Humanidades, Tecnología y Ciencia, del Instituto Politécnico Nacional
Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título: 04-2010-0326124-14000-203 ISSN: 2007-1957

HACIA LA INNOVACIÓN EN LA ENSEÑANZA FORENSE: IMPLEMENTACIÓN DE UNIDADES EXPERIMENTALES DE CAMPO ABIERTO (UECA) PARA PRÁCTICAS Y PROTOCOLOS DE INTERVENCIÓN

Liduvina Pérez Olvera
Universidad Autónoma de Querétaro
perez_liduvina@hotmail.com

Juan Alberto Pichardo Hernández
Universidad Autónoma de Querétaro
juan.pichardo@uaq.mx

Joel Torices Armenta
Universidad Autónoma de Querétaro
joel.torices@uaq.mx

Resumen

El proyecto denominado diagnóstico de áreas de actividad, encaminadas a prácticas forenses, se deriva de los proyectos FONDEC de la Universidad Autónoma de Querétaro, el cual planteó la creación de las Unidades Experimentales a Campo Abierto (UECA). El proyecto tiene los objetivos de habilitar el área designada para las UECA como extensiones territoriales de investigación, caracterización y diagnóstico de las condiciones iniciales del suelo de las UECA e interpretar los resultados provenientes del laboratorio de las muestras tomadas. Los datos analizados a partir del muestreo en el área UECA, tiene como objetivo dos funciones primordiales: pride lagenerar un diagnóstico inicial de las condiciones actuales del suelo presentes en el sitio, ya que con dicha información se podrán tener datos de las condiciones iniciales, que ayudaran para próximas incursiones; segundo, promover la creación de fundamentos teóricos y metodológicos que alienten sucesivos análisis edafológicos encaminados al fortalecimiento de las ciencias forenses, a través de la enseñanza, la capacitación, y la investigación.

Palabras clave: Edafología forense, prospección, procesamiento del lugar y metodología forense.

Recientemente, la importancia en el análisis de suelos desde una óptica forense se ha ido fortaleciendo como una línea de investigación robusta para la investigación en hechos relacionados con la criminalidad, reuniendo diversas áreas del conocimiento para interpretar los múltiples escenarios relacionados con la delincuencia (Ruffell & McKinley, 2008). La utilidad de su valor probatorio, se centra en las características únicas presentes en la composición del suelo, la cual funciona como huella química, la cual puede ser utilizada para vincular acontecimientos específicos de localidad, vincular acciones antrópicas y establecer relaciones en la disposición de objetos u actividades (Murray & Tedrow, 1992). Dicha trazabilidad química presente en los suelos - establecida a partir de la variación mineralógica, la presencia de materia orgánica, nutrientes, y posibles contaminantes – permite justamente hacer correlaciones puntuales y precisas entres el muestreo tomado en campo, el análisis de laboratorio y el sitio de muestreo, para hacer comparaciones de origen geográfico con mayor precisión. Así, bajo esta perspectiva, la aplicación de dicha metodología en el ámbito forense, se ha vuelto una herramienta crucial para asociar las evidencias y su relación con la escena del crimen, la ubicación de fosas clandestinas y monitoreo de actividades sospechosas realizados en campo abierto (Dawson & Hillier, 2010).

Por otro lado, la importancia y valor probatorio del suelo, se sustenta básicamente en su amplia disposición superficial, sus características propias de cada tipo de suelo, incluyendo su condicionamiento por factores geológicos, climáticos y antrópicos, que permiten ubicar localidades con gran precisión, su relación con el entorno, y la posibilidad de conservar registros químicos que se pueden relacionar con las actividades humanas a través del tiempo (Murray & Tedrow, 1992; Fitzpatrick & Raven, 2016).

En México, debido a la gran diversidad geológica y edafológica presente en el territorio, es oportuno pensar que la evaluación de suelos desde la óptica forense se puede implementar, a pesar de otros escenarios que también se plantean derivados de los procesos de erosión, salinización y contaminación, los cuales deben considerarse al momento de emitir e interpretar las pruebas periciales (Krasilinikov, 2011).

Para garantizar la validez y reproducibilidad en el análisis forense aplicado a suelos, es fundamental la implementación de un protocolo estandarizado para el muestreo en campo. Dicho proceso metodológico, debe detallar a fondo el procedimiento de recolección sistemática incluyendo diversos puntos y estableciendo un control detallado de los puntos de muestreo que garantice la reproducibilidad y validez de dicho proceso. Asimismo, es preciso especificar las condiciones de embalaje, recolección y almacenamiento de las muestras, para preservar la integridad de las muestras, las cuales deben ser correctamente analizadas e interpretadas en laboratorio (ENFSI, 2019; Ruffell & McKinley, 2008).

Así, la incorporación de nuevas técnicas como la espectrometría de masas, cromatografía de gases, espectrometría Raman entre otras, han revolucionado la batería analítica de suelos, llevando la identificación a otros niveles de exactitud con mayor precisión; esto supone que la detección de componentes químicos a partir de estas técnicas analíticas, se transforme en una herramienta potente y de alto valor en temas de criminalística, así como en las ciencias forenses en general; sin embargo a pesar de estos avances, persisten aún desafíos en el análisis de suelos en específico (Bull, P. A., Morgan, R. M., Sagovsky, A., & Hughes, G.J.A., 2006).

De esta manera, el factor suelo se puede considerar como una prueba de altor valor de confiabilidad, debido precisamente a su composición química y mineralógica tan singular y única; esta firma actúa como una "huella dactilar" de cada sitio donde se toma la muestra que permite generar correspondencias y trazabilidad entre los hechos ocurridos y los objetos asociados en los escenarios del crimen. Dichos avances permiten la colaboración multidisciplinaria entre forenses, geólogos, arqueólogos y químicos en el perfeccionamiento y alcance de los distintos métodos de análisis.

Estas innovaciones pueden mejorar la eficacia en la resolución de casos, y también el conocimiento científico entre la interacción del ser humano y el suelo. (Ruffell, A., et al., 2022; Pye, K., & Blott, S. J., 2016).

Descripción del proyecto

El proyecto "Diagnóstico de áreas de actividad para prácticas forenses", con financiamiento del programa institucional FONDEC-UAQ, promovió la creación de las Unidades Experimentales a Campo Abierto (UECA) como extensiones del Centro de Capacitación y Formación en Ciencias Forenses. Su habilitación incluyó la selección del espacio territorial designado para tales fines, la prospección de las condiciones iniciales del terreno, y la propuesta de realizar un muestreo sistemático del suelo para determinar sus propiedades iniciales, a través de una propuesta de batería analítica del suelo y la interpretación de los resultados del laboratorio.

La implementación de estas unidades, marca un notable progreso en los procesos de investigación en el área forense; posibilita el análisis práctico del muestreo del suelo, la implementación de las técnicas de prospección pericial, los cuales son conocimientos fundamentales en la incursión forense y resolución de crímenes; y a su vez promueve la investigación con diversas dependencias tanto académicas como gubernamentales o de otros sectores. Con la propuesta de creación de las UECA, la investigación forense se fortalece el análisis científico. Bajo este contexto, el estudio del suelo se constituye como una herramienta de gran importancia.

Este trabajo se basa en los análisis de suelo realizados en las UECA. El objetivo principal, se centran en desarrollar una línea de investigación para futuras prácticas, basándose en los fundamentos teórico – metodológicos que promuevan el desarrollo de la edafología forense; contribuyendo de este modo a la docencia, capacitación e investigación en el campo de las ciencias forenses.

Descripción del terreno

Las Unidades Experimentales a Campo Abierto (UECA), establecidas por la Universidad Autónoma de Querétaro a través de su Facultad de Derecho, se localizan en el extremo poniente del campus aeropuerto (figura.1).

Figura 1. Ubicación de las UECA.

El trabajo inicial en la zona integró metodologías de la criminalística de campo y del estudio de suelos, basándose en la observación directa y la descripción minuciosa del lugar. Estas actividades incluyeron el reconocimiento y prospección del terreno, determinando su ubicación, colindancias, vías de acceso, pasos vecinales, posibles rutas vehiculares, puntos de riesgo, tipo de vegetación, identificación del suelo predominante y cualquier perturbación existente.

El análisis reveló que el suelo de las UECA es de origen antropizado, resultado de su uso previo como parte de un aeropuerto. Esta condición implicó una modificación significativa de sus características originales, muy probablemente mediante procesos de nivelación y compactación para cumplir con requisitos operativos. El terreno se ubica en una zona de clima árido, con precipitaciones muy bajas a lo largo del año. La vegetación es escasa y de tipo xerófito, compuesta principalmente por matorrales bajos y pastos secos, lo que refleja la limitada disponibilidad de agua en el área.

Diseño de muestreo y selección de puntos

Se establecieron treinta (30) puntos de muestreo distribuidos estratégicamente en el predio, considerando los siguientes factores:

- Topografía: incluyendo zonas altas, medias y bajas.
- Historial de uso: abarcando áreas con diferentes antecedentes de cultivo y manejo (cuando la información estaba disponible).
- Homogeneidad aparente: en sectores uniformes, los puntos se distribuyeron sistemáticamente (en grid o zig-zag) para garantizar una cobertura representativa.

Cada punto fue georreferenciado con un GPS de precisión, registrando sus coordenadas para futuras consultas y seguimiento (figura 2).

Figura 2. Muestreo en campo

Profundidad de muestreo

Se adoptó una profundidad estandarizada de 10-15 cm, adecuada para evaluar la fertilidad química del suelo y la disponibilidad de nutrientes para cultivos anuales y pasturas.

Procedimiento de recolección

Limpieza superficial: en cada punto se removieron manualmente hojarasca, piedras y restos vegetales.

Toma de muestra: mediante una barrena de suelo (o pala debidamente descontaminada entre puntos) se extrajo tierra de la profundidad establecida.

Conformación de la muestra: del material extraído se tomó una porción de aproximadamente 200 gramos por punto, depositada en bolsas de plástico limpio o papel especial para muestras de suelo.

Humanidades, Tecnología y Ciencia,
del Instituto Politécnico Nacional
Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título: 04-2010-0326124-14000-203 ISSN: 2007-1957

Etiquetado: cada bolsa se identificó inmediatamente con una etiqueta que contenía los datos de la muestra (figura 3).

Análisis	pH	Clase Textural	Conductividad eléctrica
Valor	8.45	Franco - Arenosa	0.14 ds/m
Materia Orgánica	Contenido de humedad	Fósforo	
<0.10%	4.10%	<5.5 mg/Kg	

Figura 3. Embalaje de muestras.

Manejo post-muestreo y laboratorio

Las muestras individuales (30 en total) se transportaron en un embalaje adecuado para evitar degradación por temperatura. En laboratorio, se secaron al aire en bandejas limpias y se procesaron mediante tamizado a 2 mm para su posterior análisis. Donde se realizó la batería analítica de pH, clase textural, conductividad eléctrica, materia orgánica, contenido de humedad y fósforo (figura 4).

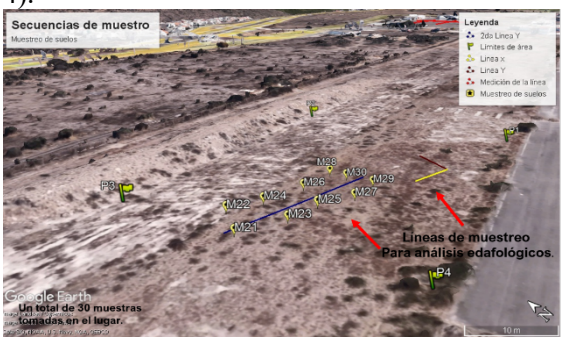

Figura 4. Análisis de muestras.

Conclusión e implicaciones forenses del diagnóstico superficial

La caracterización del subsuelo en las UECA revela un ambiente restrictivo con alcalinidad extrema (pH 8.45), contenido críticamente bajo de materia orgánica (<0.10%) y niveles ínfimos de fósforo (<5.5 mg/kg), lo que define un entorno de baja actividad biológica y limitada disponibilidad de nutrientes. Estas condiciones, sumadas a una textura franco-arenosa y un rápido drenaje, tienen implicaciones directas y significativas para la investigación forense (figura 5).

Figura 5. Interpretación de resultados.

En términos prácticos, este perfil edáfico sugiere:

- La descomposición de la materia orgánica podría suponer escenarios mucho más lentos, como consecuencia de la reducida actividad microbiana.
- Las evidencias de origen no orgánico tienden a conservarse mejor en los estratos subsecuentes a la superficie, ya que el ambiente químico presenta condiciones

reductoras y existe poca alteración biológica.

- La creación de una base de referencia esencial para detectar alteraciones antrópicas recientes en el suelo, mediante la comparación con estos parámetros iniciales.

Estos resultados proveen una base de datos inicial, para diseñar más estudios forenses a futuro en las UECA. Esto permitiría registrar con mayor certeza, cómo el sustrato subsuperficial incide en los procesos de descomposición de restos orgánicos, dinámica de los lixiviados asociados a posibles fluidos corporales y a la preservación de evidencias que ayuden en los procesos de registro y dictámenes periciales. De igual modo, el diagnóstico no solo perfila futuras investigaciones, sino que también propone las condiciones iniciales para la creación de protocolos específicos dependiendo de las condiciones locales, lo cual fortalece las capacidades técnicas en materia de criminalística y arqueología forense.

Consideraciones finales

Recientemente, los avances científicos y tecnológicos en el análisis de suelos han impulsado la posibilidad de determinar la localización geográfica de una manera mucho más precisa, y esto permite la comparación entre distintas localidades a partir de las muestras recolectadas.

Finalmente, a partir del diagnóstico realizado en las Unidades Experimentales a Campo Abierto (UECA), será posible elaborar propuestas de investigación bajo un marco experimental y con fines académicos, didácticos, que se centren en los procesos biológicos, geológicos, arqueológicos y químicos vinculados a las actividades antrópicas. Aunado a esto, también permitirá elaborar recomendaciones, guías y protocolos ajustados a la realidad y contexto de México y la región, proponiendo a través de estas iniciativas la sistematización y reproducibilidad de los hallazgos forenses. Este diagnóstico inicial tuvo dos propósitos clave: en primer lugar, sentar una base de referencia sobre las características del suelo para futuras intervenciones en el ámbito forense; y, en segundo lugar, documentar los fundamentos teóricos y metodológicos para la intervención de suelos con valor forense, con el objetivo de mejorar la enseñanza, la capacitación y la investigación con un enfoque de impacto social mucho más amplio.

Referencias

Bull, P. A., Morgan, R. M., Sagovsky, A., & Hughes, G. J. (2006). *The transfer and persistence of trace particulates: Experimental studies using clothing fabrics.* Science & Justice, *46*(3), 185–195. https://doi.org/10.1016/s1355-0306(06)71591-1

Dawson, L.A. & Hillier, S. (2010). Measurement of soil characteristics for forensic applications. *Surface and Interface Analysis: An International Journal devoted to the development and application of techniques for the analysis of surfaces, interfaces and thin films, 42* (5), 363-377.

European Network of Forensic Science Institutes (ENFSI). (2029). *Best Practice Manual for the Forensic Comparison of Soil Traces*. ENFSI. *https://enfsi.eu/wp-content/uploads/2017/06/ENFSI_BPM_APST_Soil_Examination-vs1.0.pdf.*

Fitzpatrick, R.W. & Raven, M.D. (2016). *Guidelines for conducting criminal and environmental soil forensic investigations* (Version 10.1): Centre for Australian Forensic Soil Science.

Krasilnikov, P. 2011. *Distribución espacial de los suelos y los factores que la determinan.* En P. Krasilnikov, F. Jiménez, T. Reyna & N. García(eds.), *Geografía de suelos de México* (pp.

1-39). Facultad de Ciencias-UNAM. México, pp. 1-39

Murray, R.C. & Tedrow, J.C.F. (1992). *Forensic Geology*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall.

Pye, K., & Blott, S. J. (2016). *The Sand and Gravel Resources of the Lower Waveney Valley: Between Beccles and St. Olaves*, Norfolk & Suffolk. Kenneth Pye Associates.

Ruffell, A. & McKinley, J. (2008). Geoforensics. *Archaelogical Prospection, 16* (2), 293-294.

Ruffell, A. P., Stanforth, I. M., Gundogdu, S., Chapman, E. E. V., & Fuller, S. (2022). *Land-use and macroplastic and microplastic pollution in soil: A review.* European Journal of Soil Science, 73(6), e13324.https://doi.org/10.1111/ejss.13324