada en un lugar de investigación contribuyó a la solución de un asesinato, siendo el primer experto en utilizar un cotejo pericial de tierras en un caso judicial. Popp utilizó indicios de suelos localizados en pañuelos, zapatos y un vestido, en los cuales observó trozos de carbón y algunos minerales que empataron con una fábrica de gas donde abundaba el mineral coincidente en las prendas de vestir, gracias a la confronta de la evidencia, el sospechoso fue localizado. Popp continuó analizando los materiales de suelo incrustados o ubicados en las prendas de vestir, logrando esclarecer asesinatos por medio del uso y aplicación de la geología en el ámbito forense (Bergslien, 2012).

Hans Gross, mencionó la importancia en la incorporación de las ciencias naturales para el esclarecimiento de los delitos, estableció que la suciedad de los zapatos o en prendas de vestir podían ser usada como información en una investigación forense, relacionando la suciedad con su procedencia, o un sedimento localizado en un zapato, lo que da como conclusión la interacción de ambos. Con el planteamiento anterior, Locard sienta las bases con su conocido principio de intercambio, que representa un intercambio indiciario, en este caso de partículas de suelo entre lugares, objetos y personas (Villegas, 2010). De igual modo, pero en un formato literario, en 1887 el escritor Arthur Conan Doyle creador del personaje Sherlock Holmes, escribió en uno de sus relatos cómo la confronta de material del suelo localizado en zapatos podría ayudar a localizar al sospechoso que cometió un delito, representando los avances y expectativas de la época en cuestión de la investigación criminal y los estudios forenses aplicados.

Enlazando ciencias forenses y geociencias se muestra que los suelos tienen características particulares y pueden utilizarse para identificar la procedencia de la tierra encontrada en un lugar de investigación o en un objeto asociado con un delito (Mondragon, 2024) , esto debido a que el suelo contiene una variedad de evidencias, como restos biológicos, fibras, polen, vegetación, residuos químicos y otros materiales que ayuden a establecer vínculos entre las evidencias, los lugares y las personas involucrados en un delito.

Los estudios de suelo en la investigación forense

Los estudios del suelo se centran en realizar muestreos con el fin de analizar suelos, sedimentos, rocas, geomorfología, hacer mapeos geológicos de suelos, así como estudios en hidrogeología, minerología, geoquímica, geofísica, paleontología, biología, palinología y biología molecular con el fin de responder preguntas, problemas e hipótesis legales (Fitzpatrick & Donelly, 2019), esto considerando que: El suelo se concibe como un componente físico transferible multidimensional. Los estudios de suelo pueden indicar de manera precisa el punto de contacto y eventualmente vincular a personas u objetos con un lugar de investigación forense (sangwan et al., 2020). Las ciencias del suelo además de su aporte en la vinculación entre lugares específicos y su transferencia en objetos según las características del suelo, contribuyen en la explicación del suelo en su carácter reconstructivo y explicativo respecto a la interpretación del lugar y los suelos, el espacio como una evidencia compleja, tal como en los entierros clandestinos.

Primeramente, hablaremos de qué son las geociencias y su aplicación para posteriormente enlazarlas con su uso dentro de las ciencias forenses. Las geociencias son las disciplinas de las ciencias naturales que estudian la estructura, morfología, evolución y dinámica, así como la comprensión, representación gráfica, uso de materiales y procesos del planeta Tierra (Torres et al., 2019).

Ahora bien, las geociencias forenses se basan en disciplinas geológicas que analizan los suelos inorgánicos como mineralogía, química y física del suelo; realizando estudios de sus propiedades físicas, su estructura y textura de los suelos (Fløjgaard et al., 2019). Así mismo se auxilian de los estudios ecológicos donde los expertos pueden identificar y analizar el polen de las plantas por medio de la palinología, estudian fragmentos de plantas a través de la botánica y el involucramiento de los insectos por medio de la entomología, proporcionando información ecológica en las investigaciones forenses (Fløjgaard et al., 2019).

Existen disciplinas de las geociencias y de los estudios geológicos que son más frecuentes y quizá por lo mismo están más desarrolladas en las investigaciones forenses, sus aportes resultan útiles a los objetivos forenses para identificar el origen de los materiales térreos, vincular los espacios con los restos de sedimentos, explicar los fenómenos asociados a los procesos del suelo y su relación con los hechos criminales, es decir: Tafonomía y edafología, bajo la perspectiva forense.

La tafonomía proviene de una rama de la paleontología que estudia y comprende ecología de un sitio en sus procesos de descomposición, cambios en su ecología, introducción de plantas o animales y cómo la ecología del sitio afecta la descomposición de estos materiales (Carter & Tibett, 2008). La tafonomía, se encarga de explicar los sucesos que afectan al resto de un organismo vivo, desde que murió hasta que sus restos fueron localizados (IGME, 2025), para entender acontecimientos como preservación, dispersión, erosión, entierro o exposición en los restos (la mayoría humanos).

La tafonomía forense hace una propuesta interesante al estudiar los procesos y el valor del suelo de forma dinámica e interactiva entre las perturbaciones y cambios del suelo derivados de los procesos en descomposición de un cadáver. De acuerdo con Carter y Tibbett (2008) el suelo se ha interpretado de forma tradicional de una manera pasiva, esto es que aporta información a partir de las propiedades biológicas, químicas y físicas, es decir, bajo el principio de intercambio se determina que los restos de sedimentos o suelos ubicados en una prenda de vestir, un neumático o una pala, tuvieron interacción con un determinado tipo de suelo en un lugar particular que es asociado a la interacción con una persona o un objeto, siendo esto un avance innegable. (p. 31) Sin embargo, los estudios tafonómicos están interesados en comprender al suelo como evidencia dinámica, que informa sobre procesos de

descomposición, perturbaciones del lugar, presencia y afectación recíproca de la ecología del lugar, estudios y análisis de ello en casos de fosas clandestinas y en estimaciones post mortem².

Si bien la tafonomía forense se centra en analizar los procesos y cambios que ocurren en el entorno en consecuencia de la descomposición de un cadáver, estas perturbaciones y afectaciones mutuas impactan tanto el suelo como la ecología del lugar investigado. Por ello, resulta fundamental comprender las características específicas de los suelos implicados; en este contexto, la edafología forense se presenta como la disciplina más adecuada y frecuentemente empleada en los estudios de suelo. Ambas ciencias, tafonomía y edafología forense, se complementan en el análisis e interpretaciones de sus resultados, proporcionando una visión integral de los procesos investigados.

La edafología se dedica al estudio del suelo, su origen y evolución por medio de los procesos y características químicas, físicas y biológicas (Revista ciencias de la Tierra, 2020), , así como morfología, componentes (ya sean mineralógicos o materia orgánica), clasificación y distribución cartográfica y geográfica (Porta et al., 2013), las cuales son de particular interés en el ámbito forense ya que establecen el tipo de suelo, origen, uso de suelo, presencia de contaminación, tipo de clima, tipo de vegetación y actividad humana. Con base a las características mencionadas y tomando en cuenta la ubicación geográfica o la zona del lugar es posible que las propiedades del suelo sean distintas y sobre todo características de dicha zona, por lo tanto, los procesos edafológicos serán distintos y diversos entre sí, logrando individualizar cada uno de los lugares de un posible hecho o fenómeno delictivo, así mismo, sus características orientan en cuanto a temporalidad, por ejemplo, crecimiento o ausencia de la vegetación indican alteraciones en el lugar, siendo éste uno de los elementos importantes en la prospección para la identificación de posibles inhumaciones o exhumaciones.

Para Buol (2004), la edafología se ha utilizado como un sinónimo de las ciencias del suelo:

La génesis del suelo es aquella parte de la ciencia del suelo (algunas veces llamada edafología, cuando se combina con la clasificación) que trata de los factores y procesos de formación del suelo. Incluyendo la descripción e interpretación de los perfiles del suelo, los cuerpos y los patrones de suelos en la superficie terrestre. (p. 13)

Que mejor ciencia para una descripción del suelo en un contexto forense que la edafología, la descripción que realiza de los procesos naturales del suelo y las perturbaciones intencionales producto de la intervención humana en actividades como agroecología, ingeniería y otras actividades del desarrollo humano, lo que también incluye las perturbaciones humanas en actividades ilícitas bajo la perspectiva forense.

La edafología forense es una ciencia con actividades recientes en la investigación de suelos con fines forenses (Fitzpatrick et al., 2009) esta ciencia se centra en diferentes disciplinas como puede ser pedología, geoquímica, mineralogía, biología molecular, geofísica, arqueología y ciencia forense. Para sus estudios y caracterización del suelo utiliza distintos atributos morfológicos del suelo como son su color, consistencia, textura y estructura, siendo esto quizá el primer paso en la información del suelo que puede proporcionar y ayuda en la investigación forense (Fitzpatrick et al., 2009), -estos estudios utilizan métodos, técnicas e instrumentos cada vez más sofisticados, los cuales se describirán más adelante en el apartado correspondiente.

Existen otras geociencias complementarias que auxilian o están relacionadas en las investigaciones forenses, aportando sus conocimientos en dichas investigaciones, estas ciencias son pedología, arqueología, geología y sedimentología, las cuales se describirán brevemente a continuación.

² "Estimación de un rango de tiempo aproximado desde el momento de la muerte hasta el estudio del cadáver o restos humanos." (Mercado, 2022, p. 251).

Por pedología nos referimos a la ciencia que implica el estudio de la morfología del suelo, siendo este su origen, propiedades físicas, químicas y minerales. Aplicado al contexto forense analizan restos geológicos y de materiales sueltos para un muestreo fiable, con la finalidad de apoyar las investigaciones policiales por medio de la recopilación de pruebas íntegras para los procesos. (Pye & Croft, 2004)

La arqueología se centra en el estudio de las sociedades por medio de sus vestigios, tales como restos humanos, monumentos, pinturas, pirámides, monolitos, objetos, materiales de uso cotidiano (como maderas o cerámicas), etc. Su estudio podría detectar, ubicar, explorar, registrar y levantar indicios localizados en zonas como fosas clandestinas, que requieran de ciertos cuidados para la recuperación de restos cuyo estado se encuentra en esqueletización o en estado avanzado de descomposición.

Ahora bien, la geología forense es: una disciplina dentro de las ciencias de la tierra que, a través de la recolección y análisis de minerales, suelo, agua, etc., puede aportar valiosas pruebas para la resolución de problemas planteados por la justicia (Sagripanti et al., 2013). Por otro lado, se explica que: La geología es la ciencia que estudia la tierra, la morfología y los cambios que ha experimentado o que experimenta (Torres & García, 2019). Para Murray: La geología forense es la rama de las ciencias de la tierra que involucra tierras, minerales, fósiles, suelos y materiales relacionados a dar evidencia en investigaciones criminalísticas (Povilauskas, 2015).

En este sentido, la geología forense contribuye al rastreo de evidencias mediante el análisis de materiales como hojas, polen, polvo o residuos con intereses forenses y su desarrollo criminalístico. La interacción entre personas, lugar y evidencia del suelo generaría un registro físico de diversos materiales e indicios que los estudios del suelo podrían informar sobre dicha interacción. Por ejemplo, un hecho ocurrido en un bosque, es inevitable que víctima, probable responsable, lugar o evidencia, presenten residuos de tierra y sus diversos componentes con la cual tuvieron contacto, tales como hojas, tierra, fragmentos de ramas e incluso insectos.

La sedimentología estudia los procesos de formación, transporte y deposición de los materiales que se acumulan en los sedimentos marinos y continentales (Torres & García, 2019), es así que de acuerdo con el área será diferente la muestra recabada y, por tanto, se podrá localizar el origen del indicio de suelo con el que se cuente.

Las disciplinas y ciencias antes descritas aplicadas al contexto forense auxilian al estudio de materiales térreos apoyadas en métodos estandarizados y prácticas comunes a su ciencia. En este sentido, las geociencias se unen con las ciencias forenses con la intención de realizar actividades de localización, descripción y aporte de evidencia física relacionada con restos de suelos en diversos espacios físicos donde hubo interacción e intercambio entre el lugar como evidencia física del suelo, víctima y probable responsable. Por lo tanto, la prospección del lugar, la valoración de las condiciones de la vegetación o características del espacio físico y los análisis de la huella química, son actividades básicas que pueden realizar los estudios del suelo para el interés forense.

La prospección del lugar es la primera actividad que proponen los estudios del suelo, conocida de forma coloquial como peinar el campo o terreno mediante una técnica de observación entrenada, para ello traza su objetivo de investigación forense, planea las actividades a desarrollar e identifica los sitios de interés forense que se advierten con posibles alteraciones o perturbaciones en el lugar. La prospección en relación con la criminalística de campo hace que el procesamiento del lugar sea más efectivo debido a estas actividades previas encaminadas a determinar el lugar e identificar sitios de interés forense.

Durante la prospección se hace un reconocimiento y valoración de las condiciones de la vegetación, identificando alteraciones en su crecimiento natural o la presencia de vegetación distinta al lugar, estos

cambios y alteraciones además de la descripción del paisaje permite reconstruir ciertos fenómenos en el lugar, establecer perturbaciones intencionales e identificar zonas para procesar con mayores elementos e incluso ofrecer datos temporales que una vez correlacionados se establezca una posible cronología entre el lugar y los posibles fenómenos delictivos.

Por último, la huella química del suelo, son los resultados de laboratorio que establecen la composición física y química de las muestras levantadas del suelo o espacio de investigación, con el fin de conocer su evolución y composición, obteniendo un análisis químico a detalle (Mondragón, 2024), para conocer los cambios y alteraciones fisicoquímicas que presentan los suelos, estableciendo las condiciones del lugar en correspondencia al entorno. Así mismo, en conjunto con los estudios tafonómicos y edafológicos explican fenómenos que alteraron el lugar tales como las exhumaciones e inhumaciones posiblemente delictivas.

Una vez mencionado y comprendido lo anterior, podemos entender el suelo forense como aquella superficie del espacio físico de investigación donde se presume se realizó un contacto y conexión entre personas u objetos, el cual, luego de ser analizado puede advertir sobre el intercambio entre dichas unidades de información, de tal modo que sirva como evidencia para las investigaciones pertinentes, ya que, al ser estudiado el suelo forense permite reconstruir y explicar lo que presuntamente sucedió en determinado lugar. El incluir el suelo forense en las investigaciones abre el panorama ante todos los tipos de delitos, ya que el suelo es un componente inherente en el contexto, ejemplo de ello son los entierros clandestinos. Del mismo modo, el suelo forense implica la selección, recolección y análisis de muestras de suelo para determinar sus características físicas, químicas, biológicas y mineralógicas de las muestras para determinar su origen y en su caso, la comparación entre una muestra indubitada y propiamente, la muestra dubitada.

Componentes del suelo

El suelo es un medio natural o cuerpo material que se compone principalmente de organismos o materia orgánica como la flora, la fauna, productos del ser humano, y de materiales parentales³ o materia inorgánica como rocas y minerales; la combinación de ambos componentes constituyen el suelo, sin dejar de lado la influencia del tiempo, clima y topografía del lugar, lo anterior hace que los suelos sean característicos y singulares, de tal manera que el suelo difiere por su material parental en su textura, estructura, consistencia, color, propiedades químicas, biológicas y físicas. (ONU, 2025)

Ahora bien, Yoshiteru (2003) en su trabajo titulado “Examen forense de evidencia del suelo” establece que:

El suelo es una mezcla compleja con una variedad de propiedades mineralógicas, químicas, biológicas y físicas. [...] El proceso de formación del suelo involucra materiales parentales, temperatura, condición del agua, vegetación, tiempo y los procesos químicos de solución, oxidación, reducción e incluso actividades humanas.

Por un lado, la materia orgánica es un componente natural del suelo muy complejo, compuesto de animales, plantas y biomasa⁴ microbiana. La materia orgánica del suelo se mide con base en el contenido de carbono orgánico y / o nitrógeno total de las muestras, por materia orgánica se entiende

³ El material parental se refiere a la roca o sedimento original del cual se formó el suelo y determina la composición química y mineralógica de este. Es decir, el material parental influye en la cantidad y calidad de los nutrientes presentes en el suelo, toda vez que la respuesta a la alteración de minerales y rocas está en relación directa con el origen y composición de las rocas preexistentes. (Gallego et al., 2025)

⁴ La biomasa microbiana define el componente funcional del microbiota del suelo, responsable principalmente de la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes, la biomasa microbiana también define la estabilidad en la estructura del suelo. (Acosta & Paolini, 2006)

restos vegetales y animales que se encuentran en el suelo y debido los procesos naturales terminan por incorporarse al mismo, al producirse dichos ciclos se generan partículas de nitrógeno y carbono, los cuales influyen en la formación y transformación de la materia orgánica, es por ello que al ser analizados darán información específica sobre los nutrientes del suelo, origen y cantidad de la materia orgánica contenida, esta última de relevancia en los casos de exhumaciones, por ejemplo, los análisis nos podrían orientar en cuanto a ubicación de sitios de enterramiento.

Por otro lado, la parte inorgánica del suelo es un componente principal, derivado de la intemperización⁵ de rocas y minerales, constituyendo una evidencia traza importante para diferenciar o discriminar dos muestras de suelo diferentes. En concreto, el examen de los minerales del suelo se ha sugerido como el principal método de clasificación forense de suelos inorgánicos.

Así mismo resulta relevante mencionar que los componentes sólidos de los suelos son minerales en un (95% aproximado) y un (5% aproximado) de materia orgánica; éste puede proveer información útil acerca del vínculo de una persona con un lugar de investigación forense por las características de la superficie de la tierra y por su diversidad de propiedades; por ejemplo, minerales, materia orgánica, microorganismos, naturaleza física de las partículas, tamaños y densidades (Villegas, 2010). En este contexto, el estudio de la huella química por medio de la recolección de muestras en diversas áreas geográficas o de una misma, pero en diferentes zonas, genera un análisis químico a detalle, informando sobre evolución y composición del suelo. Ahora bien, esta huella química también explica cómo la actividad humana influye en la composición y alteración química del suelo.

Además de que el suelo se compone principalmente de la materia orgánica e inorgánica, también ha sido caracterizado mediante la conformación de horizontes o capas, clasificados como A, B y C. La Soil Science Society of America (2024) refiere que: El horizonte o capa más profunda es la C, está formada por el lecho rocoso, que contiene la mayor parte de minerales del suelo; la capa B, que se distingue por ser una mezcla de rocas y partículas de diversos tamaños, en este horizonte podemos decir que hay carencia de materia orgánica; finalmente, el horizonte o capa más superficial es la A, donde se localizan las raíces de la vegetación, en esta capa abundará la materia orgánica, se diferencia del resto debido a que su color por lo general, es oscuro como producto de la materia orgánica en descomposición o por el humus.

Las características de cada una de las capas del suelo permiten la diversidad en los tamaños de las muestras, es decir, granos, componentes biológicos, polen, semillas, rocas, flora o fauna, entre otros, mediante estas particularidades el profesional forense obtiene información sobre la procedencia y las características del terreno, así mismo, las propiedades físicas, químicas y biológicas orientaran en cuanto al examen que se debe realizar (Ramon, 2022). Por ejemplo, una muestra extraída y analizada de la capa A no proveerá la misma información que una muestra recolectada del horizonte C, sin embargo, ambas pueden dotar de datos relevantes dentro de las investigaciones. El horizonte A orientará en cuanto a la vegetación propia de la zona o el color del suelo que sea común del lugar, de tal modo, que si hay cambios en el paisaje se pueda alertar de alguna intervención (ya sea humana o no); paralelamente el horizonte C orientará en cuanto a las rocas contenidas en el subsuelo identificando alteraciones o extracciones de este material para realizar exhumaciones en el lugar.

Por tales razones, los estudios del suelo se han convertido en una perspectiva de interés forense que valora su aplicación práctica en fenómenos delictivos con presencia de fosas clandestinas, estudios

⁵ Por intemperización se entiende: Proceso destructivo o grupo de procesos mediante los cuales los materiales terrestres y rocosos expuestos a los agentes atmosféricos en o cerca de la superficie terrestre, cambian de color, textura, composición, firmeza o forma, con un poco o sin transporte del material suelto o alterado [...] la intemperización incluye la fractura física y la descomposición química de las rocas y material suelto sobre la superficie terrestre, ocurre cuando esos materiales parentales son expuestos a las condiciones de la superficie terrestre, donde muchas rocas se vuelven vulnerables. (Sánchez, 2015)

en lugares abiertos relacionados a delitos o actividades ilícitas que requieran el estudio de estos sedimentos. No hay que olvidar que la complejidad de los estudios, experiencia del personal y retos propios de la ciencia deben atenderse y problematizar en aras de un procesamiento confiable.

Técnicas analíticas para los estudios de suelo

El siguiente apartado describe algunas de las técnicas y análisis aplicados a los estudios de suelo, los cuales desempeñan un papel crucial en la investigación forense al proporcionar información relevante sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Estas técnicas abarcan desde la prospección y observación en el lugar de investigación, pruebas de color y análisis fisicoquímicos de laboratorio, como análisis de textura y análisis multivariados, hasta procedimientos instrumentales más avanzados que emplean tecnologías como fluorescencia de rayos X y microscopio electrónico de barrido. Finalmente, se incluyen consideraciones importantes como la necesidad de una adecuada planeación y diseño de la investigación para la correcta selección de técnicas y análisis de suelo, la relevancia de contar con muestras de control para cotejo, la limitación de los resultados como elementos de coincidencia y no de identificación, y la oportunidad para estandarizar y contextualización en los procedimientos e informes relacionados con los estudios de suelo.

La elección del tipo de técnicas y metodologías aplicadas a los estudios de suelo responderán al caso en concreto en cuanto a alcances, límites y aplicaciones. El tipo de muestreo, análisis y pruebas a desarrollar dependen de la estrategia y preguntas de investigación forenses. En algunas intervenciones la observación entrenada es suficiente, no hay necesidad de utilizar equipo o materiales de laboratorio, ya que en estos casos las pruebas de color pueden resultar más convenientes, pues la necesidad en estos casos requiere únicamente describir una actividad inusual, descripción de accesos, cambio en el paisaje y suelos, siendo suficiente con la observación y por ende no requiere el uso de técnicas de laboratorio, en todo caso sería aplicable una técnica de prospección⁶. Por ejemplo, imaginemos un paisaje que esté compuesto principalmente por vegetación endémica del lugar, el terreno es suelo firme y no se ven alteraciones en el espacio, sin embargo, al adentrarse al lugar se visualiza un cuadrante donde la vegetación está por debajo del crecimiento del resto, así mismo, el suelo se vuelve irregular, esto indica que algo perturbo el lugar ya que no empata con el resto de la superficie y el crecimiento homogéneo de la vegetación. Mediante esa interpretación se puede determinar que la perturbación no es natural, más bien provocada por el humano.

Se pueden aplicar otros métodos para aumentar el poder de discriminación, pero no es necesario utilizar todos los métodos ya que dependerá de componentes como fragmentos de plantas, polen, esporas⁷ y diatomeas⁸, con énfasis en la importancia de las pruebas de detección que consisten en varias técnicas simples (Mondragón, 2024).

La interpretación del color del suelo es otra técnica de observación, la técnica aplicada es las tablas de colores Munsell que son: un sistema ordenado para identificar con precisión todos los colores que existen. Munsell basó su sistema en lo que definió como “equidistancia percibida”: la percepción del

⁶ La prospección es la exploración sistemática y exhaustiva con el fin de observar cualquier indicio en superficie o bien alteración del terreno que indique una posible fosa o hallazgo en superficie, dichas prospecciones también se pueden realizar en el estudio, examen o identificación de algún tipo de restos para su estudio en ciencias como la arqueología, la antropología, la paleontología entre otras. Cita en Polo-Cerdá, M., García-Prósper, E., Crespo, A., Márquez-Grant, N., García-Rubio, A., Armentano, N. y Muñoz, V., “Protocolo de búsqueda, levantamiento y exhumación de restos humanos”, Revista Internacional de Antropología y Odontología Forense, 2018, vol. 1, núm. 1, Enero 2018, pp. 7-23, disponible en: <https://aeaof.com/media/revista/1/1.%20PROTOCOLO%20DE%20B%20C3%9ASQUEDA,%20LEVANTAMIENTO.pdf> (fecha de consulta: 20 de junio de 2024).

⁷ Las esporas son unidades reproductivas especializadas formadas por una o varias células, que se producen sexual o asexualmente, estas son producidas principalmente por hongos, sin embargo, también pueden serlo por algunas plantas y bacterias. (Lozano, 2014)

⁸ Las diatomeas son algas unicelulares que se encuentran encapsuladas microscópicamente en “cristal”, la mayoría de ellas se encuentran en zonas iluminadas de sistemas acuáticos. (Cermeño, 2020)

color del sistema visual humano (Munsell, 2025). El sistema Munsell ayuda a comunicar de una forma precisa el color que se está viendo, por medio de una representación visual que se tiene en mente mediante un sistema estandarizado de colores. El color del suelo indica su composición en una determinada zona, interpretando según su color la aptitud de la tierra para el cultivo, calidad de agua e interpretación de suelos en el contexto forense.

El sistema de las tablas Munsell se interpreta mediante tres dimensiones: tono que es el color básico, valor que es la intensidad de luminosidad del color y croma que es el brillo. Con estos tres elementos se obtiene un valor estandarizado del color del suelo observado. La ventaja del uso del sistema Munsell es que se puede evaluar un suelo de manera rápida haciendo una valoración de los posibles componentes químicos del suelo, lo que reduce tiempo y costos. Una vez evaluado el suelo se determina si se requiere una mayor precisión mediante estudios de laboratorio que corroboren las concentraciones de materia orgánica, óxidos de hierro, presencia de potasio, potencial de hidrógeno entre otros elementos.

Los autores Ritsuko & Y Marumo (1996) en el artículo denominado: Validity of color examination for forensic soil, identification indicaron que el suelo puede ser "medido" por su color, así mismo el uso de color para el análisis es relevante ya que se puede interpretar la presencia de carbonatos, materia orgánica o compuestos metálicos (p. 201). Por ejemplo, un color rojizo se debe a la oxidación de los suelos; el color negro nos indica presencia de magnesio, aleaciones de hierro o presencia de materia orgánica; coloraciones azules o púrpuras indican fosfato de hierro, así mismo tonalidades azules indican acidez en el suelo y colores blanquecinos nos orientan a pensar en exceso de salinidad o existencia de caliza. El análisis del color y las pruebas de distribución del tamaño de partículas son fáciles de realizar, teniendo un alto poder de discriminación cuando se usan en combinación. (Sangwan, 2020)

Según Sheila Ramón (2022) el análisis del color se realiza sin tratar, tal como se encuentra en el lugar de investigación, registrando el color que determina las tablas Munsell, sin embargo, debido a que la humedad cambia el color del suelo en ese momento se registra la humedad que presenta la muestra referida para conocer su porcentaje de humedad, posteriormente se realizará otro análisis del color del suelo sin humedad y se registrará el número que la tabla Munsell indique. (p.23)

Por otro lado, dentro de los análisis de los estudios físicos del suelo los análisis de textura ayudan a determinar las características morfológicas del suelo. El suelo se compone de diversas partículas, principalmente arena, arcilla y limo, así mismo el análisis de textura o granulometría se relaciona con los procesos fisicoquímicos que modifican y/o alteran el suelo. Los métodos usados para el análisis se denominan de Bouyoucos o hidrómetro y de pipeta, este último realiza la estimación del contenido de arcilla en el suelo y, el hidrómetro nos indica que el sedimento proporcional al tamaño de la partícula del terreno, por medio de la densidad.

Las muestras se analizan para determinar sus características texturales por medio del microscopio. Se hace una preparación para separar la materia orgánica botánica como hojas, raíces, polen y la materia orgánica de animales principalmente insectos. En esta preparación también es posible encontrar restos de material artificial o humano como papel, plástico, fibras, entre otros (Ramon, 2022). El análisis de la textura determina la morfología de los clastos⁹ especificando si es muy angular, angular, subangular, subredondeado, redondeado o bien redondeado, lo que representa la similitud entre los clastos en el conjunto de la muestra. Así mismo de acuerdo con Ramon (2022) se clasificará

⁹ Son acumulaciones mecánicas de partículas o sedimentos de rocas preexistentes denominadas "detritus" o "clastos" formados por los materiales producto de la intemperie y la erosión en la superficie; éstos son transportados y finalmente depositados, por lo que presentan una textura denominada clásica. Estas rocas se dividen en una gran variedad de tipos, los cuales se caracterizan por el tamaño de sus partículas constitutivas. (Servicio Geológico Mexicano, 2014)

la muestra según sea grava o arena en sus diferentes texturas ya sea muy gruesa, gruesa, media, fina o muy fina y si presenta limo o arcilla. (p.24)

Posteriormente al examen cualitativo realizado por la persona experta, se lleva a cabo un análisis multivariado¹⁰, donde se pueden agrupar variables como temperatura, humedad relativa, tipo de vegetación, pH del suelo, temporada estacional. En esta etapa, según la necesidad se derivan las muestras seleccionadas a otros especialistas, por ejemplo, la submuestra de polen se envía al polinólogo para que haga lo correspondiente a dicha muestra, los insectos encontrados podría estudiarlos el entomólogo y así con cada submuestra que fue seleccionada.

Debido a que los minerales son un componente importante de los suelos, el examen mineralógico es esencial en la identificación, el uso de rayos X contribuye a entender los componentes químicos y mineralógicas de las muestras, ya que, genera información tal como aquellos minerales que contiene la muestra o las fases de esta, además de identificar y cuantificar si la muestra contiene compuestos tóxicos que puedan alterar o modificar el resultado esperado.

La fluorescencia de rayos X (FRX) es una técnica analítica que determina la composición química de una amplia variedad de muestras de tipo sólidos, líquidos, lodos y polvos sueltos. Esta técnica mide la longitud de onda y la intensidad de la "luz" (los rayos X) emitida por átomos energizados en la muestra, provocando la emisión de rayos X fluorescentes con energías características de los elementos que presenta la muestra, las cuales se registran en un diagrama de picos que pueden ser medidos y comparados (Malvern Panalytical, 2024). La FRX determina la presencia de nutrientes elementales y metales pesados en el suelo. La presencia de elementos químicos en el suelo son el resultado de procesos y efectos naturales. Sin embargo, la alta concentración de metales pesados son producto del desarrollo de actividades como minería, agricultura, ganadería y trabajo industrial. Esta composición química de nutrientes naturales y metales pesados hace singular y característico a un suelo, lo que ayuda a clasificarlo mediante la técnica de FRX. (RAISA, 2024)

Entre las técnicas instrumentales, el uso del Microscopio Electrónico de Barrido o SEM por sus siglas en inglés Scanning Electron Microscope (SEM-EDX), en el campo forense es utilizado principalmente para determinar los elementos que dejan los residuos producto de un disparo emitido por un arma de fuego, sin embargo, también se puede utilizar para conocer los elementos orgánicos e inorgánicos que componen las muestras de suelo.

El SEM-EDX utiliza un haz de electrones en lugar de un haz de luz para formar una imagen con una gran profundidad de campo que enfoca la mayor parte de la muestra, produciendo imágenes de alta resolución. La muestra analizada en el SEM-EDX es recubierta con una capa de carbón o una capa delgada de un metal como el oro para darle propiedades conductoras a la muestra, para ser barrida con los electrones acelerados. Un detector mide la cantidad de electrones enviados que arroja la intensidad de la zona de muestra, siendo capaz de mostrar figuras en tres dimensiones, proyectadas en una imagen digital con una resolución entre 4 y 20 nanómetros (Universidad de Burgos, 2020).

Para la Dirección Nacional de Ciencias Forenses (2020) el SEM-EDX realiza un análisis químico elemental para conocer la composición química de la muestra y un análisis químico estructural que determina las características superficiales observando la topografía de la evidencia, la combinación de estos análisis hace que la interpretación de las muestras sea más contundente. El SEM-EDX ofrece imágenes digitales de la muestra acompañados de una gráfica de espectros que le dan mayor certeza al estudio. Por ejemplo, en una muestra biológica puede distinguir las diatomeas unicelulares para

¹⁰ Análisis multivariado se refiere a encontrar patrones de similitud entre diversos objetos, partiendo desde un base de variables que sea elegida, dicho análisis permite formar pequeños grupos donde se comparten características similares para que se identifiquen entre sí y se pueda hacer una discriminación con el resto de los grupos. (Palacio et al., 2020)

identificar la procedencia ya sea de un cuerpo, prendas de vestir y diversos materiales, además de indicar la procedencia, también ofrece elementos para indicar si el cuerpo u objetos fueron movidos o tuvieron contacto en diferentes zonas. (Paralab, 2019)

Algunas consideraciones que deben ser tomadas en cuenta respecto al uso de instrumentos, pruebas y métodos utilizados en el análisis y estudio de los suelos para las interrogantes forenses y la construcción de hipótesis sostenibles son las siguientes. Primeramente, es pertinente recordar que se debe planear estratégicamente el uso de cualquiera de estas técnicas e instrumentos, para ello un buen equipo de trabajo en investigación permitiría esta actividad, es posible que en algunas investigaciones con la prueba de color utilizando las tablas Munsell sea suficiente para contestar las preguntas de investigación, quizá en otras investigaciones es necesario analizar las muestras con el Microscopio Electrónico de Barrido para confirmar el estudio de dicha muestra, es decir, no se puede aplicar como protocolo el uso todos los instrumentos a todas las muestras en todos los casos, se debe percibir que la investigación sea bien planeada, con un buen diseño de investigación forense y una estrategia conjunta de expertos involucrados.

En segundo lugar, en cualquier actividad de identificación resulta indispensable contar con una muestra de referencia para realizar la comparación. En el caso de un estudio de suelos, se parte de una muestra localizada en un objeto identificado como indicio, conocida como muestra dubitada, la cual necesita vincularse con una muestra control obtenida del posible lugar de origen. Además, en situaciones donde exista una explicación alternativa sobre la procedencia de la muestra dubitada, se puede tomar una tercera muestra del lugar que sido utilizado como explicación coartada. Este procedimiento permite evaluar la correspondencia entre muestra dubitada, muestra control y muestra coartada. Es importante señalar que, aunque la composición del suelo puede mostrar una alta similitud entre las muestras comparadas, no es posible afirmar con certeza que provienen del mismo lugar, sino únicamente determinar una alta coincidencia en sus componentes sedimentarios.

En tercer y último término, a pesar de los avances y la incorporación de las geociencias en los análisis de suelos, existen pocas directrices sobre cómo los geólogos forenses u otros profesionistas pueden redactar sus informes en torno al tema, es decir, aún falta homologar ciertos criterios, estandarizar algunas prácticas, además de conocer a nivel de investigación que su aplicación bien fundamentada ayuda en diferentes contextos tales como: esclarecimiento en atropellos donde haya restos de algún suelo en las llantas del vehículo o en las ropas de la víctima, en agresiones sexuales y secuestros donde se pueden establecer coincidencias de muestras de suelo que presentan víctimas, lugares, evidencias y otras personas, delitos contra el medio ambiente para establecer la procedencias de ciertos contaminantes, minería ilegal o explotación de recursos, rutas de envío de sustancias psicotrópicas, entre otras aplicaciones.

Metodología de trabajo criminalístico y de prospección en los estudios de suelo en las UECA

La metodología de trabajo en los estudios de suelos está relacionada con el trabajo criminalístico en el procesamiento del lugar de investigación, un trabajo armonioso y de comunicación para intervenir el espacio físico de investigación es crucial; esto permite que la intervención siga una planeación estratégica para que las actividades de otras áreas de investigación que más adelante sean necesarias se realicen conforme a los requerimientos que dicte el caso en particular. Por esta razón, el presente artículo expone la metodología empleada en el proyecto FONDEC en consonancia con la metodología que se recomienda sigan los estudios del suelo.

Teniendo en cuenta que las UECA próximamente serán unidades destinadas a capacitar, investigar, estudiar y enseñar las ciencias que se relacionan en la intervención de lugares a campo abierto como los estudios de suelo, criminalística de campo, fotografía, antropología forense, medicina y todas

aquellas que se involucran en la comprensión de los espacios a estudio y análisis con objetivos forenses.

En primer lugar, se presentó a las autoridades de la Facultad de Derecho de la Universidad Autónoma de Querétaro el desarrollo metodológico del proyecto FONDEC sobre los estudios del suelo, junto con las primeras actividades de análisis. Además, se expuso la propuesta y la necesidad de contar con un área destinada a la realización de estos estudios, destinada como una unidad para enseñanza, capacitación e investigación, a este espacio se le denominó Unidades Experimentales a Campo Abierto (UECA).

Una vez que se aprobó la propuesta y se designó el espacio; en mayo de 2023 comenzaron las primeras actividades de intervención siguiendo una pauta metodológica que atendiera a los estudios de suelo y la criminalística de campo. Esta intervención primaria fue de reconocimiento y prospección que consistieron en observación y descripción del espacio físico, ubicación del lugar, colindancias, vías de acceso, pasos vecinales, posibles accesos vehiculares, puntos de riesgo, tipo de vegetación, identificación del predominio del tipo de suelo, perturbaciones y características del mismo.

La investigación en los estudios de suelos se enfoca principalmente en describir y caracterizar los suelos perturbados por actividades generalmente humanas; un suelo perturbado es aquel que ha sido modificado ya sea por remoción, extracción, cambio de contenido u otra actividad que se realizó o se realice ya sea por la agricultura, ganadería, minería, movimientos urbanos como las actividades de construcción humana, entre otros y; en contextos forenses se pueden modificar los suelos por exhumaciones e inhumaciones ya sean legales o ilegales.

La siguiente intervención se realizó en junio del 2023, su objetivo fue tomar muestras del suelo de las UECA que posteriormente se remitieron al laboratorio para conocer su perfil químico. Sin embargo, antes de comenzar se advirtió la importancia de planear la toma de muestras, escoger las técnicas de intervención, distribución del espacio y mejor representatividad del suelo en el lugar; esto último fue relevante porque resalta la necesidad ya conocida de observar, planear y establecer la mejor forma de procesar e intervenir en espacios con estas condiciones.

De acuerdo con Pérez et al., (2019) ámbito forense el examen del suelo consta de cuatro pasos: investigación de la escena de intervención, análisis de las muestras de laboratorio, comparación de los resultados y evaluación e interpretación de los mismos.

Así mismo, se atendieron las recomendaciones establecidas por el "Best Practice Manual for the Forensic Comparison of Soil Traces"¹¹ publicado por ENFSI, Red Europea de Institutos de Ciencias Forenses, el manual recomienda lo siguiente: "El examinador debe conocer y cumplir la legislación local para el procesamiento de las muestras" (ENFSI, 2019, p. 14) , en este caso las principales recomendaciones son atendiendo a las directrices de la cadena de custodia y actividades del procesamiento en los lugares de investigación forense. Establecer una estrategia de muestreo, actividad fundamental que planea las mejores actividades según las necesidades de cada caso. Atención a los aspectos de bioseguridad por parte del personal que procesa, evitando riesgos patológicos, enfermedades endémicas, procesar evidencia infectocontagiosa o contaminantes y toxicidades que el suelo pueda tener, por otro lado, evitar la contaminación cruzada entre las muestras. (ENFSI, 14-21)

Con base en las recomendaciones previas y en alineación con los objetivos del proyecto FONDEC, a continuación, se describe la preparación de la intervención práctica para realizar la toma de muestras en las Unidades Experimentales de Campo Abierto (UECA). Este procedimiento permite implementar

¹¹ "Manual de mejores prácticas para la comparación forense de rastros de suelo."

parte de la metodología y técnicas destinadas al manejo de evidencia de suelos, identificar buenas prácticas en la recolección de muestras y, con los resultados obtenidos, disponer de información detallada y caracterización precisa del suelo de las UECA para futuras intervenciones e investigaciones.

La preparación del equipo e instrumentos se llevó a cabo en tres etapas: ubicación de las zonas de muestreo, recolección de muestras y documentación del procedimiento. Para la ubicación y trazado de las muestras, se empleó un navegador GPS¹² marca Garmin para geolocalizar los puntos de muestreo, así como una cinta métrica de fibra de vidrio de 100 metros tipo cruceta y un flexómetro de 10 metros para realizar mediciones precisas del área de trabajo. Además, se utilizaron banderines de seguridad para marcar los puntos de interés y guantes de nitrilo y carnaza para la protección de las manos durante la recolección.

En la fase de recolección, se usaron herramientas especializadas como una cuchara de hoja triangular de albañilería, herramientas de jardinería y una picoleta de albañilería para la extracción del suelo. Las muestras fueron embaladas en bolsas plásticas con sellado hermético y bolsas de papel estraza para su adecuada conservación. Finalmente, para la documentación del procedimiento, se emplearon un marcador indeleble negro, una tabla de trabajo y una cámara fotográfica, asegurando un registro detallado de la actividad. Todos los materiales e insumos fueron transportados en una caja de herramientas para su adecuado manejo y resguardo.

Con el material de trabajo nos constituimos en el espacio físico donde se realizaron las actividades de prospección y procesamiento del lugar. Los objetivos establecidos fueron: Planear la distribución en la toma de muestras, identificar y ubicar cada espacio seleccionado para tomar las muestras, recolectar las muestras, realizar el embalaje pertinente, llenar la cadena de custodia de las muestras y documentar todo lo anterior.

Al momento de planear la distribución para la toma de muestras fue necesario un diálogo para coordinar el uso de las técnicas que ofrecen los estudios de suelo con las actividades de prospección y las técnicas de la criminalística de campo para el procesamiento del lugar, de este diálogo y planeación se eligió una distribución en coordenadas cartesianas, trazando una línea X y otra línea Y. El punto de partida o punto delta de la intersección se estableció con la lectura del equipo GPS, la coordenada fue 356648, 2280998 a 1969 m.s.n.m. con rumbo fijo a 270° Oeste. Partiendo del punto delta se trazaron las líneas X e Y utilizando la cinta para medir de 100 metros, se colocaron los banderines de seguridad cada 2 metros según la lectura de la cinta, las muestras iniciaron del punto delta hacia el extremo contrario. A manera de ejemplo la muestra identificada como MX1, donde M corresponde a muestra, X corresponde a la línea trazada y el 1 es el número de muestra obtenida de dicha línea; además, cada zona para la toma de muestra fue georreferenciada con la lectura obtenida del GPS conforme se levantaban, en el caso de la muestra MX1 las coordenadas fueron 356646,2281000 a 1966 m.s.n.m. y así sucesivamente con cada muestra.

Con la documentación escrita y fotográfica de las áreas para tomar las muestras se realizó el proceso de recolección. En cada área marcada con un banderín se excavó el suelo con una picoleta de albañilería hasta una profundidad de entre 10 y 15 cm. Antes de levantar la muestra se rotuló el embalaje. En esta ocasión, se utilizaron bolsas de plástico, en las cuales se colocaron los siguientes datos: fecha, hora de recolección e identificación de la muestra (por ejemplo: MX1). Con ayuda de la cuchara triangular, se recolectó en cada bolsa rotulada una cantidad de aproximadamente 1 kilogramo de tierra. Este procedimiento se repitió con cada muestra. Una vez recolectadas las muestras se registró la cadena de custodia para garantizar el seguimiento y control, conforme al procedimiento habitual establecido por la criminalística de campo.

¹² *Global Positioning System*, en español: Sistema de Posicionamiento Global.

Las muestras fueron enviadas al laboratorio de calidad de agua y suelo, perteneciente a la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro. En dicho laboratorio, se llevaron a cabo seis análisis para el estudio de la huella química: electroquímico (pH), electroquímico (conductividad eléctrica), materia orgánica, Bouyoucos (textura), gravimétrico (contenido de humedad) y Olsen (fósforo). Los análisis fueron realizados por la M.C. Alba Díaz Pereira, en compañía de Estela Teresita del Niño Jesús Mondragón García, becaria del proyecto FONDEC.

La actividad descrita se replicó en tres intervenciones adicionales, siguiendo su respectiva metodología: planeación, prospección y procesamiento, documentación, recolección de muestras y envío al laboratorio. Se enviaron un total de cincuenta muestras, que constituyen la base para el análisis de la huella química del espacio físico establecido como las UECA. Hasta la fecha, está pendiente el análisis e interpretación de los resultados de manera conjunta con los involucrados en el proyecto FONDEC, lo que permitirá definir una ruta crítica para las próximas actividades.

RESULTADOS

En esta primera parte del proyecto FONDEC destacan tres consideraciones relevantes, la primera consideración fue comprender el vínculo necesario entre las actividades de prospección, mediante los estudios de suelo y las actividades del procesamiento del lugar conforme a la criminalística de campo en la investigación forense. Para ello, se plantea la necesidad de observar el suelo como una evidencia compleja, comprender su composición con relación a la zona, el paisaje, las características del lugar y relacionar los estudios de suelo con la interpretación técnica y científica del espacio de investigación criminalística, específicamente en lugares abiertos.

La segunda consideración consiste en la importancia de conocer, aplicar y adecuar los protocolos o manuales que guíen las actividades de la prospección y el procesamiento en los lugares de investigación forense que requieran un estudio y análisis de la evidencia del suelo. Estas guías constituirían una pauta metodológica para las actividades de campo, orientando la interpretación y documentación de las perturbaciones observadas con relación al fenómeno estudiado. Asimismo, incluirían recomendaciones sobre los estudios y los análisis de laboratorio a aplicar en las muestras, de acuerdo con las preguntas e hipótesis forenses formuladas para cada caso.

La tercera consideración surge de los estudios del suelo y su procesamiento, cuyo propósito es identificar las condiciones prístinas del espacio donde se encuentran las UECA. Lo anterior establece las bases iniciales para caracterizar el lugar mediante la obtención de su huella química representativa, con el objetivo de que, en el futuro, puedan llevarse a cabo perturbaciones experimentales y dirigidas con fines de enseñanza, investigación y capacitación. Disponer de esta información primaria permitirá cotejar los cambios que sufre el suelo y su entorno una vez modificados, tomando como base los análisis tafonómicos y edafológicos que podrían desarrollarse en futuras investigaciones.

Tabla 1

Resultados estudios de suelo UECA

Procesos	Resultados
Planeación	Vinculación entre prospección, estudios de suelos y aplicación de procesamiento del lugar con auxilio de aplicación técnica y científica de la criminalística de campo en la investigación forense. Considerar el suelo como una evidencia compleja, así mismo como un elemento íntegro que incluye otros aspectos como la zona, paisaje, características del lugar, colindancias, clima, etc.

Prospección	Reflexionar sobre la pertinencia de conocer, aplicar y adecuar protocolos y manuales en las actividades de prospección y procesamiento en los lugares de intervención forense donde se advierta el suelo como una evidencia en el área. Identificar condiciones naturales del espacio donde trabajen las UECA. Se obtienen bases para poder caracterizar el lugar por medio de la obtención de su huella química representativa
Procesamiento	
Documentación	Pertinencia de la correcta aplicación de la guía nacional de cadena de custodia, afirmando la relevancia de documentar los procedimientos de forma escrita, fotográfica, el uso de tablas de trabajo y etiquetados adecuados para la individualización de muestras, así como la interpretación de dicha documentación en cuanto a la relación de las perturbaciones observadas con el problema planteado.
Recolección de muestras	Emisión de recomendaciones sobre estudio y análisis de las muestras en laboratorio según cuestionamientos y demandas particulares.
Envío al laboratorio	

Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN

Partiendo del análisis teórico de los estudios de suelos forenses previamente desarrollado, y por medio de la experiencia práctica realizada en las Unidades Experimentales a Campo Abierto (UECA), el suelo se reconoce como una evidencia compleja, dinámica y contextual que ofrece información relevante para reconstruir y comprender los fenómenos asociados a los hechos delictivos investigados, de manera particular en espacios de investigación en contextos de enterramientos irregulares o perturbaciones intencionales de los suelos para actividades delictivas o ilícitas. Lo anterior supera la concepción tradicional de los estudios de suelos de manera pasiva, la literatura y la práctica la visualizan de forma dinámica, aplicable a diversas pruebas forenses y en contextos diversos. Lo anterior revitaliza la investigación forense con información relevante que posibilita una perspectiva más amplia a las investigaciones forenses y, por ende, a la búsqueda de justicia. De manera concreta a partir de esta investigación, entender los estudios de suelo de forma dinámica significa contar con un conocimiento suficiente y perspicaz para interpretar los paisajes y perturbaciones de los suelos por parte del personal pericial que procesa los lugares de investigación con interés forense, siendo capaces de reconocer perturbaciones y alteraciones significativas en el suelo en una primera observación del paisaje y posibles áreas de interés por dichos cambios, tales como la identificación de características físicas generales de los suelos, áreas de remoción de suelo, alteración de suelo y cambios en la vegetación que indicarían las primeras interpretaciones para los estudios de los suelos y las primeras acciones en la investigación.

Así mismo, el personal que se encuentre procesando el espacio de investigación requiere contar con la capacidad de discernir y planificar los análisis forenses de suelos según las características de la investigación, quizá en algunos casos requiera simplemente una clasificación de la muestra de suelo con las tablas Munsell, o en otros casos requiere de un análisis mediante Scanning Electron Microscope (SEM-EDX); en el primero, el costo y la practicidad hace que el experto lo pueda realizar en el lugar, en el segundo el equipo y tecnología para el análisis requiere la intervención de otros expertos y análisis de laboratorio especializado. No se trata de aplicar todas las pruebas en todos los casos, el experto cuenta con la capacidad y el conocimiento para discernir que tipo de prueba se necesita según los requerimientos de la investigación.

La experiencia metodológica aplicada en el proyecto de investigación en las UECA pone de manifiesto la necesidad de integrar de forma estandarizada la prospección y el procesamiento en los estudios de

suelo con fines forenses. La prospección como actividad de observación inicial que los estudios de suelo utilizan y el procesamiento como actividad estandarizada en las investigaciones criminales y delictivas que la criminalística establece, quizá esta integración pase desapercibida, pero, podría hacer la diferencia en las investigaciones criminales. La integración temprana de la prospección y el procesamiento de manera conjunta en los estudios de suelo ofrecería incluso una lectura más amplia del espacio físico de investigación. La reflexión que se hace es que incluso este entrenamiento de observación en la prospección y procesamiento no solamente beneficiaría la investigación en espacios abiertos, también en espacios cerrados ofrecería pautas y metodologías de análisis que involucren el análisis de suelos y la comprensión general del lugar de investigación independientemente si el espacio fuera abierto o cerrado.

Las actividades de prospección y procesamiento planificadas fueron relevantes en la experiencia práctica llevada a cabo al momento de plantear las actividades para intervenir en las UECA. La observación planificada incluye la observación entrenada del paisaje, la identificación de anomalías en la vegetación y en la estructura del suelo, lo que facilitó la delimitación de zonas de interés forense y optimizaron la toma de decisiones respecto a la intervención del lugar. En este sentido, el suelo deja de ser objeto de evidencia posterior a su análisis, ahora también podría orientar en la estrategia de investigación desde sus fases iniciales. Incluso una planeación estratégica que incluya la prospección y el procesamiento hace que se tome en cuenta características del espacio antes, durante y después de intervenir el lugar, propuestas de trabajo e intenciones analíticas posteriores; con esta lectura del lugar en relación con las hipótesis de trabajo que rondan alrededor de la investigación forense.

Sin embargo, esta investigación también hace evidente y encuentra necesario señalar algunos límites y alcances de los análisis de suelo desde una perspectiva probatoria responsable. Si bien, las técnicas analíticas disponibles permiten establecer altos grados de coincidencia entre muestras, los estudios de suelo no deben presentarse como pruebas de identificación absoluta, sino como elementos de vinculación y contextualización que fortalecen las hipótesis de investigación. Esta precisión conceptual resulta fundamental tanto para la correcta interpretación científica como para la adecuada comunicación de los resultados en contextos judiciales. En este mismo sentido, el uso responsable de los análisis de suelo no significa aplicar las pruebas disponibles en todos los casos, significa conocer los alcances y límites de las pruebas disponibles y con ese conocimiento plantear y planificar la intervención adecuada según los requerimientos que exija cada caso que se investiga.

Finalmente, la brecha entre el desarrollo teórico especializado en los estudios de suelo y una aplicación sistemática en las instituciones forenses. La experiencia práctica en la intervención de las UECA demuestra la necesidad de elaborar manuales, guías y protocolos para la prospección y procesamiento de los lugares de investigación con intervención en suelos. Del mismo modo los estudios de suelo se han subutilizado o no hay un conocimiento amplio de su alcance y potencial, lo que ha limitado su utilización en la orientación de la investigación, sustentar hipótesis de trabajo y como evidencia plena de las investigaciones con mayor atención a los hechos que involucran enterramientos o perturbaciones no autorizadas y delictivas. Un verdadero avance en la homologación de protocolos de los estudios de suelo, ampliaría su utilización sistemática y no accesoria en las investigaciones criminales, se generaría una estandarización de los procesos en cuanto a identificar, analizar e interpretar perturbaciones en lugares de interés forense, además recalcar la importancia de tener espacios controlados como las UECA que fortalecen la enseñanza, la capacitación, la investigación aplicada y replicable que incidan en problemáticas reales y contextuales del entorno forense, abriendo nuevos horizontes para su implementación en la formación académica y otras ciencias.

CONCLUSIÓN

Los estudios de suelo en el contexto forense continúan evolucionando, tomando importancia y demostrando la relevancia de sus aportes en la investigación criminal, aportando información

probatoria de valor identificativo y reconstructivo, así como una buena planeación colaborativa para el procesamiento de los lugares de investigación forense, no solamente en los lugares abiertos, sino en cualquier espacio de investigación. A continuación, se presentan las conclusiones derivadas del análisis teórico y de las actividades prácticas experimentales desarrolladas.

1. Los estudios del suelo no deben concebirse como aportes pasivos en la investigación, son estudios que ofrecen información forense dinámica y contextual, particularmente en escenarios que involucran enterramientos irregulares. Sin embargo, su aporte ofrece información en alteraciones intencionales del espacio físico de procesamiento o en actividades que modifican el paisaje y que orientan la investigación. Además, en este aporte reconstructivo los estudios tafonómicos y edafológicos forenses contribuyen para la explicación posmortem en casos de enterramientos no regulares y delictivos, así como en la interpretación de manifestaciones y evolución de las heridas y su comportamiento tafonómico según las características del suelo. Es por ello que el análisis de las características inorgánicas como la mineralogía, la química, las propiedades físicas que determinan la estructura, color y textura del suelo; así como el análisis de las características orgánicas como los fragmentos de plantas, polen de las plantas e insectos, han demostrado ser una herramienta no solamente para la identificación de sedimentos que permite conocer la trazabilidad de muestras encontradas y cotejadas entre los suelos y evidencias u objetos, también en el aspecto reconstructivo y explicativo de los fenómenos asociados a las actividades delictivas.

El trabajo colaborativo temprano entre la prospección y el procesamiento en la intervención de espacios físicos de investigación, aumentaría la calidad de las investigaciones forenses. Bajo esta lógica articulada entre los estudios de suelo, la criminalística de campo y las geociencias forenses fortalecería de manera relevante la observación entrenada y perspicaz, la identificación temprana en la perturbación del paisaje y suelos y la interpretación de la actividad bajo los requisitos legales y técnicos que el procesamiento del lugar establece; de esta manera las decisiones operativas que se tomen antes, durante y después de intervenir optimizarían las líneas de investigación mediante los análisis forenses para contribuir al esclarecimiento de los hechos y aportar información reconstructiva e identificativa.

El uso responsable y estratégico de los estudios de suelo exige un criterio pericial por parte de los expertos que intervienen en el lugar de investigación, que les permita discernir mediante conocimiento y entrenamiento los análisis existentes, sus límites, alcances y con base a ello se tomen las mejores decisiones de investigación y análisis. Las técnicas y pruebas forenses aplicadas a los estudios del suelo abarcan desde procedimientos básicos como la metodología en la prospección del lugar, análisis de color, distribución del tamaño, textura o granulometría; hasta el uso de tecnologías avanzadas como los rayos X, los análisis geoquímicos y la microscopía electrónica de barrido, que generan resultados precisos. Sin embargo, para que estos resultados sean alcanzados la investigación forense debe contar con una planificación bien estructurada en la prospección y procesamiento del lugar. Además, con base en la investigación y las hipótesis planteadas para cada caso, es preciso el diseño de una estrategia adecuada para aplicar las pruebas necesarias, asegurando una correcta intervención en la obtención de la información. Aunque se tiende a pensar que el uso de tecnología más avanzada mejoraría automáticamente la investigación del caso, esto no siempre es así. Existen pruebas más simples y altamente discriminativas que pueden ser claves en ciertas etapas de la investigación.

A partir de la revisión teórica especializada y de la experiencia práctica realizada en las Unidades Experimentales a Campo Abierto, se encuentra que los estudios del suelo tienen una serie de desafíos que son importantes mencionar, en primer término, existe poca formación y especialización en el uso de esta ciencia cuando en México los aportes que podría ofrecer serían sustanciosos debido a las características de los fenómenos delictivos relacionados a enterramientos clandestinos. En segundo término, de lo anterior no hay una aplicación estandarizada base que sea de uso general en las

instituciones que investigan. En tercer término, se requiere de una capacitación amplia de los alcances y límites de los estudios del suelo, uso de sus técnicas y observancia en la estrategia para la aplicación de dichas pruebas forenses. Por último, es necesario profundizar en la explicación de cómo estos estudios se presentan y fundamentan como prueba forense en los tribunales judiciales.

Como conclusión respecto al presente proyecto FONDEC que en esta primera incursión práctico experimental permitió sentar las bases teóricas en la aplicación de un espacio denominado UECA, demostró el valor de contar con espacios donde se desarrolle la enseñanza, la capacitación y la investigación. Se reconoce la importancia de conocer las actividades de prospección en los lugares de investigación desde los estudios de suelo en consonancia con la intervención de la criminalística de campo. Esta investigación preparó el terreno con la información obtenida de las muestras enviadas al laboratorio para conocer las condiciones prístinas del terreno, y en un futuro cuando se diseñen las actividades de investigación se tengan como referente los resultados iniciales con las alteraciones y perturbaciones provocadas de manera intencional por las investigaciones propuestas, promoviendo de igual forma la participación de facultades interesadas en el tema. Por último, lo que esta investigación demostró fue la necesidad de desarrollar manuales de capacitación en la intervención para los estudios de suelos en las investigaciones forenses, que contenga pautas de actuación, recomendaciones básicas, guías metodológicas, la identificación de los límites y los alcances de sus resultados, además de la interpretación correcta de los mismos. Avanzando hacia la posibilidad de elevar la calidad científica con una incidencia relevante para la procuración, administración y acceso a la justicia.

REFERENCIAS

- Acosta & Paolini, J. (2006). Dinámica de la biomasa microbiana (C y N) en un suelo de la península de Paraguaná tratado con residuos orgánicos. *Multiciencias*, 6 (2), 180-187.
- Arias, F. G. (2012). El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica (6ª ed.). Episteme,
- C.A. <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
- Bergsuen, E. (2012). An introduction to forensic geoscience (2.a ed). Wiley-Blackwell. <https://books.google.com.mx/books?id=DuoHHh-eIFcC&lpg=PP1&hl=es&pg=PR4#v=onepage&q&f=false>
- Buol, S.W., Hole, F.D & McCracken, R.J. (2004). Génesis y clasificación de suelos (2.a ed). Trillas.
- Caballero, C. (2024). Edafización ó formación de Suelo, Notas sobre Intemperismo y Edafización para el curso de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias UNAM, Licenciatura en Biología. México, UNAM. <https://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/cursos/GuiaNotasEdaf.html>
- Carter, D. & Tibbett, M. (2024). Cadaver Decomposition and Soil: Processes. En *Soil Analysis in Forensic Taphonomy: Chemical and Biological Effects of Buried Human Remains*. CRC Press.
- Cermeño, P. (2020). Las diatomeas y los bosques invisibles del océano. Editorial CSIC.
- Dávila-Villegas & Marvin, J., (2010). Procedimientos de análisis de suelos en una investigación criminal. Segunda parte. Análisis y experimentos. *Revista Electrónica Ingeniería Primero*, 15.
- Dirección Nacional de Ciencias Forense. (2020). Lectura introductoria: Microscopía electrónica de barrido (MEB), Ecuador.
- European Network of Forensic Science Institutes (ENFSI). (2019). Best Practice Manual for the Forensic Comparison of Soil Traces, version 1, ENFSI.
- Fitzpatrick, R. & Donnelly, L. (2021). An introduction to forensic soil science and forensic geology: a synthesis, *Geological Society* (492). <https://doi.org/10.1144/sp492-2021-81>.
- Fitzpatrick, R., Raven, M. & Forrester, S. (2024). A Systematic Approach to Soil Forensics: Criminal Case Studies Involving Transference from Crime Scene to Forensic Evidence, en Ritz, K., Dawson, L., Miller, D. (2009) (eds.), *Criminal and Environmental Soil Forensics*. Springer.
- Fløjgaard, C., Gulbert-Frøsløv, T., Brunbjerg, A. K., Bruun, H. H., Moeslund, J., Hansen, A. J. & Ejrnaes, R. (2019). Predicting provenance of forensic soil samples: Linking soil to ecological habitats by metabarcoding and supervised classification. *Plos Ones*, 14(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202844>.
- Gallego-García, D., Marín-Toro, J. J. & Alzate-Buitrago, A. (2025). Efectos del material parental y de las propiedades físico-mecánicas en la fertilidad de los suelos. *Repositorio Institucional de la Universidad Libre*, (5), 1-23.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.

Instituto Geológico y Minero de España. (2025). Tafonomía. Consultado el 14 de enero de 2025. <https://web.igme.es/epvrf/Fonelas1/Tafonomia.aspx>

Lara-Barajas, I. D. (2008). Fundamento de antropología forense. Técnicas de prospección, exhumación y análisis de restos óseos en casos forenses. Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Lozano-García, S. (2014). UF0006: Determinación del estado sanitario de las plantas, suelo e instalaciones y elección de los métodos de control. Editorial Elearning S.L.

Malvern Panalytical, (2024). Fluorescencia de rayos X (XRF). Consultado el 29 de diciembre de 2024. <https://www.malvernpanalytical.com/es/products/technology/xray-analysis/x-ray-fluorescence>

Yoshiteru, M. (2003). Forensic Examination of soil evidence, Japanese journal of science and technology for identification, 7(2), 95-111.

Mercado-Salomón, A. (2022). Guía para la valoración judicial de la prueba pericial en material de medicina forense. Dirección General de Derechos Humanos de la Suprema Corte de Justicia.

Mondragón-García, E. T. J. (2023). Protocolo de intervención para muestreo de suelo en las ciencias forenses y su aplicación para determinar la huella química por medio de una experimentación en el área académica. Universidad Autónoma de Querétaro.

Munsell Color. (2024). How Color Notation Works. Consultado el 29 de noviembre de 2024. <https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2025). ¿Qué es el suelo? FAO. Consultado el 29 de noviembre de 2024. [https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/#:~:text=El%20suelo%20es%20el%20producto,\(rocas%20y%20minerales%20originarios\)](https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/#:~:text=El%20suelo%20es%20el%20producto,(rocas%20y%20minerales%20originarios))

Palacio, F., Apodaca, M. J. & Crisci, J. (2020). Análisis multivariado para datos biológicos. Teoría y su aplicación utilizando el lenguaje R. Fundación de Historia Natural Félix de Azara.

Paralab. (2019). Análisis Forense con SEM. Santander, Paralab. Consultado el 29 de noviembre de 2024. <https://paralab.es/blog/analisis-forense-sem/>

Pérez, I., Santillán, M. L., (2019). Especial Arqueología Mexicana: ¿Cómo se estudia un sitio? Primera parte. Ciencia UNAM-DGDC.

Polo-Cerdá, M., García-Prósper, E., Crespo, A., Márquez-Grant, N., García-Rubio, A., Armentano, N. & Muñoz, V., (2018). Protocolo de búsqueda, levantamiento y exhumación de restos humanos. Revista Internacional de Antropología y Odontología Forense, 1(1), 7-23.

Porta, J., López-Acevedo, M. & Poch, R. (2013). Uso y protección de suelos (3.a ed). Ediciones Mundi-Prensa.

Povilauskas, L. K., (2015). Geología forense: técnicas aplicadas en muestras sedimentológicas, en la provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista Mendoza Forense, 1(1), 18-23.

Pye, K. & Croft, D. (2004). Forensic geoscience: introduction and overview. GSL Special Publications, 232(1), núm. 1, 1-5.

RAISA, (2024). Análisis de suelos mediante fluorescencia de rayos X (XRF). RAISA, México. Consultado el 29 de diciembre de 2025. <https://raisacv.com/catalogo/servicios/para-analisis-xrf-en-campo/de-minerales/analisis-de->

suelos/#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20de%20fluorescencia%20por,de%20procesos%20y%20efectos%20naturales

Ramon -Torrens, S., (2022). Análisis de suelos en la investigación forense [trabajo de máster]. Universidad de Alicante. <https://rua.ua.es/server/api/core/bitstreams/2137b05f-5ccb-47f7-9407-98fac358d76b/content>

Revista Ciencias de la Tierra. (2020). Geociencias. Consultado el 14 de enero de 2025. <https://revistacienciasdelatierra.com/articulos/geociencias/>

Sagripanti, G., Villalba, D., Aguilera, D. & Giaccardi, A. (2013). Geología forense: Métodos aplicados en la búsqueda de desaparecidos en la región central de Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 7(1), núm. 1, 150-160.

Sánchez, E. (2015). Orígenes y propiedades de los sedimentos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México. Consultado el 10 de enero de 2025. <https://imta.gob.mx/potamologia/images/potamologia/CV-profesores-curso/DR.%20ENRIQUE%20S%C3%81NCHEZ%20CAMACHO.pdf>

Sangwan, P., Nain, T., Singal, K., Hooda, N. & Sharma, N. (2020). Soil as a tool of revelation in forensic science: a review. Analytical Methods, 12(43).

Servicio Geológico Mexicano, (2014). Rocas sedimentarias. Gobierno de México, México. Consultado el 19 de diciembre de 2024. <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/Rocas-sedimentarias.html>

Soil Science Society of America, (2024). Soil Horizons. Soil Science Society of America. Consultado el 30 de diciembre de 2025. <https://www.soils4teachers.org/soil-horizons/>

Sugita, R., Marumo, Y., (1996). Validity of color examination for forensic soil identification. Forensic Science International, 83(3), 201-210.

Tibbett, M. & Carter, D., (2024). Research in Forensic Taphonomy: A Soil-Based Perspective. en Ritz, K., Dawson, L. y Miller, D. (eds.), Criminal and Environmental Soil Forensics, Springer.

Torres-Sánchez, S. A. & García-Leal, G. C., (2019). Las geociencias y su relación con la sostenibilidad. Ciencia UANL, 22(97), 14-19.

Universidad Autónoma de Querétaro, (2025). Fondo para el desarrollo del conocimiento (FONDEC-UAQ). Universidad Autónoma de Querétaro. Consultado el 14 de enero de 2025. <https://dip.uaq.mx/index.php/49-investigacion>

Universidad de Burgos. (2020). Microscopía electrónica de barrido (MEB), Universidad de Burgos. Consultado el 29 de diciembre de 2024. <https://www.ubu.es/parque-cientifico-tecnologico/servicios-cientifico-tecnicos/microscopia/microscopia-electronica-de-barrido-meb/#:~:text=Inventado%20en%201931%20por%20Ernst,hacen%20conductoras%20metalizando%20su%20superficie>

Villegas, M., (2010). Procedimientos de análisis de suelos en una investigación criminal. Revista ingeniería primero, 15, 88-114.

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons .