

Interpretar la naturaleza para encontrar *a quienes nos faltan*

Ciencias biológicas, físicas y de la tierra
aplicadas a la detección de inhumaciones clandestinas

Dirección

Víctor Hugo Ávila Barrientos

Coordinación

Víctor Hugo Ávila Barrientos

Tunuari Roberto Chávez González

José Luis Silván Cárdenas





Interpretar la naturaleza para encontrar *a quienes nos faltan*

Ciencias biológicas, físicas y de la tierra
aplicadas a la detección de inhumaciones clandestinas

Dirección

Víctor Hugo Ávila Barrientos

Coordinación

Víctor Hugo Ávila Barrientos

Tunuari Roberto Chávez González

José Luis Silván Cárdenas



Primera edición, 2024

Derechos patrimoniales en trámite.

Publicación no comercializable y de distribución gratuita.

Prohibida su venta.

ISBN para versión digital en trámite

ISBN: 978-607-8655-75-5

D.R. © 2024. Primera edición

GOBIERNO DE JALISCO

Secretaría General de Gobierno

Dirección de Publicaciones

Av. Prol. Alcalde 1351, 1^{er} Piso del Edificio C, Unidad Administrativa
Estatal

Col. Miraflores, C.P. 44270

Guadalajara, Jalisco, México

www.jalisco.gob.mx

ISBN: 978-607-59992-1-0

D.R. © 2024.

Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial,
A.C. Contoy, número 137, Colonia Lomas de Padierna, Código
Postal 14240, Alcaldía Tlalpan, Ciudad de México, México.
www.centrogeo.org.mx

Diseño y producción: Dirección de Publicaciones del Gobierno del
Estado de Jalisco

Diseño de interiores: LDCG Blanca Elizabeth Cortés Bustos

LDCG Erika Alejandra Jáuregui Martínez

LDCG Mariana Cecilia Gómez Ruiz

Diseño de portada: LDCG Mariana Cecilia Gómez Ruiz

Se permite la reproducción total o parcial de esta obra, en cualquier
forma o medio, con propósitos educativos y sin fines de lucro.

Impreso y hecho en México/Printed and made in Mexico

Dirección

Víctor Hugo Ávila Barrientos (COBUPEJ)

Coordinación

Víctor Hugo Ávila Barrientos (COBUPEJ)

Tunuari Roberto Chávez González (COBUPEJ)

José Luis Silván Cárdenas (CentroGeo)

Dictaminación

Comité Editorial del Centro de Investigación en
Ciencias de Información Geoespacial, A.C.

Responsable del Proceso de Dictaminación

Mauricio Pablo Cervantes Salas

Corrección y estilo

Melina Gil Meza

José Darío Pereira Benítez

Sergio Alberto Quezada Godinez

Integración de textos

Lourdes Andrea Linton Padilla

Cartografía

Andrea Ponce Chávez

Tania Guadalupe Rubio Pérez

**“De mi cuerpo descompuesto crecerán flores,
y yo estaré en ellas; eso es eternidad”.**

Edvard Munch



Directorio

GOBIERNO DE JALISCO

Enrique Alfaro Ramírez

Gobernador Constitucional del Estado de Jalisco

Enrique Ibarra Pedroza

Secretario General de Gobierno del Estado de Jalisco

Carlos Mercado Tinoco

Oficial Mayor de Gobierno del Estado de Jalisco

Emanuel Agustín Ordóñez Hernández

Director de Publicaciones y del Periódico Oficial del Estado de Jalisco

Víctor Hugo Ávila Barrientos

Comisionado de Búsqueda de la COBUPEJ

Tunuari Roberto Chávez González

Director de Análisis y Contexto de la COBUPEJ

CENTROGEO

Pablo López Ramírez

Director General del CentroGeo

José Luis Silván Cárdenas

Investigador Titular C del CentroGeo

Mauricio Pablo Cervantes Salas

Presidente del Comité Editorial del CentroGeo

Landis Córdova de la Cruz

Secretaria General del CentroGeo

Prólogo

La desaparición de personas es, sin duda, una de las crisis más graves que enfrenta el Estado Mexicano en la actualidad. En Jalisco reconocemos esta realidad y, por eso, desde el Gobierno del Estado hemos puesto en marcha estrategias para atenderla de manera integral.

Al comenzar la administración 2018-2024 se asumió, de cara a las familias de personas desaparecidas, el compromiso de hablar con la verdad y actuar con responsabilidad para prevenir la desaparición. De buscar y localizar a las personas reportadas como desaparecidas y aplicar la ley en los casos vinculados con la comisión de algún delito. Todo esto, poniendo a las personas desaparecidas y sus familias en el centro de las políticas y acciones.

Como parte de este compromiso, durante esta administración hicimos un esfuerzo sin precedentes para consolidar, en Jalisco, el marco jurídico e institucional necesario para atender la desaparición de personas.

En un diagnóstico inicial identificamos que las instituciones que participan en la búsqueda y localización de personas desaparecidas, la investigación sobre los posibles delitos implicados en la desaparición de una persona y la atención a las víctimas —directas e indirectas— de dichos delitos carecían de recursos y capacidades suficientes para llevar a cabo su labor de manera satisfactoria y, en muchos casos, trabajaban de forma desvinculada.

De esta forma, uno de los primeros pasos fue diseñar un nuevo marco jurídico sobre la desaparición de personas en la entidad.

Así, tras un ejercicio de coordinación y diálogo entre colectivos de familiares de personas desaparecidas y las organizaciones que les acompañan, representantes de la academia y de los poderes Ejecutivo y Legislativo del estado, en 2021 fue aprobada la Ley de Personas Desaparecidas del Estado de Jalisco.

Si bien la legislación está alineada con la Ley General en Materia de Desaparición Forzada de Personas, Desaparición Cometida por Particulares y del Sistema Nacional de Búsqueda de Personas, va un paso adelante al establecer que, en Jalisco, cualquier persona cuyo paradero se desconoce debe ser considerada como desaparecida, sin importar si existen o no elementos para suponer que su ausencia está relacionada con la comisión de un delito.

En términos prácticos, esta definición implica que se puede dar aviso a las autoridades, sobre la desaparición de una persona, en el momento en que se deje de tener conocimiento sobre su paradero y, por su parte, las autoridades deben comenzar la búsqueda y la investigación para determinar si la persona desaparecida fue víctima de algún delito, de manera inmediata. Significa, pues, un mandato inequívoco para las autoridades y un mecanismo para proteger a las víctimas y sus familiares, y garantizar sus derechos.

Además, la Ley obliga a las instituciones que participan en la búsqueda, la investigación, la identificación y la atención a víctimas a trabajar de manera coordinada y poner al servicio de las víctimas todos los recursos para dar con el paradero de quienes hacen falta y, en su caso, presentar ante la justicia a las personas responsables de su desaparición.

En este sentido, también fortalecimos a las instituciones estatales, dotándoles de más recursos y mejorando sus capacidades.

Así, entre 2019 y 2024, el presupuesto estatal destinado a las instituciones que participan en la búsqueda, investigación, identificación y atención a víctimas de desaparición de personas aumentó, en términos generales, casi 70%. Tan sólo el presupuesto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco (COBUPEJ) creció más de 400% —pasó de 14 millones de pesos en 2019 a 72 millones de pesos en 2024—, mientras que los recursos destinados a la Fiscalía Especial en Personas Desaparecidas (FEPD) tuvieron un incremento de 63%, al pasar de 88 millones de pesos en 2019 a 144 millones de pesos en 2024.

Pero el fortalecimiento va más allá de presupuestos. Hoy, Jalisco cuenta con un diseño institucional que favorece el trabajo coordinado y el intercambio de recursos e información



entre dependencias, y que ha permitido avanzar en el cumplimiento del compromiso de hablar con la verdad, actuar con responsabilidad y poner a las víctimas en el centro de las políticas y acciones del Gobierno de Jalisco en materia de desaparición de personas.

En este proceso de consolidación institucional ha quedado claro que, para buscar y localizar a quienes nos hacen falta, se requieren recursos y herramientas diversas para generar y reunir información, analizarla y procesarla de forma que se comprenda mejor la dinámica de la desaparición de personas y se alcancen procesos más eficientes.

Así, por ejemplo, Jalisco cuenta hoy con un Registro Estatal de Personas Desaparecidas confiable —en 2024, el estado se convirtió en la primera entidad del país en contar con una versión pública de este Registro con datos abiertos, accesibles y rastreables—, que es resultado del trabajo coordinado entre la COBUPEJ y la FEPD.

A diferencia de lo que ocurría en el pasado, cuando no existía claridad jurídica sobre la desaparición de personas, en la actualidad Jalisco cuenta con un sistema en el que las autoridades están obligadas a registrar cada caso que les sea reportado —independientemente de si existen o no elementos para suponer que se trata de un delito— así como toda aquella información que surja a partir de las acciones de búsqueda e investigación y que pueda ser relevante para una localización.

El Registro Estatal de Personas Desaparecidas ofrece a la COBUPEJ y a la FEPD un panorama completo—y no sólo la información parcial con la que cuenta cada dependencia—, lo que ha permitido fortalecer sus labores de análisis de contexto. Por su parte, la versión pública de este Registro brinda a la sociedad información confiable, transparente y permite conocer cuántas personas han sido reportadas como desaparecidas y cuántas de ellas han sido localizadas, así como información sociodemográfica básica sobre de su entorno.

En este mismo esfuerzo se inserta el proyecto que da origen a esta publicación. Este libro presenta los primeros resultados de la investigación *Interpretar la naturaleza para encontrar a quienes nos faltan*, iniciada en 2023 por la COBUPEJ en el marco de la investigación científica para el desarrollo de herramientas en la localización de fosas clandestinas, con la participación de familiares de personas desaparecidas y de instituciones como la Universidad de Guadalajara, la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara, la Universidad Nacional Autónoma de México y el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías.

En Jalisco estamos buscando a quienes nos faltan con una premisa clara: debemos privilegiar la búsqueda en vida. Sin embargo, también tenemos el mandato de mantener un

registro adecuado y confiable de los restos humanos que se encuentran bajo resguardo del Estado. En este sentido, contamos con la obligación de localizar aquellos sitios donde puedan existir personas fallecidas inhumadas de manera clandestina, resguardarlas y procesarlas, con base en métodos y protocolos científicos, hasta establecer la identidad de las personas a quienes pertenecen.

Con este fin hemos fortalecido el Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses (IJCF), con recursos e infraestructura adecuada para resguardar a Personas Fallecidas Sin Identificar (PFSI) y llevar a cabo las tareas necesarias para su restitución a familiares. Para atender los casos de quienes fallecieron antes de 2019¹ creamos el Centro de Identificación Humana de Jalisco: una institución de vanguardia que, desde un enfoque multidisciplinario, se encarga de procesar los casos de larga data y establecer su identidad.

La investigación que da origen a esta obra busca abonar en este mismo sentido. Su objetivo es generar conocimiento que permita detectar, con mayor rapidez y eficacia, sitios de inhumación clandestina en el estado, a partir de información científica de los efectos de la descomposición en el suelo y el entorno.

En su primera etapa, el proyecto documenta las transformaciones (botánicas, químicas y físicas) que se registran en dos polígonos de experimentación, a partir de la descomposición de cuerpos de cerdos de granja inhumados en condiciones que replican las características en las que han sido encontradas PFSI en sitios de inhumación clandestina.

Ambos sitios comparten características de composición, pendiente y clima con aproximadamente 4.7% de la superficie del área metropolitana de Guadalajara —incluidos terrenos en El Salto, Tlajomulco de Zúñiga, Juanacatlán y Zapotlanejo donde se han descubierto sitios de inhumación clandestina—.

La investigación ha llamado la atención de instituciones de otros países como la Universidad de Oxford de Reino Unido y la Unidad de Búsqueda de Personas Dadas por Desaparecidas de Colombia.

Los primeros resultados son alentadores. A tan sólo unos meses de haber realizado las primeras inhumaciones en los polígonos establecidos, se ha comprobado la efectividad de los métodos utilizados para identificar cambios topográficos, parámetros térmicos y variaciones

1 La fecha de fallecimiento se determina mediante procesos científicos.

en el espectro de luz del suelo en los sitios de inhumación y se ha detectado la aparición de distintas especies de flora y fauna, relacionadas con las excavaciones.

Estos primeros resultados nos dan esperanza. Sabemos que el desafío es enorme, pero tenemos una certeza: entre más y mejores herramientas tengamos para hacerle frente, mayores serán las probabilidades de encontrar a quienes todavía nos faltan.

Las reflexiones y análisis que se incluyen en este libro son un insumo para seguir avanzando en este camino. También resultan un incentivo para explorar nuevas formas de poner la ciencia y la tecnología al servicio de uno de los mayores retos que hoy enfrentamos en el país: garantizar a las personas desaparecidas su derecho a ser buscadas, ofrecer a las víctimas y sus familias todo el respaldo del Estado, prevenir la desaparición forzada de personas y la desaparición cometida por particulares y combatir la impunidad bajo la cual estos delitos se han extendido, causando daños irreversibles en nuestra sociedad.

Estamos convencidos de que el esfuerzo que hemos hecho, para contar con un marco jurídico e institucional sólido, es la base que se requiere para seguir trabajando y avanzando en la atención a la realidad de la desaparición de personas en el estado. En Jalisco estamos buscando.

Enrique Alfaro Ramírez
Gobernador Constitucional del Estado de Jalisco
2018 - 2024

Índice

Prólogo	9
<i>Enrique Alfaro Ramírez.</i>	
Elementos Introdutorios	
Introducción	27
<i>Gustavo Quezada Esparza.</i>	
Breve recapitulación del fenómeno de la desaparición en México y la reacción del Estado en la época reciente	39
<i>Juan Enrique Ibarra Pedroza.</i>	
Gobernanza para la búsqueda: la experiencia desde Jalisco	51
<i>Margarita Sierra Díaz de Rivera.</i>	
Madres buscadoras y Ciencia Ciudadana	
1. Interpretando señales en la naturaleza: los saberes de mujeres buscadoras influenciando las prácticas de búsqueda en Jalisco	63
<i>Miguel Moctezuma Barraza y Karina G. García Reyes.</i>	
2. Saberes nacidos del dolor: testimonios y propuestas de las madres buscadoras	107
<i>José Darío Pereira Benítez, Eduardo Santana Castellón, Tunuari Roberto Chávez González, Lourdes Andrea Linton Padilla y Gabriel Aquiles González Ruiz.</i>	
3. Las madres buscadoras hacen ciencia ciudadana	133
<i>Eduardo Santana, Tunuari Roberto Chávez González, Lourdes Andrea Linton Padilla y Gabriel Aquiles González Ruiz.</i>	

Planteamiento general

- 4. Experimentación forense: la historia de un proyecto** 173
COBUPEJ

Clima

- 5. Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra: la lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas** 197
José Darío Pereira Benítez y Luz Adriana Vizcaíno Rodríguez.

Geofísica

- 6. Observación forense experimental utilizando técnicas de prospección geofísica de alta resolución** 229
Ana Caccavari Garza, Martín Cárdenas Soto, Gerardo Cifuentes Nava, David Escobedo Zenil, José Antonio Martínez González y Jesús Sánchez González.
- 7. Una descarga eléctrica te puede revivir, creemos que también te puede encontrar. Geofísica aplicada** 269
Uriel Gutiérrez Mendiola, Adán González Nisino y Ciclos GIP.
- 8. Reflejos de una búsqueda: el uso del Radar de Penetración Terrestre (GPR) para la detección de inhumaciones clandestinas** 289
Melina Gil Meza, Uriel Gutiérrez Mendiola y Dorian Quezada Esparza.

Percepción remota

- 9. Morfología del terreno mediante fotogrametría con drones: oportunidades y limitaciones para la detección de fosas clandestinas** 323
Ana Josselinne Alegre Mondragón y José Luis Silván Cárdenas.
- 10. Diseño y aplicación de índices espectrales para la detección de fosas clandestinas** 355
José Luis Silván Cárdenas, Anna Josselinne Alegre Mondragón, Edgar Daniel Ramírez Aceves, David Rogelio Campos Cornejo y Maximiano Bautista Andalón.

- 11. El calor de las personas que nos faltan: búsqueda de fosas clandestinas con apoyo de drones equipados con cámara termográfica** 393
Sergio Alberto Quezada Godinez, Andrea Ponce Chávez, José Luis Silván Cárdenas y Tunuari Roberto Chávez González.

Química y biología

- 12. Desenterrando la verdad: análisis de cambios en la firma química y características del suelo en sitios de inhumación clandestina** 431
Enrique Martín Ortega Higareda, Sonia Citlalli Saucedo Aguilar, Tunuari Roberto Chávez González y Luis Manuel Martínez Rivera.

- 13. La vida después de la vida: botánica forense aplicada al estudio y detección de fosas clandestinas** 491
Ramón Cuevas Guzmán, María L. Baca Cruz, José Guadalupe Robles Estrada, Fátima Yazmin Salcedo García y Melina Gil Meza.

- 14. ¿Quiénes son los primeros en detectar una inhumación clandestina? Entomología forense: los insectos y su relación con las fosas clandestinas** 537
Jessica Berenice López Caro, Lizbeth G. Romero Aguilar, José L. Navarrete Heredia y María L. Baca Cruz.

Tafonomía

- 15. Análisis tafonómico comparativo: la deposición y su relación con la estimación del intervalo post mortem** 577
Dalia Nonatzin Miranda Díaz.

Educación forense

- 16. Simulación de fosas clandestinas como estrategia didáctica en la formación del científico forense: participación del estudiantado de la Licenciatura en Ciencias Forenses en el proyecto de vinculación entre la COBUPEJ y la Universidad de Guadalajara** 601
Denisse Ayala Hernández, Alma Cristina Padilla de Anda y Teresita de Jesús Bustamante Flores.

Síntesis

- 17. Interpretar la naturaleza para encontrar a quienes nos faltan: integración de un estudio multidisciplinario y perspectivas** 633
Tunuari Roberto Chávez González, Enrique José Jardel Peláez y Sergio Alberto Quezada Godínez.

Retos

- Avanzando hacia la justicia y la dignidad** 667
Víctor Hugo Ávila Barrientos.

Glosario 677

Agradecimientos y colaboradores

- Mensaje: Rector del Centro Universitario de Tonalá** 681
José Alfredo Peña Ramos.
- Mensaje: Rector de la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara** 683
Víctor Ravelero Vázquez.
- Semblanza de autores** 685
- Agradecimientos** 695







Víctor Hugo Ávila Barrientos

Síntesis curricular

Es licenciado en Estudios Políticos y de Gobierno por la Universidad de Guadalajara, maestro en Política y Gestión Pública por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), diplomado en Análisis Político Estratégico por el Centro de Investigación y Docencia Económica (CIDE) y diplomado en Derechos Humanos por la Academia Jalisciense de Derechos Humanos, A.C.

Su carrera profesional se ha desarrollado en el sector público como especialista en las áreas de Gestión Pública, Derechos Humanos y Seguridad Pública, administrando recursos humanos, financieros, materiales y tecnológicos en

los diversos cargos en que se ha desempeñado. Siendo enlace con diversos organismos nacionales e internacionales para el desarrollo de sistemas de formación, de bases de datos y de colaboración intergubernamental e internacional.

Se desempeñó como Coordinador de Enlace en la Academia Jalisciense de Derechos Humanos A. C., trabajando con indígenas nahuas de la Sierra de Manantlán, con limpiaparabrisas en Guadalajara, con artesanos urbanos y damnificados de las explosiones del 22 de abril. Fue Secretario Técnico de la Comisión de Atención a Grupos Vulnerables en la LVIII Legislatura de la Cámara de Diputados. Ha sido Coordinador de

Asesores del Comisionado del Órgano Administrativo Desconcentrado de Prevención y Readaptación Social y Coordinador de Asesores del Comisionado de la Policía Federal Preventiva, en la Secretaría de Seguridad Pública Federal se ha desempeñado como Director de Estadística.

En el Poder Judicial de la Federación fue Asesor del Coordinador de Protección Institucional del Tribunal Electoral. En la Comisión Federal de Electricidad se desempeñó como Jefe de Departamento en la Coordinación de Administración en donde colaboró para reducir el robo de conductor de cobre y acero

estructural, además fungió como Jefe de Departamento en CFE-Distribución para la implementación de un sistema de gestión de conocimiento.

Ejerció como asesor de la Secretaría de Planeación y Participación Ciudadana de Gobierno del Estado de Jalisco, para el fenómeno desaparición de personas en donde participó en la creación del Sistema Estatal de Búsqueda de Personas Desaparecidas. Fue Encargado de Despacho de la Comisión de Búsqueda de Personas Desaparecidas y en la actualidad es su Comisionado.

Elementos **introdutorios**







Introducción

Gustavo Quezada Esparza¹

Pero detrás de este paradigma indiciario o adivinatorio, se entreve tal vez el gesto más antiguo de la historia intelectual del género humano: el del cazador hincado en el barro, que indaga las huellas de su presa.
C. Ginzburg

La desaparición de personas es una catástrofe, posiblemente, una de las más dolorosas que hemos enfrentado como humanidad. Ha tenido su expresión más visceral en los últimos años, por lo que ha sido objeto de gran atención pero, sobre todo, de esfuerzos por parte las personas que buscan a sus seres queridos, de las universidades y especialistas, y de las instituciones públicas. Lo anterior se materializa en un libro científico de Estado encaminado a interpretar la naturaleza alrededor de una fosa clandestina con miras a que, ese conocimiento, se convierta en protocolo de búsqueda de las instituciones y de las familias que ejercen su derecho a la participación.

Las fosas clandestinas refieren al lugar en donde las personas privadas de la vida han sido depositadas de manera ilícita, inhumándolas sin ningún tipo de respeto por los derechos humanos. En este contexto, es fundamental desarrollar estrategias efectivas para localizar y recuperar a estas personas, permitiendo así a las familias de las víctimas comenzar con procesos de duelo y acceso a la justicia.

En este libro, nos enfocamos en la aplicación de técnicas científicas interdisciplinarias para contribuir a la localización de lugares de deposición e inhumación ilegal de personas fallecidas. Se recupera el conocimiento acumulado por diferentes colectivos y se incorporan

1 Director del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses.

tecnologías que aumentan, más allá de nuestros propios sentidos, la posibilidad de detectar esas marcadas o sutiles diferencias que el paisaje muestra después de que una persona fue sepultada y su cuerpo comienza un proceso de integración a los ciclos biogeoquímicos de la tierra.

Durante milenios, las personas se dedicaron a la cacería y a la recolección como actividades fundamentales para la supervivencia, aquello implicaba la contingencia de ser nómadas para mantener una producción ventajosa (Sahlins, 1977). No resulta difícil imaginar cómo, en sus persecuciones cotidianas, fueron reconstruyendo el actuar de esas “presas invisibles” a través de sus huellas en el suelo, estiércol, pelos, plumas y olores. Aprendieron a traducir e interpretar la información que sus sentidos les proporcionaban en pistas que sugerían la ubicación de aquello que buscaban, en otras palabras, llegaron a realidades complejas que no experimentaron a partir de datos experimentales - tales como huellas, pistas o indicios -. Se puede pensar al cazador como el primero en plantear una narrativa que surge de la capacidad de saber leer, en las huellas “mudas” -aunque nunca imperceptibles- depositadas por su “presa invisible”, una serie coherente de eventos (Ginzburg, 2013).

Más aún, desde la historia documentada, existen registros de distintas formas de saber - que posteriormente se convirtieron en disciplinas²- que llegaban al conocimiento de lo que buscaban a través de un elemento en común: un comportamiento orientado hacia el análisis de casos individuales, reconstruibles únicamente a través de huellas, síntomas e indicios (Ibidem). Ese paradigma de carácter aitiológico³ se expresó en la antigüedad desde la adivinación mesopotámica⁴ y la portación de rostro⁵. El pictograma y el rostro serían al adivino y al proto-médico, lo que la huella del animal al cazador. Si bien el contexto del surgimiento de estos saberes es profundamente distinto entre ellos y -con bastante diferenciación- del nuestro, el comportamiento cognoscitivo es el mismo.

2 Específicamente el derecho y la medicina.

3 La aitiología -del griego *αἰτιολογία*; etiología- remite al estudio de la causalidad de los hechos.

4 Se creía que las divinidades tenían la facultad de contactar a las personas a través de mensajes escritos -en distintos lugares-, mismos que los adivinos tenían el oficio de descifrar (Ginzburg, 2013).

5 Posteriormente conocida como Fisiognomía: antigua creencia que pretende deducir el temperamento, el carácter y las formas de pensar y sentir de una persona a partir de su apariencia visible (Enciclopedia Herder, s.f.).

La naturaleza del conocimiento de la búsqueda de una persona desaparecida remite también a una realidad no directamente experimentable y que se nutre de huellas e indicios para dar con su paradero. Siguiendo el paradigma antes expuesto, los artículos que se reúnen en esta publicación proponen metodologías específicas -y los resultados de los ejercicios concretos- para dar con esos indicios -las huellas- que, una vez abordadas desde las operaciones intelectuales consecuentes -análisis, comparaciones, clasificaciones- puedan derivar en el ethos de la constelación de esfuerzos que posibilitaron esta publicación: encontrar a las personas que nos faltan.

Superando las limitantes de nuestros sentidos creemos pertinente revisar, a grosso modo, desde dónde se inscriben los distintos artículos del libro -que se inscriben en once apartados/ bloques disciplinares-, ya sea explicando las generalidades de la técnica que utilizan o mencionando las diferentes disciplinas científicas que se concatenan en esta obra:

El Bloque Introductorio está compuesto por dos artículos, el primero⁶ se centra en abordar brevemente la dimensión histórica del fenómeno de la desaparición en México, así como la reacción del Estado frente a él; mientras que en el segundo⁷ se revisa el origen y consolidación del Sistema Estatal de Búsqueda.

No es sorpresa que una parte significativa de las metodologías y protocolos de búsqueda tengan su origen en las experiencias en campo de los colectivos de búsqueda y los familiares de las personas desaparecidas -de las madres buscadoras, principalmente -, así como en el conocimiento derivado de la “ciencia ciudadana”. En ese sentido, el apartado Madres Buscadoras y Ciencia Ciudadana⁸, está compuesto por artículos que recuperan conocimiento desde esas experiencias.

En el apartado de Planteamiento General⁹, el artículo aborda las generalidades del proyecto y las condiciones de su surgimiento, ahondando en las características de los sitios de experimentación en donde se desarrollaron los ejercicios del presente libro.

6 Véase: “Breve recapitulación del fenómeno de la desaparición en México y la reacción del Estado en época reciente”.

7 Véase: “Gobernanza para la búsqueda: la experiencia desde Jalisco”.

8 Véase: “Interpretando señales de la naturaleza: los saberes de mujeres buscadoras influenciando las prácticas de búsqueda en Jalisco”; “Saberes nacidos del dolor: testimonios y propuestas de las madres buscadoras”; y “Las madres buscadoras hacen ciencia ciudadana”.

9 Véase: “Experimentación forense: la historia de un proyecto”.

Partiendo de la importancia de conocer las características del entorno en donde sucede algún fenómeno para entender de qué manera acercarse a conocerlo, el apartado de Clima y Meteorología¹⁰ se centra en poner de manifiesto el cómo la lectura e interpretación de las mismas puede contribuir a la identificación de personas desaparecidas.

En el apartado de Geofísica¹¹, se abordan distintas técnicas de prospección geofísica de alta resolución, misma que mide la resistividad eléctrica del subsuelo para detectar estructuras subterráneas -como son las fosas-. Además, también se exploró con el radar de penetración terrestre (Geo-radar), técnica que utiliza ondas electromagnéticas para detectar objetos subterráneos.

Ahora bien, los métodos de búsqueda remota han cobrado especial relevancia en los últimos años, lo anterior derivado de los datos aportan y sus ventajas en las labores de campo. En ese sentido, el apartado de Percepción Remota¹² se compone de artículos que experimentan con técnicas distintas desde sus aportes para la identificación fosas: la fotogrametría proporciona imágenes aéreas para crear modelos tridimensionales de la superficie; el análisis espectral del suelo y la vegetación utiliza la variación en la reflectancia de la luz para detectar sus variaciones; finalmente, la radiación infrarroja es detectable en prácticamente cualquier objeto, la cual una vez procesada, nos indica la temperatura del mismo, de ahí que la termografía nos ayude a diferenciar las fosas de la superficie que las aloja.

Por otro lado, en el apartado de Química y Biología¹³, se integran artículos que parten de distintas disciplinas: la botánica forense permite conocer e identificar, a través del

10 Véase: “Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra: la lectura de las condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas”.

11 Véase: “Observación forense experimental utilizando técnicas de prospección geofísica de alta resolución”; “Una descarga eléctrica te puede revivir, creemos que también te puede encontrar. Geofísica aplicada”.

12 Véase: “Morfología del terreno mediante fotogrametría con drones: oportunidades y limitaciones para la detección de fosas clandestinas”; “Diseño y aplicación de índices espectrales para la detección de fosas clandestinas”; y “El calor de las personas que nos faltan: búsqueda de fosas clandestinas con apoyo de drones equipados con cámara termográfica”.

13 Véase: “Desenterrando la verdad: análisis de cambios en la firma química y características del suelo en sitios de inhumación clandestina”; La vida después de la vida: botánica forense aplicada al estudio y detección de fosas clandestinas; y “¿Quiénes son los primeros en detectar una inhumación clandestina? Entomología forense: los insectos y su relación con las fosas clandestinas”.

crecimiento de las plantas, áreas donde la tierra ha sido alterada por la presencia de una fosa; desde la entomología, se analizaron a los insectos como indicadores de la existencia de fosas clandestinas; por último, el análisis de la firma química del suelo remite al registro de la variaciones en la composición química del suelo y su vegetación, de ahí que se estudiara cómo esos cambios podrían indicar la existencia de una fosa.

El análisis tafonómico comparativo experimental es una herramienta valiosa para estimar el intervalo post mortem (IPM) en casos forenses. Estos estudios se realizan principalmente con cerdos domésticos debido a su similitud con el cuerpo humano en características como cantidad de vello, tamaño del torso, flora intestinal, hábitos alimenticios y procesos de descomposición. Los experimentos tafonómicos controlados nos permiten recrear las condiciones antes y después del depósito del cadáver, y discriminar los efectos de los diferentes agentes y procesos que actúan sobre los restos. De esta manera, en el apartado de Tafonomía¹⁴ se registra un ejercicio al respecto.

En este libro, veremos cómo la simulación de fosas clandestinas es utilizada para estudiar y mejorar las técnicas de identificación y localización de fosas clandestinas en la formación de científicos forenses. Lo anterior se expone en el apartado de Educación Forense¹⁵

Parte del esfuerzo de recopilar los aportes individuales de los artículos reside en el desciframiento del cómo integrarlos en labores de búsqueda, es por ello que en el apartado de Síntesis¹⁶, veremos como resultado de la incorporación de diferentes disciplinas científicas, el enfoque se basa en la interpretación adecuada de la naturaleza, potencializando el grado de certeza con respecto a la localización de lugares de deposición ilegal de personas fallecidas.

Finalmente, en el apartado de Retos¹⁷, se hace un recuento de cuáles podrían ser los esfuerzos a futuro para con la búsqueda post-mortem; recuperando el carácter abierto de las propuestas del libro y la necesidad de desarrollos más amplios.

14 Véase: “Análisis tafonómico comparativo: la deposición y su relación con la estimación del intervalo post mortem”.

15 Véase: “Simulación de fosas clandestinas como estrategia didáctica en la formación del científico forense”.

16 Véase: “Interpretar la naturaleza para encontrar a quienes nos faltan: integración multidisciplinaria”.

17 Véase: “Avanzando hacia la justicia y la dignidad”.

Comentarios finales

La lectura del libro difiere de un enfoque exclusivo de tipo secuencial -como el de una novela o algún tratado-; puede incorporar elementos de la búsqueda sistemática como la que se realiza en la consulta de un catálogo. Lo cierto es que se caracteriza por su naturaleza abierta, multidireccional e indeterminada. En ese sentido, se hace extensiva la invitación de consultarlo conforme el interés de la persona lo dicte. Su lectura secuencial cobra relevancia en su dimensión de proyecto integral; y, de manera simultánea, cada artículo puede consultarse de manera independiente, su articulación reside en el horizonte compartido que motivó la elaboración del libro.

Cualquier acto comunicativo implica una interacción social entre la persona emisora y receptora, mismo que se posibilita por las configuraciones específicas -históricas, culturales, sociales- que atraviesan a las personas. De ahí que cualquier emisión y recepción comunicativa sea un acto bastante complejo en sí mismo. Más de medio centenar de personas participó en la confección de este libro, además de más de cien familiares de personas desaparecidas que se acercaron y conocieron avances preliminares, así como visitas en los espacios físicos de experimentación, aportando en todo momento su conocimiento acumulado.

Si bien necesaria y fascinante, la autoría colectiva -así como el actuar mismo- implica acercarse a múltiples perspectivas que se nutren de distintas formas expresivas. Pensándolo así, anticipamos la diversidad de estilos entre los distintos artículos. Esa multiplicidad de “voces” es la impronta explícita del trabajo colectivo que el libro que está en sus manos conllevó.

Presentamos aquí, una modesta, pero fundamental contribución a la atención científica¹⁸ de la catástrofe generalizada de la desaparición de personas.

18 Consideramos que esta obra de divulgación, por la pertinencia de los datos, la relevancia del tema y la novedosa estrategia metodológica usada para integrar los trabajos que se presentan, es de suma importancia ponerla oportunamente al alcance de las personas interesadas en recuperar, por una parte, el aprendizaje de la aplicación de distintos métodos para analizar las características bióticas y abióticas en inhumaciones controladas, y por la otra, las experiencias de las madres buscadoras y su aporte para el diseño de los protocolos de búsqueda de personas desaparecidas. Con el objetivo de integrar una mirada crítica a los trabajos que se presentan, así como avizorar nuevas rutas para enriquecer las aproximaciones teóricas y metodológicas, la mayor parte de los capítulos tuvieron la retroalimentación de dictaminadores expertos en los temas desarrollados que, mediante un proceso de doble ciego, se dieron a la tarea de aportar sus conocimientos a estos trabajos.

“De mi cuerpo en descomposición nacerán las flores y yo estaré ahí, eso es eternidad”¹⁹ es la frase metafórica con la que se inspiran los medios científicos para encontrar las pistas y huellas de quienes nos faltan. Hoy, el Estado refuerza sus protocolos de búsqueda para hacerla cada vez más eficaz en la localización de esos espacios donde fueron ocultas las personas que nos faltan. Hasta encontrarles.

19

Frase del pintor y grabador noruego Edvard Munch (1863-1944). Véase: <https://www.edvardmunch.org/edvard-munch-quotes.jsp>

Referencias

ENCICLOPEDIA HERDER. (s.f.). *Fisiognomía o fisiognómica*.

https://encyclopaedia.herdereditorial.com/wiki/Fisiognom%C3%ADa_o_fisiogn%C3%B3mica

GIZBURG, C. (2013). *Mitos, emblemas e indicios*. Prometeo libros.

SAHLINS, M. (1977). *Nuevas consideraciones sobre los cazadores y recolectores*, en M. Sahlins *Economía de la Edad de Piedra*. Págs. 47-53. Akal Editor.







Breve recapitulación del fenómeno de la desaparición en México y la reacción del Estado en la época reciente

Juan Enrique Ibarra Pedroza

En el contexto internacional y nacional, el fenómeno de la desaparición de personas no es un problema reciente. Los antecedentes más antiguos en el mundo occidental se remontan a mediados del siglo XVI, cuando en Francia se llevó a cabo un juicio por usurpación de identidad de una persona desaparecida¹.

En el México independiente, el fenómeno de la desaparición de personas se ha abordado desde diferentes perspectivas a lo largo de nuestros 200 años de historia. Durante el siglo XIX, mientras se consolidaban las instituciones políticas y de gobierno del Estado mexicano, la perspectiva de la seguridad pública no tenía un registro y, por ende, no existía un análisis del fenómeno de las desapariciones de personas.

1 En 1540 un campesino de la región de Languedoc, al sur de Francia, de nombre Martin Guerre, abandonó a su familia y sus propiedades y durante años no se supo nada de él, desapareció. Años más tarde reapareció, y después de tres o cuatro años, su esposa denunció ante los tribunales que la persona que regresó, no era su esposo, y que se trataba de un impostor. El acusado estuvo a punto de convencer a los jueces de que él era quien decía ser, hasta que el verdadero Martin Guerre se apersonó en el juicio. Sobre este caso, N. Zemon visitó el archivo histórico de Toulouse y dio con el documento original escrito por un juez de apellido Coras del arresto de Martin Guerre: ADHG, 1B34, 12 septiembre de 1560; Coras, Arrest Memorable, pp. 108-109.

Si bien los antecedentes de prácticas represoras por parte de las autoridades mexicanas se comienzan a registrar durante el Porfiriato², la desaparición sistemática de personas en México cobró relevancia hasta la segunda mitad del siglo XX, cuando el Estado mexicano llevó a cabo, al igual que en otros países de la región, una política represiva en contra de grupos de izquierda que eran considerados una amenaza para la seguridad pública. En ese momento surge el fenómeno conocido como “desapariciones forzadas”.

Se considera desaparición forzada a la privación de la libertad de una o más personas, cualquiera que fuese su forma, cometida por agentes del Estado o por personas o grupos de personas que actúen con la autorización, el apoyo o la aquiescencia del Estado, seguida de la falta de información o la negativa a reconocer dicha privación de libertad o de informar sobre el paradero de la persona, con lo cual se impide el ejercicio de los recursos legales y de las garantías procesales pertinentes (OEA, 1994).

De acuerdo con Oscar Rodríguez (2017), este fenómeno surge en la región latinoamericana en el contexto de la crisis de las democracias liberales de los Estados latinoamericanos y el ascenso de los regímenes autoritarios y dictatoriales que fueron apoyados por los Estados Unidos³. Lo anterior debido a las tensiones de la Guerra Fría y ante la posible emergencia de gobiernos afines al bloque soviético. En este punto, tras las desapariciones forzadas ocurridas en Guatemala y Argentina durante los años setenta, la Asamblea General de la ONU emitió la resolución 33/173 (Robledo, 2016), para: “destinar los recursos necesarios para la búsqueda de personas desaparecidas, a la aplicación de la ley y al respecto de los derechos humanos de las personas” (Pelayo, 2012) y desde entonces se considera a la desaparición forzada como una grave y flagrante violación a los derechos humanos.

En el México de la segunda mitad del siglo XX, no existió una dictadura ni un grupo militar al mando, hubo un régimen de partido hegemónico que realizó prácticas autoritarias que

2 El trabajo de Paul Vanderwood (1982) señala que existen registros de detenciones informales a campesinos durante el conflicto maderista. Un ejemplo fue en Tlaxcala, en donde los Rurales apoyados por la infantería, detuvieron a 43 campesinos supuestamente sediciosos, mismos que se encontraban con cuatro armas y sin municiones. Otro caso fue en Papantla, Veracruz, donde ante el grito de consignas maderistas, un grupo de policías rurales asesinó a 11 personas, sin que se deslindaran responsabilidades por la comisión de algún delito por parte de las autoridades.

3 La Operación Cóndor fue un plan coordinado por los gobiernos militares de Argentina, Bolivia, Chile, Paraguay, Perú y Uruguay para detener, intercambiar y, eventualmente, eliminar a opositores durante las décadas de 1970 y 1980 (Amnistía Internacional, 2013).

derivaron en la desaparición forzada de personas. Los primeros casos de desaparición como una política sistemática y generalizada de represión se registran en Guerrero⁴, donde afirma Federico Mastrogiovanni (2014) que es el lugar más apropiado para entender la tradición de desapariciones forzadas como método de control de la población civil e intentos de represión a las luchas sociales⁵.

La primera desaparición forzada de la que se tiene registro oficial en México, es la de Epifanio Avilés Rojas, quien fue detenido por militares el 19 de mayo de 1969 en Coyuca de Catalán, en la región de Tierra Caliente de Guerrero. Su detención siguió a su traslado al cuartel militar de Ciudad Altamirano. Al siguiente día lo subieron a una avioneta⁶. Desde aquel momento no se sabe nada más de él (Gómez, 2019).

Un caso paradigmático es el de Rosendo Radilla Pacheco, a quien el Estado desapareció el 25 de agosto de 1974, quien fue detenido en un retén militar cuando viajaba de Atoyac de Álvarez a Chilpancingo. En 2009, México fue condenado por la Corte Interamericana de Derechos Humanos por la desaparición de Rosendo, siendo ésta la primera sentencia relacionada con la desaparición de personas (Cossío, 2014).

Aunque los primeros casos parecen limitarse a una situación local en Guerrero, que se aplicaba a líderes sociales o personas que pertenecían y/o estaban relacionadas con grupos guerrilleros del estado, rápidamente se llevó a la práctica en diferentes regiones del país. El Estado mexicano configuró un nuevo ciclo de violencia estatal: la contrainsurgencia, la estructura clandestina de la represión, con el fenómeno de la desaparición forzada como uno de sus dispositivos centrales (Ovalle, 2019).

4 En primer lugar, se tiene registro de la persecución al Partido de los Pobres: una organización campesina que luchaban contra los políticos estatales que permitían la tala desmesurada de los bosques; específicamente en el municipio de Atoyac de Álvarez. Además, hubo decenas de grupos armados que se sublevaron contra el Estado por situaciones similares a la que experimentó el Partido de los Pobres: apoyo generalizado a los caciques políticos de las distintas regiones, asesinatos a líderes sociales y represión a los movimientos sociales.

5 Se sugiere ahondar en la historia de las desapariciones forzadas en Guerrero: Mastrogiovanni (2014) hace un recorrido histórico acertado a la par de una investigación concreta de la desaparición de Alan Cerón, véase: *Ni vivos ni muertos*; para una revisión detallada y bien documentada del contexto en que ocurren, véase: *México armado 1943-1981* de la periodista Laura Castellanos. Citas en bibliografía.

6 Al igual que en Argentina, Uruguay, y Chile, en México se practicaron los llamados “vuelos de la muerte”; método de exterminio que consistía en arrojar personas al mar o río desde un avión. En México, es durante la Guerra Sucia -específicamente entre 1974 y 1981- que se aplica este método para la desaparición de al menos 1,500 personas (COMVERDAD, 2021).

Un ejemplo claro de ello sucedió en Jalisco, donde el 15 de marzo de 1973 se funda la Liga Comunista 23 de Septiembre⁷ (L23S) en Guadalajara. Esta agrupación insurgente propuso una serie de reformas a la Universidad de Guadalajara que se enmarcaban dentro un horizonte de una sociedad más justa y democrática, en confrontación con las estructuras del conservadurismo y la expresión represiva del capitalismo en México.⁸

Para finales de los setenta, la actividad guerrillera nacional empezó a desvanecerse y hasta mediados de 1980, la actividad contrainsurgente se contrajo. Sin embargo, Lorenzo Meyer⁹ sugiere que décadas más adelante, debido a la identificación de algunas prácticas de represión utilizadas para hacerle frente al narcotráfico, el “complejo contrainsurgente” burocratizó e institucionalizó los procesos de desaparición forzada que ya tenían peso y espacio dentro del aparato estatal. Fenómeno que se entiende como un “circuito de la detención-desaparición” que se compone de tres fases: aprehensión, detención y decisión final –el momento en donde el aparato represor decide si hacer transitoria¹⁰ o permanente a la desaparición.¹¹

En los años noventa, el primero de enero 1994, México despertó con dos realidades que podrían pensarse como antípodas: el inicio del Tratado de Libre Comercio de América del Norte y la expresión de la sublevación indígena del sureste mexicano¹² por el Ejército

7 El nombre de la Liga se inspiró en tanto La Liga de los Justos que fundaron Karl Marx y Friedrich Engels – en lugar del término partido-; comunista porque se identifica con los objetivos históricos del sector revolucionario internacional, y 23 de septiembre en conmemoración a la guerrilla de Arturo Gámiz García en el estado de Chihuahua. Véase: Morales, J. (2007). Memorias de un guerrillero sobreviviente. La guerra sucia del México de los 70's. Edición del autor.

8 *Ibidem*

9 Prólogo de Lorenzo Mayer en Ovalle, C. (2019). [Tiempo suspendido]. Una historia de la desaparición forzada en México, 1940-1980. Bonilla Artigas Editores.

10 La desaparición forzada transitoria se sucede cuando la persona sobrevive a la desaparición (Meyer: Ovalle, 2019).

11 *Ídem*.

12 Las causas históricas de la emergencia del Ejército Zapatista de Liberación Nacional pueden rastrearse hasta las condiciones sociopolíticas de la Revolución mexicana -mismas que derivan de periodos coloniales y poscoloniales. Sin embargo, la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio con América del Norte -y las repercusiones que para el campesinado implicaba, en tanto competencia desigual frente a los productores norteamericanos- y la reciente reforma al artículo 27 constitucional -que, entre otras cosas, permitía que los terrenos comunales que emanaron de lucha contra los terratenientes en la Revolución, fuesen vendidos al sector privado- terminaron por agudizar la crisis en el campo y, con ello, causar la primera sublevación pública del EZLN. Para ahondar al respecto, véase: Crónica de un país embozado de la periodista Laura Castellanos. Cita en bibliografía.

Zapatista de Liberación Nacional (EZLN). Si bien no existen registros de desaparición forzada en este conflicto, la respuesta gubernamental fue una ofensiva militar que incluyó ordenes de aprehensión hacia los dirigentes del EZLN y el embate fáctico hacia las comunidades zapatistas.

Entender el problema actual de las desapariciones implica hacer una consideración sobre los agentes que generan la violencia en el país. En ese sentido, una vez concluido el periodo de las guerrillas urbanas y tras el breve periodo del conflicto zapatista, el fenómeno de las desapariciones durante la primera década del siglo XXI adopta lógicas completamente diferentes: en el contexto de la llamada “guerra contra el narcotráfico” la dinámica de la delincuencia organizada y sus grupos criminales a nivel nacional se complejizan.

El crecimiento de los grupos del crimen organizado y su infiltración en la sociedad civil al inicio del siglo XXI reconfiguró su comportamiento. Algunos sectores de la ciudadanía se involucraron con la delincuencia organizada. En algunos casos de forma voluntaria, orillados por un contexto de marginación estructural; pero en muchos otros de forma involuntaria, siendo obligados a participar en actividades ilícitas bajo extorsiones y amenazas¹³. Esto último, ha modificado sustancialmente el fenómeno de las desapariciones a nivel nacional, pues en México se debe distinguir el fenómeno de las desapariciones forzadas y las desapariciones de personas por la delincuencia organizada¹⁴.

Ante la complejidad de las dinámicas del fenómeno de las desapariciones en México, el Estado mexicano ha llevado a cabo cambios estructurales, tanto a nivel constitucional, como de forma institucional; de la mano de organismos internacionales, instituciones universitarias y la sociedad civil, para abordar de forma más adecuada este reto.

A principios de los años 80’s, México recibió su primer visita por parte de un Estado del Grupo de Trabajo de Naciones Unidas sobre las Desapariciones Forzadas o Involuntarias de la oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos y en 2002, se ratificó la Convención Interamericana sobre Desaparición Forzada de Personas.

13 Por ejemplo, para la producción, distribución y venta de estupefacientes, para “lavar” el dinero en negocios formales o incluso como parte de los agentes que vigilan el territorio y conforman los grupos de sicarios.

14 Otro punto que no se puede perder de vista y que agrega complejidad a la situación, es que el avance de los grupos de delincuencia organizada, en algunos casos, logra permear en las instituciones de seguridad, generando con ello que autoridades participen en contubernio con civiles en la desaparición de personas.

Como parte de la atención al fenómeno de las desapariciones forzadas, en 2011 el Estado mexicano comenzó a trabajar de la mano con la Comisión Nacional de los Derechos Humanos (ONU-DH), para construir procesos de justicia, verdad, memoria y reparación en casos de desaparición forzada. Producto de este trabajo, se publicó un informe por el Grupo de Trabajo de la ONU sobre las Desapariciones Forzadas o Involuntarias (GTDFI). Este informe fue actualizado en el 2015 y el 2019, con motivo de las revisiones que recibió México por parte del Comité contra la Desaparición Forzada.

Las acciones que ha realizado el Estado mexicano han derivado en la construcción de un marco jurídico que contempla este fenómeno. Por ello, el 17 de noviembre del 2017 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley General en Materia de Desaparición Forzada de Personas, Desaparición Cometida por Particulares y del Sistema Nacional de Búsqueda de Personas. Un paso fundamental para comenzar a construir una ruta de acción permanente en la atención del fenómeno que, desde la Constitución, canalice normativamente los esfuerzos de las instituciones del Estado.

En 2021, México recibió una visita por parte del Comité contra la Desaparición Forzada y en 2022, se recibieron sus observaciones y recomendaciones que pusieron de manifiesto el importante reto que el Estado mexicano tiene para atender el fenómeno de la desaparición forzada y de las desapariciones en general en todo el país; no solo por la magnitud de los casos, sino también por el nivel de impunidad que se presenta respecto de quienes perpetran estos delitos.

Estos esfuerzos han permitido comenzar a trazar una ruta de acción de todo el aparato estatal, que contempla a los 3 niveles de gobierno, para así consolidar una respuesta suficiente para el importante reto de la desaparición de personas en nuestro país.

Como toda política estatal, no es posible identificar con precisión el impacto y efecto que tendrán las medidas tomadas. Algunas de las acciones habrán de enfocarse en: la consolidación y mejoramiento del Registro de Personas Desaparecidas; medidas para la atención de la crisis forense en nuestro país y en los estados; protección de familias y personas denunciantes; asistencia y reparación a las víctimas; y focalización de grupos vulnerables ante el delito de desaparición -como mujeres, personas migrantes, niñas, niños y adolescentes, entre otros.

El trabajo a realizarse para la atención del fenómeno de las desapariciones en México, requiere la mayor coordinación y preparación técnica; es la vía por la que se podrán construir

mecanismos que atiendan de la forma más eficiente las necesidades de los elementos más urgentes de la agenda. Con este breve ejercicio de recapitulación histórica se busca resaltar la evolución del fenómeno, posibilitando que el lector o lectora tenga una idea general de la dirección que ha tomado el Estado mexicano para su atención.

Referencias

- AMNISTÍA INTERNACIONAL (2013). *El juicio de la “Operación Cóndor”. Un avance en la lucha contra la impunidad*. Amnistía Internacional.
- CASTELLANOS, L. (2007). *México Armado. 1943-1981*. Ediciones Era.
- _____. (2018). “*Pasamontañas: zapatistas/concejales, 1994-2007*”, en Laura Castellanos, *Crónica de un país embozado. 1994-2018*. Ediciones Era. Págs. 183-222.
- COMVERDAD (2021). *Informe final de actividades*. Comisión de la Verdad del Estado de Guerrero. ARTICLE 19.
- CONVENCIÓN INTERAMERICANA SOBRE DESAPARICIÓN FORZADA DE PERSONAS (1994, 9 de junio). *Convención Interamericana sobre Desaparición Forzada de Personas*. Departamento de Derecho Internacional.
<https://www.oas.org/juridico/spanish/tratados/a-60.html>
- COSSÍO, J. (2014). *Algunas notas sobre el caso Rosendo Radilla Pacheco*. Anuario mexicano de derecho internacional. Vol. 14.
- GÓMEZ, T. (2019, 19 de mayo). *Epifanio: 50 años desaparecido*. Quinto Elemento Lab.
<https://quintoelab.org/project/epifanio-50-anos-desaparecido>
- MASTROGIOVANNI, F. (2014). *Ni vivos ni muertos. La desaparición forzada en México como estrategia de terror*. Grijalbo.
- MEYER, L. (2019). *Prólogo*, en C. Ovalle [*Tiempo suspendido*]. *Una historia de la desaparición forzada en México, 1940-1980*. Bonilla Artigas Editores.
- MORALES, J. (2007). *Memorias de un guerrillero sobreviviente. La guerra sucia del México de los 70's*. Edición del autor.
- OEA. (1994, 9 de junio). *Convención Interamericana sobre Desaparición Forzada de Personas*. Organización de Estados Americanos.
<https://www.oas.org/juridico/spanish/tratados/a-60.html>
- OVALLE, C. (2019). [*Tiempo suspendido*]. *Una historia de la desaparición forzada en México, 1940-1980*. Bonilla Artigas Editores.
- PELAYO, C. (2012). *El proceso de creación e incorporación de los estándares internacionales en materia de desaparición forzada de personas en México y su revisión por parte*

de la Corte Interamericana de Derechos Humanos en el caso de Rosendo Padilla.
Anuario Mexicano de Derecho Internacional 12: 959-1021.

ROBLEDO, C. (2016). *Genealogía e historia no resuelta de la desaparición forzada en México.*
Íconos: Revista de Ciencias Sociales, n. 155: 93-114.

RODRÍGUEZ, Ó. (2017). *Historia de la desaparición en México: perfiles, modus y motivaciones.*
Derecho y Ciencias Sociales N. 17: 247- 271.

VANDERWOOD, P. (1982). *Los Rurales mexicanos.* Fondo de Cultura Económica.

ZEMON, N. (1983). *El regreso de Martin Guerre.* Ediciones Akal.





Gobernanza para la búsqueda: la experiencia desde Jalisco

Margarita Sierra Díaz de Rivera

Hay muchas circunstancias por las cuales me encuentro cercana, y atenta, a la dolorosa realidad que vivimos respecto a personas desaparecidas en Jalisco. Terrible, pero cierto, que las personas lamentablemente somos ajenas a tantas realidades hasta que las enfrentamos de forma directa o indirecta.

No puedo, ni creo poder imaginarme, lo que viven las madres buscadoras, pese a que he acompañado sus procesos, actuando como un puente desde el espacio gubernamental en el que me he desenvuelto desde el año 2019.

Soy una convencida de que, para lograr una transformación de la realidad, es necesaria la colaboración entre todos los sectores en una clave de gobernanza — lo cual he reconocido siempre, aún desde la *cancha* de la sociedad civil organizada —.

Todas las formas de organización social que conocemos, incluyendo la administrativa que llamamos “gobierno”, se han creado para lograr el bien común, el bienestar colectivo y, por tanto, corresponde aportar a cada espacio de incidencia, de diálogo, apertura y aprendizaje.

En esa participación, debe prevalecer la visión holística —vinculada a la temática de este libro—, el pensamiento sistémico y el uso de las tecnologías para la innovación en la resolución

de problemáticas sociales. También, la apertura para aprender y desaprender, para descubrir conexiones: abrazar y aprovechar la neuroplasticidad que tenemos para reestructurar la forma en la que vemos, pensamos y hacemos, con el fin de prevenir y evitar los patrones que nos llevan a los mismos caminos andados.

Como acotación personal, en ese sentido, debo subrayar que nos enorgullece la posibilidad de incidencia con la que cuenta la Secretaría de Planeación y Participación Ciudadana, toda vez que ha consolidado el esfuerzo que se inició, desde hace varias décadas atrás, para lograr una implicación social — cotidiana — en los procesos de actuación gubernamental¹.

En el rol que he desempeñado respecto al tema de personas desaparecidas, una de mis principales misiones ha sido la atención y escucha de familias, colectivas y colectivos: una función básica del sector público para reconocer las necesidades y planear acciones y estrategias que atiendan las situaciones de forma eficiente, digna y con sensibilidad humana.

Un ejemplo de esto ha sido la materialización de tantos diálogos y conversaciones en lo que ahora es la Ley de Personas Desaparecidas del Estado de Jalisco (2021). Si bien la versión final fue trabajada desde el Poder Legislativo, la base y fundamento de la misma surgió de un sinfín de reuniones que permitieron integrar los saberes comunitarios de las madres buscadoras con la perspectiva legal y técnica del despacho jurídico del Gobernador.

Así, se construyó una base sólida sobre la cual andar, cuidando la estructura o instrumentación que le diera vida a la perspectiva participativa. De esta forma, en el artículo 17 de la legislación se estableció la creación de un Comité Coordinador, cuyo objeto se establece en el punto 3:

[...]

El Comité tiene por objeto coordinar, diseñar y evaluar los esfuerzos de vinculación, operación, gestión, evaluación y seguimiento de las políticas públicas, procedimientos y acciones entre las distintas autoridades estatales y municipales relacionadas con la investigación de los delitos en materia de la Ley General, prevención, identificación forense y búsqueda de Personas Desaparecidas, para dar cumplimiento a las determinaciones del Sistema Nacional y de la Comisión Nacional, así como a lo establecido en la Ley General.

1 El primer esfuerzo que hemos identificado al respecto data de la administración del presidente Miguel de la Madrid, cuando en 1983 se aprobó la Ley Federal de Planeación. En la legislación se institucionalizaron las consultas populares y se creó también el Sistema Nacional de Planeación Democrática.

El Comité Coordinador estará integrado por:

- I. Persona Titular del Ejecutivo del Estado, quien presidirá el Sistema Estatal;
- II. Persona Titular de la Secretaría de Planeación y Participación Ciudadana (SPPC);
- III. Persona Titular de la Comisión de Búsqueda del Estado (COBUPEJ);
- IV. Persona Titular de la Secretaría Técnica de la Comisión Ejecutiva Estatal de Atención a Víctimas (CEEAV);
- V. Persona Titular de la Fiscalía Estatal (FE);
- VI. Persona Titular de la Fiscalía Especial de Personas Desaparecidas (FEPD);
- VII. Persona Titular de la Secretaría General de Gobierno (SGG);
- VIII. Persona Titular del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses (IJCF);
- IX. Persona Titular de la Coordinación General Estratégica de Desarrollo Social (CGEDS);
- X. Persona Titular de la Secretaría de Seguridad (SS); y
- XI. Tres personas representantes que integran el Consejo Ciudadano designadas por dicho órgano [...]

Además de ser integrante del Comité, tengo el honor y responsabilidad de asumir la presidencia del mismo — en calidad de suplente—, por determinación del titular del Ejecutivo. Reconociendo la gran relevancia de atender dicha encomienda, reuní un equipo de tres personas conocedoras de la materia que colaboran, asesoran y trabajan cada día para que los trabajos acordados se lleven a cabo, así como para apoyar a instituciones involucradas en la búsqueda de personas e integrar los consejos o recomendaciones que emita el Consejo Ciudadano².

El Consejo Ciudadano ha sido clave para lograr la coproducción de políticas públicas, enfocadas a atender las principales problemáticas y buscar la garantía de los derechos humanos, así como la prevención y la no repetición de la violación de los mismos. Está conformado de la siguiente manera:

- Cinco familiares, con representatividad de mínimo tres regiones del estado.
- Tres especialistas de reconocido prestigio en la protección y defensa de los derechos humanos, la búsqueda de Personas Desaparecidas o en la investigación y persecución de los delitos previstos en la Ley General; entre ellos, se garantiza que una de las personas especialistas siempre sea especialista en materia forense.

2 El primer Consejo se conformó en el 2021 y, a partir de entonces, el Congreso del Estado realiza una convocatoria para que las personas que quieran formar parte del mismo presenten sus candidaturas.

- Tres personas representantes de organizaciones de la sociedad civil que trabajan en la protección de los derechos humanos.

Desde el Comité Coordinador hemos logrado la creación de dos mesas que sesionan regularmente de manera semanal:

- La primera corresponde a la Mesa Interinstitucional³ en la que, además de las personas titulares establecidas en la ley, participan la Coordinación de Análisis Estratégico del Despacho del Gobernador, la Subsecretaría de Derechos Humanos y la Dirección General de Comunicación Social.

Gracias a este mecanismo se ha creado el Centro de Atención Psicológica de la Fiscalía Especial en Personas Desaparecidas (FEPD), el Centro de Identificación Humana del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses (IJCF), un juzgado para la Declaración Especial de Ausencia y, por supuesto, el proyecto de la investigación “Interpretar la naturaleza para encontrar a quienes nos faltan” de la Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco (COBUPEJ).

- La segunda mesa es la de Células Municipales de Búsqueda, la cual ha sido impulsada con gran interés por la Secretaría General de Gobierno⁴. Actualmente está compuesta por los cinco municipios más grandes del área metropolitana de Guadalajara (AMG): Tlajomulco de Zúñiga, Guadalajara, San Pedro Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan.

Esta mesa fue instalada el 4 de mayo del 2022 y, sus principales objetivos, son desarrollar las estrategias de coordinación entre los grupos de búsqueda del AMG con la FEPD, COBUPEJ y la Comisión Ejecutivo Estatal de Atención a Víctimas (CEEAV); generar una agenda metropolitana; homologar capacitación y compartir buenas prácticas.

Los aprendizajes que han devenido de estos espacios han permitido articular avances fundamentales para la realidad de las familiares, colectivas y colectivos.

Trabajando en clave de gobernanza, no podemos quedarnos solo en la escucha activa, tenemos que materializar trabajo de campo, aterrizar las ideas “tallando lápiz”, hacer preguntas y definir rutas de acción de forma colaborativa. Lograr cambios de forma sostenible requiere que las ideas se vuelvan instrumentos normativos, protocolos, acciones y hechos, no solo buenas intenciones.

3 Se realizan en Casa Jalisco. Hasta junio de 2024 se contabiliza más de un centenar de reuniones.

4 Sesiona en Palacio de Gobierno.

En ese sentido, también hemos configurado mecanismos de participación directa con quienes enfrentan la desaparición de sus seres queridos.

En mayo de 2023, oficialmente instalamos una reunión mensual con las organizaciones. A partir de dichos diálogos, se desarrolló un encuentro que reunió a representantes de 18 colectivos y a dos familias —que no pertenecen a algún grupo específico—, en conjunto con la Secretaría General de Gobierno y las instancias del Sistema Estatal de Búsqueda.

Como producto del trabajo conjunto, también se enriqueció el Protocolo de Seguridad en las Búsquedas de Campo, integrando las experiencias y saberes de las y los familiares con los marcos normativos y técnicos requeridos. Este ejercicio se replicó para atender otro de los puntos centrales reclamados: la prevención de la desaparición.

Otra experiencia exitosa de la colaboración fue el proceso de selección participativa de la persona Comisionada de Búsqueda, en donde las personas familiares tuvieron un rol fundamental.

También, la ejecución de la gobernanza ha permitido implementar una ruta de innovación. En la actualidad se reconoce que los datos son un gran tesoro del mundo y el llegar a ellos, de forma ágil, segura, ética y articulada, es un gran reto. Responder a la pregunta “¿quiénes nos faltan?” ha implicado sesiones extenuantes de reflexión y análisis, con distintas personas expertas y analistas para la creación de lo que ahora es el Registro Estatal de Personas Desaparecidas: un sistema informático que concentra la información de quiénes han sido reportadas como personas desaparecidas ante las autoridades del estado de Jalisco.

Su administración y operación está a cargo de la COBUPEJ. Sin embargo, el gran beneficio es que se concentran las cifras de los casos que cuentan tanto con reporte de búsqueda como con una carpeta de investigación. En el Registro se puede encontrar información histórica tanto de las personas cuyo paradero aún permanece desconocido, como de quienes ya han sido localizadas⁵.

El rol de la tecnología es elemental cuando su desarrollo y aplicación se enfoca para el bien común, permitiendo la integración de un gran número de datos de forma sistemática y sistémica, y en este caso, facilitando la inclusión de los saberes técnicos con los tácitos, eficientando el uso del tiempo para que, se atienda al mayor número de personas posible, de forma expedita, con calidad y calidez humana.

5 El Registro se actualiza de forma mensual.

Ante el problema de la desaparición de personas, los retos son muchos. Creemos que, en dos de ellos, se ha avanzado: por una parte, en la creación y consolidación de las instituciones necesarias y, por otra, el fortalecimiento de las capacidades y sensibilización de quienes participan en ellas. En este proceso, ha estado presente el pensamiento y aportación del titular del Ejecutivo, quien con un enorme compromiso ha apoyado a cada instancia y, en particular, al proyecto de investigación “Interpretar la naturaleza para encontrar a quienes nos faltan”.

Este libro es ya un referente respecto a cómo la tecnología y los saberes de las personas buscadoras se unen para dar paso a nuevas formas de hacer, todo lo que sea posible, para encontrar a las personas desaparecidas.

Deseo de todo corazón que un amplio sector de la población tenga acceso a lo que estas páginas nos ofrecen, para que entendamos que, todas y todos, en conjunto, podemos hacer mucho más para encontrar a nuestras personas desaparecidas y que, nunca más, nos falte nadie.

Referencias

SECRETARIA GENERAL DE GOBIERNO (2021). *Ley de Personas Desaparecidas del Estado de Jalisco*. Consultado de: Microsoft Word - Ley de Personas Desaparecidas del Estado de Jalisco-160321.doc (congresoal.gob.mx)

Madres buscadoras **y ciencia ciudadana**







Capítulo 1



Interpretando señales en la naturaleza: los saberes de mujeres buscadoras influenciando las prácticas de búsqueda en Jalisco

Miguel Moctezuma Barraza¹ y Karina G. García Reyes²
Contribución arbitrada

Palabras claves: mujeres buscadoras, colectivos de búsqueda, desapariciones, Jalisco, prácticas de búsqueda, feminismo forense, drones, análisis multiespectral.

Resumen: Este capítulo presenta y analiza las experiencias de cinco mujeres buscadoras del estado de Jalisco con dos objetivos. En primer lugar, documentar y reconocer las experiencias y saberes que las participantes del proyecto han acumulado en sus diversas búsquedas. A través de entrevistas semiestructuradas, los autores se enfocaron en recopilar información sobre cómo ellas han aprendido a identificar señales y patrones en la naturaleza para identificar la ubicación de fosas clandestinas. En segundo lugar, se pretende explicar cómo estas experiencias y saberes han influenciado las prácticas de búsqueda en Jalisco mediante la incorporación de drones equipados con capacidades de análisis multiespectral, luego de poner a prueba estos métodos en campos de experimentación.

I. Introducción

El proyecto “Interpretar la naturaleza para encontrar a quienes nos faltan” ha recogido las experiencias de mujeres buscadoras para aprender de sus testimonios y conocimientos

-
- 1 Maestro en Políticas Públicas (Universidad de Oxford); Maestro en Gobierno y Asuntos Públicos (UNAM). Coordinador del Programa de Seguridad Global de la Universidad de Oxford.
 - 2 Doctora en Ciencias Políticas (Bristol). Experta en crimen organizado y violencia relacionada al narcotráfico. Autora del libro “Morir es un alivio”. Profesora investigadora de la Universidad del Oeste de Inglaterra (UWE) en el departamento de Criminología.

empíricos obtenidos durante sus extensas búsquedas en campo. Los científicos involucrados en este proyecto, como se explicará en el resto de este libro, desarrollaron hipótesis basadas en estos conocimientos, y las pusieron a prueba con diferentes instrumentos tecnológicos en campos de experimentación. Así, se ha iniciado un ciclo de aprendizaje mutuo para que, el conjunto de conocimientos de las mujeres buscadoras y la tecnología implementada por expertos, sumen a los esfuerzos de las autoridades y de las personas involucradas en procesos de búsqueda en el estado de Jalisco.

Dentro de un marco transdisciplinario y de complementariedad metodológica, en este proyecto participan diversos actores: mujeres buscadoras, la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco, empresas, universidades y artistas. El resultado no es una suma de saberes, sino una convergencia o validación convergente (Vasilachis, 1993).

Desde la declaración de la guerra contra las drogas en el 2006 y la consecuente militarización de la seguridad pública, aumentaron drásticamente la violencia y las desapariciones en México (Hernández Castillo, 2019; Martos y Jaloma, 2021). A la fecha, primer semestre de 2024, el número total de desaparecidos en el país es de 115,781 (Comisión Nacional de Búsqueda, 2024), de los cuales la mayoría se registró en los últimos quince años (Zulver y Kloppe-Santamaría, 2024).

En este contexto, han surgido distintos grupos de familiares de desaparecidos que se organizan para buscar a sus seres queridos. En particular, han destacado los colectivos de mujeres que en su mayoría son madres de las víctimas de desaparición. En un inicio, estos colectivos realizaban sus búsquedas de manera improvisada e individual, pero con el paso del tiempo se han ido capacitando con la ayuda principalmente de otros colectivos de mujeres buscadoras de otros estados del país (Zúñiga, 2022).

La lucha y contribución en materia de búsqueda de personas desaparecidas de estos colectivos son sumamente relevantes para la academia. Destacan su constancia, autoorganización y capacidad de generar conocimiento empírico, el cual es una contribución importante a las diferentes disciplinas en ciencias forenses y sociales (Castro, 2021; Torres et al., 2023).

Recientemente, por ejemplo, resalta la labor del colectivo Milynali Red en el estado de Tamaulipas. Este grupo se dio a la tarea de diseñar un protocolo de búsqueda el cual “registra una memoria local, la del sur de Tamaulipas, espacio con características geográficas que se

distinguen de zonas áridas, desérticas o semidesérticas, [las cuales] responden a contextos naturales diferentes” (s.f., párr. 2)³. Otros colectivos del país, como se discutirá más adelante, también han compartido sus lecciones aprendidas a través de cursos y talleres, o bien a través de la comunicación directa entre sus miembros (Oikión Solano, 2021; Torres et al., 2023) Este proyecto en el estado de Jalisco pretende sumarse a estos importantes esfuerzos. El grupo transdisciplinario busca contribuir a través de la incorporación de diferentes tecnologías que puedan complementar el trabajo de los colectivos y autoridades para hacer sus búsquedas más seguras y eficientes.

Por ejemplo, basado en los resultados de dos sitios experimentales que reproducen la evidencia narrativa de mujeres buscadoras, los análisis de contexto y dictámenes de riesgo para los planes de búsqueda en Jalisco ahora incluyen, sistemáticamente, análisis multiespectral utilizando drones. Se han explorado también otras tecnologías, como análisis térmico, ondas sísmicas de alta frecuencia, resistividad eléctrica e inteligencia artificial. También se consideran la entomología y botánica forense, análisis territorial, así como estudios biológicos y fisicoquímicos del suelo.

El proyecto ha desarrollado dos espacios de experimentación, ubicados en los municipios de Tonalá y Tlajomulco de Zúñiga, con 16 fosas simuladas cada uno. Simulando las características de entierros clandestinos, cadáveres de cerdos donados al proyecto se someten a procesos como fragmentación, exposición a calor extremo y se envuelven en plástico o cobijas. También se han incluido fosas experimentales con capas de cemento, cal o piedras. Los detalles de estas tecnologías, estudios y sitios de experimentación se explican en los diversos capítulos de este libro.

En este artículo proporcionamos un marco contextual que pone en el centro la dimensión humana y la razón de ser de los experimentos con las diferentes tecnologías. Se presentan las experiencias de cinco mujeres voluntarias, involucradas en el proyecto desde su inicio, para documentar sus saberes y experiencias interpretando señales en la naturaleza para identificar entierros clandestinos.

3

Para más información, consultar la página oficial del colectivo: <https://www.milynalioredcfc.org/>

Las experiencias de las mujeres buscadoras representan una forma crucial de evidencia narrativa (Dillion y Craig, 2021) que ha sido fundamental para la integración de diversas tecnologías en las prácticas de búsqueda de personas desaparecidas en Jalisco.

Así pues, este capítulo tiene dos objetivos. Primero, compartir las vivencias y lecciones aprendidas de cinco mujeres buscadoras participantes del proyecto. Segundo, analizar sus historias para documentar los saberes adquiridos y describir cómo, las experiencias y conocimientos de los colectivos, han contribuido al rediseño de las actuaciones institucionales.

El capítulo se organiza de la siguiente manera: primero se hace una revisión breve del estado del arte. Después, se explica la metodología utilizada para recopilar las experiencias de las mujeres buscadoras. La tercera parte aborda las consideraciones éticas observada al realizar esta investigación. En la cuarta sección se presentan fragmentos de las cinco entrevistas y se analiza cómo las participantes han aprendido a identificar señales y patrones en la naturaleza para localizar fosas clandestinas.

Posteriormente se describe cómo, a partir de este bagaje, se ha impactado en las prácticas de búsqueda en Jalisco. Finalmente, se presentan los retos a futuro y áreas de oportunidad que señalaron las participantes.

II. Antecedentes

A través de un análisis selectivo, en torno a estudios académicos que abordan la lucha grupos de familiares de desaparecidos en diferentes estados de México, esta sección presenta una breve discusión del estado del arte.

Por limitaciones de espacio, esta revisión no pretende ser exhaustiva, y se propone dos objetivos: a) contextualizar el caso del estado de Jalisco vis-a-vis⁴ otros casos estatales en el país, y b) discutir los temas en común que se identificaron en literatura especializada y que se confirman en las entrevistas realizadas a las cinco voluntarias de esta investigación.

A raíz de la desaparición de los 43 estudiantes de la Escuela Normal Rural de Ayotzinapa en el estado de Guerrero en septiembre de 2014, se visibilizó el fenómeno de desaparición y búsqueda de personas a nivel nacional, así como las múltiples violaciones a los derechos

4

Expresión extranjera que puede interpretarse como “cara a cara”, “sin intermediarios”.

humanos de las víctimas (Hernández 2019; Ramírez, 2019). Desde entonces, las experiencias de grupos y colectivos creados por los familiares de las víctimas de desaparición en diferentes estados de México se han documentado ampliamente.

En el creciente número de estudios sobre colectivos de mujeres buscadoras del país se destacan al menos cuatro temas, los cuales también fueron identificados en las entrevistas a las voluntarias del proyecto en Jalisco. Primero, el reconocimiento de que el surgimiento de estos grupos de búsqueda responde a la falta de respuesta de las autoridades en los tres niveles de gobierno (Castro, 2021; Fellati et. al, 2022; Olarte et al., 2023; Ramírez, 2019; Schwartz y Cruz, 2018; Torres y Smith, 2023). Este telón de fondo, que pareciera obvio, no siempre se reconoce, o pasa a segundo plano, cuando se habla de los colectivos de mujeres buscadoras.

Así que, como punto inicial para contextualizar los testimonios de las participantes de esta investigación, y como bien señala Ramírez (2019), hay que enfatizar que “el hecho de que existan y proliferen los grupos y colectivos de búsqueda de personas desaparecidas no sustituye o reemplaza las obligaciones estatales” (p. 105). Que no se normalice la existencia de estos grupos de resistencia como lo advierten Martos y Jaloma (2021), y que quede claro: las autoridades locales, estatales y nacionales son las responsables de buscar y encontrar a las personas desaparecidas.

Segundo, los casos de corrupción, impunidad y revictimización de familiares de los desaparecidos por parte de las autoridades son, tristemente, una experiencia común documentada por académicos en diferentes estados. Algunos casos recientes: Nuevo León (CADHAC, 2020; Iliná, 2020; Irazusta, 2020), Sinaloa (Hernández y Robledo, 2020), Morelos (Fernández, 2023), Michoacán (Oikión, 2021), Nayarit (IDHEAS, 2020), Veracruz (del Palacio, 2020), Sonora (Castro, 2021; Zúñiga, 2022), entre otros.

En todos éstos, la constante es la “deshumanización y la impunidad, resultantes de la colusión entre autoridades y criminales...” (Durin, 2020, p. 25). A nivel nacional, como los colectivos de familiares en Veracruz denuncian, “la indolencia de todo el sistema de justicia y la criminalización y hostigamiento a los familiares por parte de las autoridades de todos los niveles [...] resulta en una total impunidad” (Del Palacio, 2020, p. 17). Un punto alarmante que hay que resaltar es que la creciente corrupción y colusión entre grupos del crimen organizado y autoridades en los tres niveles de gobierno, no sólo revictimiza a los familiares desaparecidos, sino que también pone en riesgo su propia integridad física (Martos y Jaloma, 2021, p. 99).

Tercero, se destaca la dimensión de género en la búsqueda de personas desaparecidas. La gran mayoría de las personas que conforman los diferentes grupos y colectivos de búsquedas son mujeres: esposas, madres, hijas o hermanas de las personas desaparecidas (Torres y Smith, 2023; Oikión 2021; Iliná, 2020; Hernández, 2019; Ramírez, 2019).

Esta característica de los grupos de buscadoras es un patrón no sólo en México, sino en otros países de Latinoamérica con casos significativos de desapariciones, como el caso de las madres de la plaza de mayo en Argentina y el Grupo de Apoyo Mutuo en Guatemala (Hernández, 2019, p. 101). Iliná (2020) sugiere, desde una mirada feminista, que una de las razones por las cuales los colectivos están formados mayoritariamente por mujeres es que ellas están

...acostumbradas a enfrentar la adversidad derivada de las relaciones desiguales de género [que] construyen resistencias que van desde la subjetividad y el simbolismo hasta la acción, con el fin de alcanzar su objetivo, poderosamente enraizado en la dimensión de su identidad y valores como madres y esposas: encontrar a sus seres queridos desaparecidos (p. 133).

De igual manera, Hernández (2019) argumenta que es precisamente su identidad como madres la que les permite “movilizarse políticamente para obtener la solidaridad de la sociedad civil [incluso les brinda] una “relativa protección” ante los grupos del crimen organizado que controla la zona” (pp. 101-102). Esto en un contexto cultural en el que la figura materna parecería tener especial respeto. Sin embargo, como aclara Hernández (2019), al indagar más a fondo las historias de las buscadoras nos damos cuenta de que, a pesar de su rol de madres, están significativamente expuestas a la violencia de los grupos criminales. Tal fue el caso de Marisela Escobedo, asesinada en 2010 en Chihuahua, y Sandra Luz Hernández asesinada en 2014 en Sinaloa (Hernández, 2019, p. 102).

El cuarto tema, sobre el valor y reconocimiento de los saberes producidos por los colectivos de mujeres buscadoras, se abordará aparte ya que éste es el centro analítico del presente capítulo. Como se discutirá en la sección de metodología, las entrevistas a las mujeres buscadoras de Jalisco se realizaron con el propósito de aprender de sus experiencias y en particular, nos enfocamos en documentar cómo es que ellas aprendieron a reconocer las señales en la naturaleza para identificar entierros clandestinos.

2.1. Los saberes producidos por los colectivos de mujeres buscadoras

De manera directa e indirecta, gran parte de la reciente literatura sobre búsqueda de personas reconoce el valor de los saberes producidos por los colectivos de mujeres buscadoras (Falleti et al., 2022; Freier, 2023; Hernández, 2019; Olarte-Sierra et al., 2023; Robledo, 2019; Schwartz y Cruz, 2018; Torres y Smith, 2023). Estos estudios han registrado cómo los miembros de estos colectivos han tenido que aprender, de forma empírica, desde antropología forense hasta cuestiones legales (Torres y Smith, 2023; Falleti et al., 2022; Iliná 2020; Hernández Castillo, 2019; Ramírez Hernández, 2019).

En general, hay un consenso respecto a que el conocimiento que producen los colectivos de buscadoras no sólo complementa, sino que también suma a los conocimientos científicos y legales (Castro, 2021; Cruz, 2020; Falleti et al., 2022; Olarte-Sierra et al., 2023; Robledo, 2019; Schwartz y Cruz, 2018; Solano, 2021; Torres et al., 2023; Zúñiga, 2022). Como lo señalan Torres y Smith, estas organizaciones “han desarrollado prácticas forenses únicas y transformadoras para buscar a sus seres queridos desaparecidos” (2023, p. 174), las cuales deben ser reconocidas y, de ser posible, adoptadas por las autoridades para que, en conjunto con las familias, se puedan ir mejorando protocolos de búsqueda porque:

Se han consolidado desde la búsqueda en los cerros, en las calles, dentro de hospitales, centros de rehabilitación, cárceles, por mencionar sólo algunos. Constituyen un saber corporal, gestual y emocional, sostenido en experiencias de encuentros, procesos, y sistematizado en prácticas colectivas. Un saber que nace de la pérdida y, al mismo tiempo, del sentido que dan a sus propias vidas (Diéguez Caballero en Freier, 2023).

Sin embargo, a pesar de este reconocimiento, al menos desde la academia, dichos saberes aún se pueden considerar subyugados. Es decir, se consideran inadecuados y se descalifican por no tener la cientificidad suficiente (Foucault, 1980, pp. 81-82). Esto deriva del modelo hegemónico de la producción de información, el cual invalida el conocimiento producido por sujetos o instituciones que no sean académicos (Falleti et al., 2022). Desde este paradigma, el saber que no sea producido siguiendo un método científico no se reconoce como tal, y se concibe como simples creencias u opiniones sin valor para la investigación científica. Bajo este



argumento, se invisibilizan conocimientos alternos como aquellos producidos por las mujeres buscadoras, Robledo explica (2019, p. 153):

Esta racionalidad del conocimiento científico en el campo de las exhumaciones y la identificación de restos humanos **tiende a excluir la sensibilidad de la experiencia de quienes buscan a sus seres queridos**, sus necesidades situadas y las formas diferenciadas de sufrimiento social, reproduciendo relaciones de diferenciación basadas en la descalificación e inferiorización de ciertos conocimientos y prácticas.

Hernández (2019) señala que, desde esta jerarquía epistémica, “el conocimiento científico de la genética, la antropología física, la arqueología y en algunos casos la antropología social, se impone por sobre los saberes locales de los familiares, que son vistos solo como “testimonios de víctimas secundarias” (p.114).

Ahora bien, desde el punto de vista de los científicos forenses, uno puede entender que se cuestione el involucramiento de los familiares de los desaparecidos en la búsqueda de sus seres queridos.

Si bien es cierto que los colectivos de familiares hoy por hoy cuentan con un conocimiento y entrenamiento mínimos para no dañar o contaminar los cuerpos al momento de hacer sus búsquedas, también hay que reconocer que no se sabe con certeza si todos los grupos de buscadores observan las mismas medidas de precaución. Así que el riesgo de “...una exhumación ‘no cualificada’ de cuerpos podría contaminar o hasta destruir evidencias” (Lorusso, 2019, p.74). En esta misma línea, en entrevista con la Doctora en Ciencias Culturales Anne Huffschnid, el forense peruano Franco Mora, miembro de los equipos independientes de búsqueda de los 43 estudiantes de Iguala, comentó que la llamada ciudadanía forense “...equivaldría a la brutalización de los familiares y la banalización de la labor forense en sí, prescindiendo además de cualquier validez legal” (Huffschnid, 2015, p. 198).

Sin embargo, como bien señala Huffschnid, no hay que perder de vista que, como mencionamos al inicio de esta sección, la búsqueda activa con picos y palas de los familiares de las personas desaparecidas responde a la negligencia del Estado “...y debe ser interpretada como advertencia y síntoma de desesperación y hartazgo ante la insuficiencia e ineficacia de las

autoridades correspondientes cuyos operativos fueron calificados por Amnistía Internacional como “caóticos y hostiles” (2015, p. 198).

Dicho esto, no minimizamos las preocupaciones de los científicos forenses, quienes al igual que los familiares, buscan que las exhumaciones se realicen con el mayor de los cuidados y respetando los debidos procesos. De hecho, cabe destacar que las diferencias se dan incluso entre los mismos colectivos de búsqueda de familiares. Por ejemplo, en el caso de Veracruz, se documentaron tensiones ante la reticencia de algunos grupos a realizar búsquedas en campo por tres motivos (Martos y Jaloma, 2021, p. 103):

[Primero] el miedo ante la falta de condiciones de seguridad para ese tipo de acciones en Veracruz y en el país en general, [segundo] en la posibilidad de “contaminar” los sitios de los hallazgos y las evidencias, y [tercero] en las implicaciones políticas y los efectos institucionales contraproducentes de la búsqueda en terreno, en términos de remplazar al Estado en sus responsabilidades en la procuración de justicia.

Lo que resulta claro es que tanto expertos como familiares tienen un objetivo en común: encontrar e identificar a los desaparecidos, pero se enfrentan a diferentes retos y limitaciones.

En la investigación cualitativa de Torres y Smith (2023), dialogaron con expertos forenses quienes argumentaron que las mujeres buscadoras no tenían el “conocimiento científico necesario” (p. 190) y que el proceso de exhumación es tarea de expertos. En este mismo estudio, en entrevista con la líder de un colectivo de búsqueda, ella se queja del trabajo de los expertos forenses y describe su trabajo como “levantamientos exprés”, ya que no observan propiamente los protocolos forenses. En respuesta a esta queja, la experta forense del estado respondió: “es que esto es una excavación forense, no de restos antiguos en donde tienen todo el tiempo del mundo. Aquí no hay tiempo, hay que ser prácticos” (p. 179).

Esta tensión, entre expertos del estado y las exigencias de los familiares de las víctimas, pone sobre la mesa cuestiones burocráticas poco relacionadas con la producción de conocimiento científico, pero que afectan significativamente la búsqueda de las autoridades, y motivan la movilización de los colectivos. Es en este punto de inflexión que consideramos se tiene que posicionar el tema de la búsqueda en campo de los colectivos de familiares de desaparecidos. Es decir, el debate sobre el valor de los saberes producidos por personas no expertas, mujeres



buscadoras, debe ir más allá del aspecto epistemológico, y se debe de entender como un esfuerzo colectivo que se produce y se reproduce ante la inoperancia del Estado mexicano.

Finalmente, otra razón por la que los saberes de los colectivos de familiares buscadores son cuestionados es que están vinculados emocionalmente con las víctimas de desaparición. Por lo tanto, dicha emotividad les aleja de la objetividad que se requiere en la investigación científica (Schwartz y Cruz, 2018). Arely Cruz (2017), experta en tecnologías forenses, rechaza este argumento y cuestiona la dicotomía rígida entre expertos y no expertos. Desde lo que denomina “feminismo forense”, Cruz sugiere que existen diferentes formas de “...entender y practicar las ciencias forenses [las cuales se vinculan a] una ‘objetividad situada’ ...que nace del dolor y la vulnerabilidad...”. La presente investigación se basa en esta premisa.

Lo fundamental para este proyecto es reconocer que existen diferentes maneras de producir conocimiento, y que no todas necesariamente se generan desde la academia o el gobierno. Las experiencias de campo de los familiares que han buscado a sus seres queridos en montes, terrenos baldíos, ríos secos, casas abandonas, desiertos y espacios que con los años aprendieron a interpretar, son saberes por sí mismos que, de reconocerse debidamente, tienen mucho que aportar a la academia y a las búsquedas dirigidas por los gobiernos. Como lo señala Oikión (2021), los saberes y actuación de los colectivos y grupos de búsqueda “...por momentos, supera con mucho al personal de los servicios periciales [estatales]” (p. 107).

En la sección, se rescatan algunas de esas experiencias y, en el caso del estado de Jalisco, con el objetivo de aprender de ese conocimiento alternativo que, no por nacer desde el dolor, es menos valioso. Al contrario, como nos han mostrado de manera incansable estos colectivos, no hay motivación más poderosa que la de un familiar guiado por el amor y la desesperación de poner fin a una vida de incertidumbre y de temor.

III. Metodología

Como se mencionó en la introducción, este proyecto es un esfuerzo transdisciplinario en el que participan diversos actores estatales, académicos y de la sociedad civil. De parte del gobierno, participa la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco y el Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses. Del área académica nacional han contribuido especialistas y funcionarios de CentroGeo, la Universidad Nacional Autónoma de México (a través del Instituto de Geofísica

y la Facultad de Ingeniería), la Universidad de Guadalajara (a través del Centro Universitario de la Costa Sur, el Centro Universitario de Tonalá y el Museo de Ciencias Ambientales), la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Del sector empresarial han participado Bitelemetric y Ciclos GIP. Y desde la academia internacional, investigadores de la Universidad de Oxford y de la Universidad del Oeste de Inglaterra, autores del presente capítulo. Y, las integrantes que consideramos son la pieza clave, y quienes son la esencia del proyecto: las mujeres voluntarias del colectivo de búsqueda.

Basándonos en una metodología cualitativa, se realizaron entrevistas semiestructuradas a cinco voluntarias de estos colectivos durante los meses de mayo y junio de 2024. Los diálogos se concretaron virtualmente con una duración de alrededor de dos horas cada una. El criterio de inclusión en esta investigación consistió en ser participante de algún colectivo de búsqueda de Jalisco; la invitación para colaborar se extendió a través de la representante del colectivo.

Con el consentimiento de las participantes, las entrevistas se grabaron para recopilar material de análisis y de transcripción para los autores. Una vez completadas las entrevistas a las voluntarias, los autores entrevistaron a Tunuari Chávez, director de Análisis de Contexto de la Comisión de Búsqueda de Jalisco, con el objetivo de plasmar también la experiencia de la institución y de cómo ésta ha incorporado en sus prácticas de búsqueda los conocimientos y experiencias de las mujeres buscadoras.

3.1. Consideraciones éticas

El presente trabajo de investigación fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad del Oeste de Inglaterra (UWE por sus siglas en inglés) a principios del mes de mayo 2024. Siguiendo sus lineamientos, las participantes recibieron por correo electrónico la hoja de información del proyecto (Anexo 1) y la hoja de consentimiento informado (Anexo 2). Además, los autores adjuntaron un documento incluyendo las catorce preguntas que se realizarían en la entrevista. Esto para que tuvieran el tiempo suficiente y la tranquilidad de revisar las preguntas y, de ser necesario, avisar a los investigadores si preferían no responder alguna pregunta en particular.

Como las entrevistas se realizaron virtualmente, ni las participantes ni los autores corrieron riesgos en su integridad física. En cuanto al riesgo emocional para las participantes, el Comité de Ética solicitó a los autores dos medidas para minimizar lo más posible la exposición

innecesaria a recuerdos dolorosos: a) que no se incluyeran preguntas sobre la desaparición de su ser querido, y b) como se dijo antes, enviar el cuestionario para prepararse y que supieran qué esperar de la entrevista. Aunque las participantes expresaron no tener problema en revelar su identidad, los autores les asignaron seudónimos por indicación del Comité. Además, no se incluyen detalles específicos relacionados directa o indirectamente con las participantes. Esto para minimizar cualquier riesgo ligado a su participación en la investigación.

Dicho esto, los autores reconocen la necesidad de visibilizar las experiencias de búsqueda de los familiares de las víctimas de desaparición, y que como ellas mismas lo indican, esto implica dar nombres y apellidos para que sus familiares no queden en el olvido.

IV. Las experiencias de búsqueda de cinco mujeres buscadoras

Esta sección analiza las experiencias de búsqueda de cinco mujeres buscadoras del estado de Jalisco. Para proteger su identidad, las participantes se renombraron como Ana, Regina, Lola, Alba y Lidia. Se presenta a cada una de ellas de manera breve, enfatizando que no se incluyen detalles que las puedan identificar. Con este fin, se ha omitido el parentesco de la participante con la víctima de desaparición, pero cabe destacar que se entrevistó a madres, hermanas y parejas.

Ana

Ana comenzó la entrevista compartiendo que la Fiscalía le reportó que, un día antes de la entrevista, se había identificado a uno de sus seres queridos:

Ayer me llamaron de Fiscalía, [preguntaron] que si podía acudir a las instalaciones. [La persona] me dijo que me iba a enseñar imágenes muy fuertes; [...] me empezó a mostrar las imágenes y eran todos los tatuajes de mi [familiar]. Sí era él. [...] Me falta uno, la lucha continua. Cuando termine con ustedes, voy al SEMEFO.

El día previo a la entrevista, Ana había buscado a su familiar por dos años, un mes y dieciocho días. Otro miembro de su familia sigue desaparecido, lleva dos años, cuatro meses y veintidós días en su búsqueda.

Regina

El familiar de Regina lleva seis meses desaparecido. A los 12 días de haber reportado su desaparición a las autoridades ya se había integrado a un colectivo de búsqueda en Jalisco.

Mi [familiar] desapareció por haber visto y haber escuchado una información que no debió de haber tenido. [...]

Lola

Al momento de realizar la entrevista, el familiar de Lola llevaba 2 años y 8 meses de estar desaparecido.

Cuando desapareció mi [familiar], siete meses atrás habíamos tenido dos pérdidas [...]. Tuvimos 3 pérdidas en 7 meses.

Alba

Alba lleva ocho años buscando a cuatro familiares desaparecidos desde el 2016. Alba lo ha intentado todo para encontrarles; ha pertenecido a 15 colectivos de búsqueda:

Todas somos una familia; tenemos el mismo dolor.

Lidia

El familiar de Lidia fue inicialmente víctima de desaparición forzada. Fue liberado tras pagar un rescate, pero fue nuevamente secuestrado y, esta vez, desaparecido:

Hace 8 años desapareció mi [familiar]. Inicialmente fue víctima de una desaparición forzada; fueron policías estatales quienes lo privaron de su libertad, pidiendo dinero directamente. Regresó [pero] a los meses, un día recibió una llamada cuando estaba desayunando [...] se levantó, dejó el desayuno y pues ya no regresó.

4.1. Las búsquedas y los saberes recopilados por las mujeres buscadoras

Como las experiencias documentadas en otros estados del país, las cinco participantes coinciden en que sus colectivos dependen de métodos manuales para localizar fosas clandestinas. Al



explorar diferentes espacios, buscan indicadores naturales como depresiones, nuevos bultos, agujeros, insectos, mezclas de tierra o flores inusuales que puedan ser indicios de cuerpos enterrados. Una vez detectados dichos indicios, las buscadoras insertan varillas en forma de T, que llaman videntes, en estos puntos. Luego, al retirarlas, las huelen para detectar el olor de la descomposición. Regina explica este proceso:

Es una varilla con la que construyen las casas [...], la que venden en la ferretería, normal. Esa es una varilla [a la que se le da] la forma [de T] que nosotros utilizamos para poderla sostener y penetrar el piso, pero es una varilla normal de fierro. Cuando hay un cuerpo, por lo general se va directa. No topa, o sea, no se atora absolutamente en nada. Cuando ponen el cuerpo, a veces le ponen cal o le ponen cemento, le ponen piedras. Entonces sí llega a topar. Nosotros hemos logrado identificar cuando el cuerpo está fresco, cuando el cuerpo ya está en forma esquelética, porque la tierra da un olor diferente, en la varilla queda impregnada.

Lo que queda claro en los testimonios de las participantes, es que todas rápidamente aprendieron a identificar señales en los diferentes terrenos en los que han buscado, y que las ayudan a decidir por dónde empezar a escarbar. Por ejemplo, Ana comenta que con el tiempo ella entendió que cuando hay cuerpos enterrados, la tierra tiene un comportamiento diferente:

La tierra empieza a abrirse. Es muy impresionante, como la misma tierra te va guiando. [...] Metemos la varilla y el hueco que va haciendo te va dando el caminito, porque empieza como a desmoronarse. Y [entonces] nosotras empezamos a escarbar ya con palas y picos.

De manera similar, Regina también aprendió a localizar fosas clandestinas observando la tierra y destaca que con la experiencia se aprende a detectar detalles que para otras personas podrían pasar desapercibidos:

Hasta un hoyito que [...] para la gente puede ser a lo mejor un hormiguero, para nosotras es diferente porque [...] hemos tenido mucho muchos hallazgos a través de esos pozos tan pequeños. Esos pocitos en el suelo no necesariamente corresponden a insectos, sino a [...] que la tierra se abre al momento de que hay un cuerpo; quedan huecos y por ahí es por donde nosotros metemos la varilla. Ahí es donde mucho nos ha dado lo positivo de los hallazgos que hemos tenido de los cadáveres. Si tú metes la mano, la

tierra se abre sola por esos huecos que dejan al momento de echar la tierra, o también cuando el cuerpo empieza a descomponerse. La expedición de los gases hace que la tierra afloje.

Lola, por su parte, también comparte cómo fue que adquirió su conocimiento a partir de la observación de patrones comunes en sus diferentes búsquedas:

Caminé hacia un costado de la antena y había un agujerito. Le empezamos a meter la pala y lo primero que nos sale es la dentadura. O sea, el gas [producido por el cuerpo] buscó una salida y esa salida fue por la parte donde estaba la cabeza. [...] Es cuando a nosotros se nos hace más fácil incrustar la varilla, es donde [si] se va, es porque hubo movimiento, [o sea que] escarbaron. Pudo haber sido un animalito, porque nos ha tocado [...], pero pues la tierra es muy sabia. Nada vuelve a ser igual después de haberla removido. [...]

Al igual que Lola y Regina, Ana enfatiza que entendió que para hacer más eficiente sus búsquedas, ella empezaba a escarbar en los lugares donde observara diferentes señales en la tierra, por ejemplo, donde encontrara “huequitos”:

Es como si fuera haciéndose una cuevita en el lugar en donde estuvo un ser humano completo; con el tiempo pasó a ser materia de la tierra y quedan nada más los huecos. Es muy curioso, porque en su descomposición queda como aire en la tierra y por eso se va abriendo el hueco.

Lola destaca lo que sería un punto en común en los cinco testimonios: para poder encontrar fosas clandestinas es necesario ser extremadamente observadora. Más allá de los instrumentos o la tecnología que se use, lo elemental es el análisis del suelo del terreno en cuestión. Lola comenta que, en su experiencia, es común encontrar cuerpos en lugares donde otros colectivos, o las mismas autoridades, ya habían buscado. En una ocasión, dice, le tocó encontrar cuerpos justo donde otras buscadoras se habían sentado a descansar:

[...] Como unos 22 días antes, un colectivo había hecho búsqueda [allí mismo] e hicieron sombrita para sentarse porque había un arbolito. Se sentaron justamente arriba de los cuerpos. [...]

Aunque algunos suelos duros no son usados para inhumaciones clandestinas, las mujeres buscadoras han encontrado excepciones, como es el caso de la tierra removida durante la



instalación de antenas eléctricas de alta tensión, que luego usan los criminales. Como lo señala Regina:

Cuando ponen las antenas hay mucho removimiento de tierra [...]. Nosotras marcamos dónde se va la varilla; hacemos como un cuadrante para saber de qué orilla a qué orilla trabajó la máquina [cuando removió tierra para colocar las antenas], y así nosotras podemos varillar a partir de ahí. Lo que nosotras hacemos es prácticamente estar teniendo la mirada fija en el piso y empezar a golpear. A veces al caminar se siente la tierra floja. [Al tocarla] con la mano, se empezó como a desbaratar, se empezó a abrir la tierra, entonces para nosotros eso fue como ese foco rojo, ¿no? Entonces se metió la varilla directamente, ahí entró casi toda la varilla. ¿Por qué? Porque estaba hueca la tierra y al sacar la varilla nos dio olor; era una fosa.

Regina describe y agrega que son capaces de identificar tierra arrastrada por las lluvias que originalmente fue removida durante la instalación de antenas eléctricas:

Cuando llueve, en la parte inclinada de los cerros la lluvia va arrastrando la tierra de las antenas. Pero nosotras, con la experiencia, sabemos cuando esa tierra la arrastró la lluvia, el agua. ¿Por qué? porque la tierra queda suelta. Aunque pase mucho tiempo, esa tierra no se compacta como estaba antes. Sabemos que esa tierra pues es arrastrada de algún lugar donde se escarbó. Para alguien que ya tiene tiempo en esto de la búsqueda, no es tan fácil que la tierra engañe.

Figura 1. Localización de fosa clandestina bajo antena de alta tensión



Nota. Imagen proporcionada por el colectivo de búsqueda.

En esta misma línea, Lola narra cómo la observación del suelo y la identificación de ciertos patrones, como los “hoyitos”, les ayuda a encontrar las fosas de manera más certera:

[En] todo el cerro la tierra está compacta, durísima [...]; no entra nada la varilla y hasta le das con el pico y está durísimo. Aquí lo que me llevó [a encontrar la fosa clandestina] fue que el gas buscó salida y se hizo ese hoyito.

Otra de las señales que las participantes indican han sido importantes en sus búsquedas son depresiones en el terreno, como lo especifica Lola:

Ya habían descartado ese lugar. [Pero] no sé, algo me decía, yo veía como ligeramente un hundimiento. [...] Entonces le empecé a escarbar.

Las participantes indican que han aprendido que las señales en la naturaleza cambian dependiendo del clima y las condiciones específicas del suelo. Así lo explica Regina:

El comportamiento del suelo tiene mucho que ver [por ejemplo] cuando el suelo es árido o cuando el suelo es húmedo. Hemos tenido [que] ir a buscar a terrenos de mucha humedad [y] terrenos áridos, secos. Los cadáveres se conservan más cuando el terreno es húmedo.

Lola y Lidia, respectivamente, agregan:

[Cuando la tierra] tiene un color como muy oscuro, muy café, húmeda, se puede decir fresca, es el tipo de suelo que mantiene más frescos los cuerpos. O sea, puede haber un cuerpo de muchos meses [de haber sido enterrado] y puede tener tejido. Si hay humedad, los cuerpos se conservan un poco más, hasta con tejido los encuentras. Y si están dentro de una bolsa de plástico y la tierra está un poco húmeda, aunque haya pasado tiempo tienden a tener un poco más de tejido.

Para evaluar los intervalos post mortem entre cuerpos depositados directamente o en bolsas de plástico, las mujeres utilizan la información anónima que reciben y los testimonios de testigos presentes en la búsqueda. Estas experiencias de mujeres buscadoras se discuten a detalle en el capítulo titulado: “Análisis tafonómico comparativo: la deposición y su relación



con la estimación del intervalo post mortem”. En este artículo se muestra, a partir de la experimentación con cadáveres de cerdos como parte de este proyecto, que al igual que en los testimonios de estas mujeres:

a pesar de haber muerto el mismo día, estar depositados en el mismo medio, tipo de tierra y estar expuestos a temperaturas y parámetros similares, [...] la variable determinante consistió en la condición de deposición de los cuerpos. [...] La bolsa plástica funcionó como medio de contención y conservación; mientras que, por otro lado, [...] al haber sido depositado directamente, [el otro] cuerpo [...] continuó con el proceso natural de descomposición y reducción (Miranda en Ávila et al., 2024, p. 594).

El aprendizaje de las mujeres buscadoras se extiende hasta el terreno de la entomofauna. En sus búsquedas se han encontrado con diferentes tipos de insectos que, con el tiempo, han aprendido a relacionar con la localización de fosas. Regina explica con detalle al respecto:

[...] Mucha gente cree que son animales comunes [...]; nosotras nos hemos dado cuenta de que cada insecto tiene algo muy especial. Esa es una característica muy especial y [también] podemos determinar el tipo de animales que aparecen, de insectos. Es diferente dependiendo el tipo del suelo. Los insectos que carcomen la carne son más difíciles que lleguen a terrenos con humedad; en un terreno seco, prácticamente pues se arrima de todo, desde escarabajos, desde moscas, larvas, incluso hasta hormigas. Hemos encontrado la hormiga reina, la principal, en los cadáveres.

Al momento de abrir, había canales que las hormigas hacen, [...] se conectaban la mayoría a donde estaba la fosa. [...] La hormiga reina estaba muy cerca de la fosa. Tenía su lugar allí, porque está lleno de mucha comida, [...] mucho alimento para ella. Encontramos 5 cuerpos, uno sobre otro; apilados. [...] No utilizamos ni siquiera pala ni pico, con la mano literal, como los animales, los perritos; a escarbar con la mano. Así dimos. Al momento de que la tierra se abre, nos dimos cuenta de ese hormiguero [...] y la hormiga reina estaba.

Alba también comenta sobre la importancia de los insectos como señal de una posible fosa clandestina:

Cuando entierran a alguien es como un abono; hay unos gusanitos. Cuando excavamos a 20, 50 centímetros empiezan a salir esos gusanitos y nosotros empezamos a escarbar más porque es cuando encontramos positivo.

Igualmente, Ana relaciona un tipo particular de gusanos con el encuentro de cuerpos:

[...] Salen como un tipo de gusanos, como los de las macetas; gusanos blancos gordos.

Lola agrega que, una vez encontrado el cuerpo, el tipo de insectos cercanos a éste pueden indicar también el tiempo que tienen enterradas las víctimas:

Tiene mucho que ver también el tipo de animal que encuentres en los cuerpos. Dependiendo del tipo de animal, es el tiempo que tienen los cuerpos de evolución cadavérica. [...] Las primeras son moscas; [y] siempre que escarbamos encontramos un gusanito blanco, que es parecido [al que aparece] cuando dura días sin pasar la basura. [...] Es un gusanito como como una larva que llega después de la mosca. Podemos encontrar escarabajos, cucarachas. Cuando hay cucarachas es casi un hecho de que hay cuerpos [porque] a las cucarachas les gusta comer grasa, carne.

Tunuari Chávez, de la Comisión de Búsqueda de Jalisco, señala que las moscas Calliphoridae y Sarcophagidae depositan sus larvas en tejidos en descomposición, que a su vez atraen a escarabajos que se alimentan de estas larvas y, en algunos casos, de los propios cadáveres. Esta aparición escalonada de entomofauna en los espacios de entierro ha permitido, dentro de las ciencias forenses, el desarrollo de una escala temporal de descomposición de los cuerpos (López et al., 2019). Los colectivos de búsqueda han aprendido a identificar y utilizar estos patrones y escalas de forma empírica, como lo indica Lola:

Figura 2. Fotografía de hormiga reina proporcionada por Regina



La experiencia te va enseñando. Tenemos voluntarios [de universidades] y les decimos, ustedes llevan la teoría y nosotros llevamos la práctica.

4.2. “Nuestros desaparecidos no están muertos del todo, porque donde ellos están, crece vida”

El título de este capítulo, “Interpretando señales en la naturaleza”, emerge de una de las experiencias más comunes que las participantes compartieron en las entrevistas. Todas indicaron que uno de los patrones más relevantes que han encontrado, al buscar indicios de fosas clandestinas, es el crecimiento de plantas, flores o pasto en el lugar donde están enterradas las víctimas. En palabras de Regina:

De las personas que encontramos en las fosas [...], esa vida da más vida, y nos referimos a lo que es la flora, la fauna. A fin de cuentas, nuestros desaparecidos no están muertos del todo, porque donde ellos están, crece vida.

De manera similar, Lola comenta que:

[En] la flora [...] nada vuelve a ser igual. Por ejemplo, en el cerro [...] puedes ver todo alrededor [...] y, curiosamente, donde se escarbó el pasto está verde. [...] Lo que pasa es que [...] todo lo que nos compone como como seres humanos la verdad es que la tierra lo aprovecha.

Alba recalca que si encuentran un pasto más verde en un terreno lo toman como señal de una posible fosa o cuerpo enterrado:

Entre todas vamos buscando los detalles para ahorrar trabajo porque es muy difícil; [...] nos fijamos en los detalles para poder dar con positivos. [Los cuerpos] son como un abono; [...] está floreciendo el pasto, crece más verde y es donde escarbamos más.

Lidia confirma:

Al momento de haber cuerpos, la poca flora que hay allí reverdece.

Ana narra cómo ella observa el terreno buscando diferencias en la vegetación para decidir dónde empezar a escarbar:

Ahorita en tiempo de calor, por lo regular tú volteas y ves las plantas marchitas, pero donde hay un poquito de humedad, las ves un poquito más frescas. [...] Hay zonas donde tú ves las plantas firmes y con un color natural muy bello. Si hay un cuerpo, va a haber humedad [...] que en el mismo cuerpo genera a la hora de su descomposición. Las plantas absorben y por eso siguen tan bonitas.

Lola también describe cómo en sus búsquedas la identificación de fosas está directamente ligada a los cambios en la flora del lugar:

Nos toca ver que crece pasto, [...] hasta árboles encima. Hemos encontrado cuerpos enraizados, o sea, la raíz les rodea el pie, les rodea el cuerpo. Hemos sacado cuerpos debajo de árboles. [...] Los líquidos, lo que suelta [el cuerpo enterrado], pues la tierra lo absorbe. Era un huizache.

El conocimiento empírico de las madres buscadoras tiene una base científica. Tunuari Chávez explica que los cuerpos enterrados liberan nutrientes que generan anomalías en la clorofila de las hojas de las plantas, visibles con cámaras multiespectrales en drones. Esto puede causar colores más vívidos y floraciones atípicas debido al enriquecimiento de nitrógeno y fósforo.

Lidia también señala que lo opuesto también es un posible indicador de una fosa clandestina. Es decir, hay segmentos de terreno que están más ralos o pobres en vegetación:

A veces se debilita también lo que es la vegetación. No alcanzan a crecer bien los arbolitos, el césped o están muy débiles o como esporádicos, dispersos. Recuerdo [...] unos huizaches como en un llano [...]; tenían como digamos un metro de altura de altura, pero [se veían] muy débiles, muy débiles. Tiene mucho que ver con las sustancias [en las fosas]. A veces les ponen cal, he notado que la cal tiende a hacerlas que se debiliten.

Los cambios en la composición del suelo por restos orgánicos provocan sucesiones ecológicas, donde algunas plantas prosperan en nuevos entornos, a veces dominando temporalmente el área (Huang et al., 2024). Esto implica que, al mezclar capas de tierra



durante la excavación de fosas clandestinas, o al verter sustancias en ellas, sólo algunas plantas sobreviven en el nuevo entorno químico. La COBUPEJ señala que los criminales usan cal y cáscaras de huevo para reducir el olor de la descomposición, afectando también la química del suelo. Lola reitera:

Ya no vuelve a crecer pasto allí, tú puedes ver todo alrededor pasto seco, pero ese pedazo está sólo. Alrededor [de la fosa] la tierra está compacta. [Una de las fosas encontradas] estaba en una zona donde no había árboles. Todo lo demás estaba muy llenito, tupidito, [pero] ese pedazo estaba más sólo. [...] Al sacar la tierra revuelven tipos de tierra, se mezclan. Y a la hora de que vuelven a tapar, pues ya se ve la tierra revuelta. [...] Tienen cambio de coloración. [...] Para una, lo primordial, bien importante, es ver el piso, [...] ver el tipo de tierra que hay. Por ejemplo, [...] en los cerros, cuando hay movimiento de tierra, cuando se escarbó, pueden pasar años y [...] siempre va a va a quedar esa tierra como flojita.

Alba y Ana, respectivamente, agregan:

Cuando está la tierra removida [...] yo me he fijado que [hay] partes que no tienen nada de pasto. [Allí también] empezamos a escarbar. Hay lugares donde te puedes parar y a simple vista te das cuenta de que la tierra fue removida. No hay nada de plantas.

Las mujeres buscadoras también utilizan empíricamente técnicas de la arquitectura forense, vinculadas a investigaciones espaciales. Por ejemplo, Lidia comenta que cuando les hacen llegar videos de manera anónima en los que se muestra cómo son golpeadas y asesinadas las víctimas, los colectivos identifican espacios y referencias:

[En los videos] vemos lo que hay a los alrededores y nos basamos en lo que vemos para dar con esa finca. Sí hemos dado con ellas, no todas, pero sí hemos dado. [...] Y antes de salir siempre hacemos una observación por vía satélite [Google Maps]. Sabemos usar las coordenadas que nos mandan [anónimamente]. De esta manera podemos entrar fácilmente y, si hay una emergencia, sabemos por cual lado salirnos. [...] Ponemos el vehículo apuntando a la salida. También vemos por dónde entran vehículos al lugar. Si entran, aunque se ve que termina el camino, es porque hay posibilidad de que estén llevando cuerpos. [...] No tiene nada que andar haciendo un vehículo en una zona de monte o de cerro hasta donde termina el camino. [Significa que] puede haber una fosa clandestina. Hay veces que los llevan hasta en moto.

Además de sus conocimientos empíricos y aprendidos en los colectivos, las participantes coinciden en que todas asisten a cursos y talleres que contribuyen a ampliar las herramientas que utilizan en su búsqueda campo. Regina comenta que para ella estos cursos le ayudan a complementar lo que ella ha aprendido en sus años de búsqueda:

La Comisión de Búsqueda de Jalisco nos ha estado proporcionando cursos [...]; ahí vemos cómo se descompone un cuerpo, qué insecto aparece dependiendo del tiempo de evolución cadavérica. [...] Tenemos compañeros que son voluntarios de universidades, [...] ellos también nos han facilitado todo tipo de cursos, [por ejemplo] para distinguir los huesos de animales de los de personas.

Lola y Ana también comentan sobre estos cursos:

Hemos tenido 3 cursos [con la COBUPEJ]. [...] Nos tocó que nos hablaran sobre el tipo de animal, [...] llevaban una cajita con los con los animales que llega en cada etapa. Les llevaban la cajita para enseñarlos físicamente. Tuve una preparación con comisión de búsqueda, nos dieron una capacitación de cuatro horas en campo. Nos enseñaron a buscar, a observar la tierra. [...] Una vez que te paras y te enfocas en de verdad observar tu entorno, te das cuenta cuando hay algún movimiento de tierra, o te das cuenta de que una planta está más reluciente que otra. Nos enseñaron las diferentes modalidades de la fauna y la naturaleza. También el ser humano sirve de abono a la tierra; todos sus nutrientes de ese cuerpo los absorbe la tierra.

Lidia comenta que en su colectivo tienen una excelente relación con académicos, basada en el respeto mutuo, donde el aprendizaje es recíproco:

Tenemos voluntarios de las universidades, de criminología, criminalística y antropología, y dicen “de verdad que hemos aprendido mucho aquí en las búsquedas, porque lo llevamos a práctica [...]; aquí de verdad que adquirimos muchísimo conocimiento”. Y nosotras a la vez adquirimos conocimientos de ellos; adquirimos teoría y lo llevamos a la práctica.

V. Las experiencias de las mujeres buscadoras y su impacto en las prácticas de búsqueda de Jalisco

Tunuari Chávez, director de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco, reconoce cómo los conocimientos y testimonios de las mujeres buscadoras han influenciado las prácticas de búsqueda del estado. Esta sección resume la forma en que estos colectivos han coadyuvado con la institución. Chávez explica que esta colaboración inicia al recibir solicitudes de búsqueda generalizada o individualizada por parte de colectivos. En este punto se establece contacto con las personas del colectivo que proponen la búsqueda para comprender las circunstancias y ubicaciones proporcionadas, que suelen generar informantes anónimos:

Los puntos de búsqueda proporcionados por las mujeres buscadoras casi siempre les son enviados de forma anónima. Muchas de las veces no les dan el lugar exacto, sino una referencia, como en tal predio, a un lado del río.

Una vez reunidas las partes en la COBUPEJ, se realiza un ejercicio de localización del sitio a partir del análisis de imágenes satelitales y de delimitación a partir de la experiencia y del profundo conocimiento del terreno de las madres buscadoras:

Es muy interesante, porque utilizan expresiones como “este es un sitio muy bueno, o este se ve bueno” refiriéndose, por ejemplo, a espacios que cuentan con poca visibilidad o que logísticamente proporcionan facilidades para llegar con personas sin vida e inhumarlas o arrojarlas [en barrancas]. También dicen cosas como “acá hay más tierra, está más profundo, vamos allí primero”.

Desde su experiencia, las madres buscadoras han aprendido a identificar espacios clandestinos, con accesibilidad y privacidad espaciales (Silván et al., 2019). Esto permite a la Comisión delimitar zonas de búsqueda, calibrando sus decisiones con la experiencia de las madres buscadoras y no sólo con lo que las imágenes satelitales pueden mostrar.

Por otro lado, la rodalización, un concepto utilizado principalmente en los estudios forestales para referirse a superficies de terreno que presentan características homogéneas o constantes, ha sido adoptado y adaptado por la COBUPEJ para aplicarlo en sus funciones

sustantivas. A partir del conocimiento contextual de las mujeres buscadoras, el área de búsqueda se desagrega en segmentos:

La rodalización de los sitios de búsqueda la hacemos en función de la composición del terreno o de su acceso. Ésta se basa en nuestra información y en los conocimientos en campo de las familias. Incluso se definen los límites de la búsqueda de esta manera. [...] Las familias nos ayudan también a definir los perímetros en los que ubicaremos anillos de seguridad.

Se analizan criterios como la visibilidad, accesibilidad, presencia de árboles y antenas, entre otros, para identificar posibles zonas de interés:

Hemos aprendido de las madres buscadoras que, por ejemplo, los árboles de la familia de las leguminosas como huizaches, guamúchiles o mezquites generan condiciones para hacer fosas.

Estos árboles son comunes en muchos ecosistemas de Jalisco. Según Chávez, desarrollan raíces pivotantes en lugar de radiales, lo que significa que se extienden principalmente hacia abajo en lugar de horizontalmente. Esto tiene dos consecuencias importantes: proporcionan sombra a quienes excavan fosas y permiten trabajar en suelos sin grandes raíces horizontales que atravesar. Estos hallazgos, inicialmente reportados por madres buscadoras, ahora se consideran durante las búsquedas en campo. Como refiere Regina:

La raíz [de los huizaches] va hacia abajo, o sea, no es de que enraíce hacia los lados, es hacia abajo. Los cuerpos se encuentran literalmente a un costado de los huizaches. Cerca de las fosas no encuentras algún tipo diferente de árbol, no sé, algún árbol frondoso, alguno de frutos, no; son árboles como los huizaches. [...] Por ejemplo, en una de las fosas más grandes que hemos encontrado, en cada huizache había un cuerpo. Allí había doce cuerpos. [...] Esto sirve donde hay tierra seca, porque el huizache no se da donde hay tierra muy húmeda.

Chávez explica que, durante las búsquedas, la COBUPEJ lleva a cabo procesos de recopilación de información botánica y georreferenciación, lo que les ha permitido identificar patrones relacionados con la presencia de este tipo de árboles:



Nosotros [la COBUPEJ] hacemos un levantamiento botánico y hacemos con el dron una georreferenciación del punto donde hubo el [hallazgo] positivo. Hemos encontrado la coincidencia de algunos aspectos, uno es la presencia de mesquites, huizaches, o de guamúchil, que tienen estas características.

Asimismo, los testimonios de las madres también han permitido caracterizar como prioritarios los espacios con antenas eléctricas de alta tensión. Chávez explica:

En los espacios debajo de las antenas de alta tensión se removieron cantidades importantes de suelo para anclar las bases de las estructuras. En estos espacios, con tierra suelta o menos compactada, hay suelo para escarbar, pero además se generan condiciones para que se establezca vegetación, lo que propicia baja visibilidad.

Luego, se realiza un reconocimiento en campo para determinar los sitios más relevantes, convirtiendo el conocimiento previo de las madres en un protocolo de búsqueda y estableciendo acuerdos que se reflejan en el dictamen de análisis contextual:

Este dictamen incluye una caracterización del lugar, evaluación de riesgos y un plan de prospección detallado para garantizar la seguridad durante la búsqueda. El proceso se basa en el conocimiento de las familias y se adapta a cada situación específica.

Según la COBUPEJ, las madres buscadoras también han reportado el papel crucial de las cobijas como retenedoras de humedad. Han observado que los cuerpos envueltos en cobijas suelen generar señales detectables. Aunque las cobijas añaden una capa adicional, muchas veces son de algodón o lana, lo que aumenta la retención de humedad, similar al efecto de ciertas ropas. Además, al ser de origen orgánico, su descomposición se suma a la del cuerpo, enriqueciendo el suelo con nutrientes. Como se ha dicho, este enriquecimiento de nutrientes puede manifestarse como anomalías de clorofila en las hojas de las plantas, lo que puede detectarse con cámaras multiespectrales montadas en drones.

Dado que las madres buscadoras han identificado numerosas fosas en espacios abandonados y bajo capas de cemento, el proyecto incluye fosas que simulan estas condiciones en los sitios experimentales. Basándose en su experiencia para detectar a víctimas inhumadas mediante

variaciones de sonido (al golpear el suelo con una barra de metal), la investigación utiliza un instrumento de ondas sísmicas de alta frecuencia, capaz de identificar irregularidades, alteraciones o anomalías subterráneas⁵.

A partir de los resultados obtenidos en los sitios de experimentación, los cuales replican la evidencia narrativa proporcionada por los colectivos, las prácticas de búsqueda en Jalisco ahora incorporan, de manera sistemática, análisis multiespectral con drones⁶.

VI. Retos y áreas de oportunidad

Como han denunciado los colectivos de otros estados del país (Castro, 2011; del Palacio, 2020; Durin, 2020; Fernández, 2023; Hernández y Robledo, 2020; IDHEAS, 2020; Iliná, 2020; Irazusta, 2020; Oikión, 2021; Zúñiga, 2022), Lola, Ana, Lidia, Alba y Regina también han tenido que enfrentar múltiples problemas y amenazas en sus búsquedas⁷.

Como comentan Martos y Jaloma (2021), en la lucha por encontrar a sus familiares desaparecidos, los colectivos de búsqueda constantemente se encuentran en tensión directa con las “...necesidades legales y burocráticas de las búsquedas en fosas...” (p. 80), y Jalisco no es la excepción.

El principal obstáculo al que las participantes se han enfrentado está ligado a las órdenes de cateo que por ley tienen que presentar para poder escarbar en casas abandonadas. Las madres buscadoras refieren que estos espacios se usan para entierros clandestinos, lo que genera un problema adicional al necesitarse la documentación para explorarlas, la cual puede tomar varios meses en expedirse.

En Jalisco hay casos registrados de complejos habitacionales no concluidos o abandonados con hasta 500 viviendas en obra negra o inutilizadas (Toledo, 2022). Alba, sin conocer el dato anterior, problematiza sobre la situación y cuestiona la eficiencia de las autoridades al expedir órdenes de cateo, ante los reportes de fosas clandestinas en estos lugares:

5 Revisar apartado de Geofísica.

6 Véase: “Diseño y aplicación de índices espectrales para la detección de fosas clandestinas”.

7 Por limitaciones de espacio no se pueden citar todas las experiencias narradas en las entrevistas, así que hicimos un resumen de aquellas que las participantes mencionaron como las más graves y, por lo tanto, las más urgentes por resolver.



Las órdenes de cateo llegan a tardar hasta tres meses. [...] Las casas están sin puertas, están vandalizadas, [...] no tienen servicios. ¿Para qué quieren eso de las órdenes de cateo?

Lola comenta algo similar:

No sé si les ha tocado ver en qué condiciones están las casas. Son muchísimas. Me decía el de la guardia nacional, “es que no puedes entrar”, y yo le decía, pero está abandonada; “pero es que ocupas una orden de cateo para poder entrar, [...] si tú sacas un positivo de ahí, el problema va a ser para mí, porque van a decir que por qué te dejé ingresar”. Entramos [y] como al minuto salió el cuerpo; [...] estaba prácticamente expuesto. [...] Empecé a transmitir [en vivo] y a dar características del cuerpo. [...] Gracias al en vivo y dar las características de la ropa que traía, llegó el papá y llegó la hermana.

También enfatiza la necesidad de hacer conciencia en la población sobre este modus operandi de los grupos criminales, especialmente en los sectores más afectados, como lo son las casas de interés social y en las periferias:

[También] hemos entrado a casas donde viven familias completas, niños, con cuerpos enterrados. Entonces, la importancia de llegar a una casa y saber distinguir los pisos; un piso viejo a un piso nuevo; un cemento viejo a un cemento nuevo. [...] Para mí, es indicador el ver en la pared salpicado o cemento nuevo; lo que se les olvidó. Pintaron y todo, pero ahí quedo salpicado. Salió hace poquito de una señora que iba a plantar una planta en el patio; le escarbó para meter la planta y le salieron cuerpos, bolsas, [las] abrieron y eran cuerpos. Por eso la importancia [de] hacer mucho énfasis en eso de que las familias que van llegando a casas nuevas [revisen], porque a veces son hasta prestadas o paracaidistas, o como las del INFONAVIT que las traspasan, pero no saben todo lo que hay detrás de una casa.

Las participantes están de acuerdo en que el principal riesgo al buscar en casas abandonadas es la posibilidad de ser detenidas por las autoridades, como explica Lola:

No te permiten entrar a casas, tiene que ser únicamente en campo; [...] manejan sus protocolos. [...] Los cuerpos están [bajo] los patios, en los baños [en] casas abandonadas, [donde] no vive nadie. Tenemos muchísimos puntos, muchísimos. No podemos esperarnos. [...] Si te metes te puedes ir detenida.



En México, las madres buscadoras no pueden entrar legalmente en casas abandonadas, incluso si están acompañadas por la Comisión de Búsqueda local. En contraste, en Colombia, la Unidad de Búsqueda de Personas dadas por Desaparecidas puede justificar la exploración en estos lugares sin necesidad de solicitar órdenes de cateo (Gobierno de Colombia, 2017; UBPD, 2023).

Alba estuvo a punto de ser detenida por tratar de resguardar los restos de víctimas de desaparición:

Jalisco es una fosa muy grande. [Habíamos visto] los cuerpos; las bolsas no estaban enterradas. Estaban irreconocibles; eran cabezas, torsos. [...] Había animales y los quitamos. Marcamos al forense; los esperamos 8 horas [desde las 12 pm hasta las 8 pm], [así que] comenzamos a bajar bolsas [del cerro]. Nosotras no podíamos dejar los cuerpos a la intemperie. Pasó una patrulla y empezamos a discutir [debido a que movieron las bolsas]. Al día siguiente me empezó a buscar la Fiscalía; me fui a entregar. Nos dijeron que no nos iban a detener, pero que no le dijéramos a nadie.

La falta de personal es otra área de oportunidad que las participantes señalan, la cual, entre otros factores, ha causado la denominada “crisis forense”. Según el Programa Nacional de Búsqueda de Personas Desaparecidas y no Localizadas (2023) no hay certeza sobre el número exacto de personas fallecidas sin identificar, pero “[...]se estima que son más de 52 mil, en fosas comunes, instalaciones de los Servicios Médico Forenses (SMF), universidades y centros de resguardo forense.” En el caso de Jalisco, Regina comenta que, si las autoridades tuvieran más recursos humanos, sus experiencias en la búsqueda serían más eficientes:

Cada desaparecido tiene un buscador; se le asigna un buscador. Y es con lo que tú haces mesa de trabajo con Fiscalía, con SEMEFO. [...] A un buscador le tocan muchas personas [...], coincidimos en las búsquedas [con otros colectivos].

Ana agrega que el proceso de identificación de los cuerpos de las víctimas se paraliza precisamente por la falta de personal capacitado:



Si tienen unos refrigeradores llenos, ¿por qué el gobierno no hace lo propio y pone más personal y con más capacidad? Y si no puede, pues que llame a estudiantes. Los estudiantes están hambrientos de conocimiento.

Como se discutió en el estado del arte, una experiencia recurrente entre los colectivos de diferentes estados del país es la revictimización por las mismas autoridades. Alba lo vivió así:

La [policía] estatal nos ha revictimizado bastante. Nos toman fotos y video, se ponen groseros, nos dicen “viejas locas”. Sí estamos locas, pero locas por encontrar a nuestros [familiares].

Después de escuchar las experiencias de búsqueda en campo de las cinco participantes, se hace evidente el gran valor que sus saberes aportan, en este caso, a la actualización de las prácticas de búsqueda en el estado de Jalisco. Respecto a la integración de la tecnología, las participantes compartieron algunas sugerencias y comentarios a considerar por los integrantes del proyecto. Todas coinciden en que las diferentes herramientas que les han presentado tienen un gran potencial. No obstante, hay todavía aspectos que mejorar. Regina sugiere:

Esa tecnología deberían de clasificarla dependiendo el terreno. Hace falta más, conocer y clasificar los tipos de suelos. [...] Estamos trabajando [...] conjuntamente [con la COBUPEJ] en poder tener panoramas más amplios de cómo buscar y en dónde buscar.

Regina enfatiza un punto crucial que las autoridades tienen que considerar, el elevado costo económico y el personal especializado que requieren las nuevas tecnologías:

Está muy buena la idea, está muy bien el proyecto, pero [...] te lleva a miles de pesos el gasto, por ejemplo, lo que están haciendo con electricidad, [...] son herramientas especiales. Para mí, no hay como que una pala, un pico y una varilla para descartar un lugar al 100%. Ojalá puedan seguir haciendo pruebas con eso para ver si funciona y ver qué tan efectivo [es].

La perspectiva de Ana resume claramente el sentir del resto de las participantes:

Yo creo que [la tecnología] es una herramienta muy buena e importante, porque nos brinda un conocimiento diferente al que nosotros hemos vivido. Yo creo que eso es muy padre, son avances. Poco a

poco eso va a ir creciendo y vamos a tener nuevos métodos para trabajar en búsqueda sin tanto trabajo, sin tanto esfuerzo físico, [...] o cuando hay lugares de difícil acceso. Yo creo que puede ser un equipo de trabajo entre las máquinas y lo humano; la tecnología y lo manual. [...] Un equipo con experiencia, pero también con cosas nuevas.

Lidia reconoce la utilidad de las tecnologías y que, si ellas tuvieran acceso directo a éstas y el entrenamiento para utilizarlas, sus búsquedas serían todavía más exitosas:

Yo creo que la tecnología es muy buena; siempre va a ser mucho mejor que lo rústico, que lo artesanal. Si nosotras tuviéramos ese tipo de tecnología, otra cosa fuera, de verdad. Porque ellos se cansan; [...] porque no son sus desaparecidos.

Alba comenta que, debido a la falta de confianza en las autoridades, en ocasiones su colectivo se ha negado a que la COBUPEJ despliegue los instrumentos tecnológicos durante las búsquedas. Desde su perspectiva, esto sólo sería una pérdida de tiempo:

Una vez pusieron un georradar y no dio nada positivo y [luego] encontramos varias bolsas [con restos]. Ya me fijé que si uno se deja el gobierno no hace nada. No creo en los aparatos.

Las participantes destacan que un aspecto positivo de colaborar con la COBUPEJ es el acompañamiento que reciben, lo cual les hace sentir que no están solas. Reconocen el buen trato recibido y valoran la relación horizontal en la que se intercambian conocimientos en este proyecto. Ana explica:

Los de la COBUPEJ se van bien cansados a su casa; [...] les hemos enseñado cómo nos manejamos nosotras. Yo creo que ya hasta somos amigos. Hay momentos en los que le entran porque le entran a apoyarnos a excavar la tierra, a mover, a limpiar basura, a todo. Algunos sí se acoplan con el equipo y le trabajamos en conjunto. Y eso es bien padre. Tienen muy bonita manera para explicarnos y sacarnos de las dudas que podamos tener. No nada más es explicar, sino la bonita manera; es ser empáticos. Yo pienso que los del SEMEFO podrían actuar de esa manera también. Si voy a estar al frente para atender al público, ¿por qué no cambiarle ese día con una bonita atención? Eso hace la gran diferencia en cualquier ser humano. [...] Es como una cadenita de armonía.



Las cinco participantes coinciden en que la búsqueda de sus seres queridos les ayuda a seguir adelante, y sienten que el reconocimiento de su conocimiento y experiencias les hace sentir que su dolor y lucha contribuyen al bien colectivo. En palabras de Lidia:

Vale la pena que nuestra presencia y nuestro actuar haya hecho cambios aquí en el estado; [...] que hayamos sembrado una semillita de cambio en las autoridades. [...] Esta lucha ha valido la pena, ha rendido frutos.

Sea pues este proyecto, y en concreto las historias encapsuladas en este capítulo, una invitación a más autoridades para aprender y de trabajar en conjunto con los familiares de las víctimas de desaparición que el Estado falló en proteger. El objetivo de este esfuerzo colaborativo no es sólo localizar fosas clandestinas, sino trabajar junto a las mujeres buscadoras para alcanzar una forma de cierre.

Referencias

- CASTRO SAM, A. (2021). *Desapariciones forzadas y hallazgo de fosas clandestinas en México: El caso del Colectivo Madres Buscadoras de Sonora*. *Revista de Estudios Contemporáneos del Sur Global*, 2(4), 95–109. <https://doi.org/10.46652/pacha.v2i4.53>
- COMISIÓN NACIONAL DE BÚSQUEDA. (2023). Total de personas desaparecidas, no localizadas y localizadas. Registro Nacional de Personas Desaparecidas y No Localizadas. <https://versionpublicarnpdno.segob.gob.mx/Dashboard/ContextoGeneral>
- CRUZ SANTIAGO, A. (2017). *Forensic Citizens: The Politics of Searching for Disappeared Persons in Mexico*. Doctoral, Durham University. <https://etheses.dur.ac.uk/12315/>
- CRUZ SANTIAGO, A. (2020). *Lists, Maps, and Bones: The Untold Journeys of Citizen-led Forensics in Mexico*. *Victims & Offenders*, 15, 1–20. <https://doi.org/10.1080/15564886.2020.1718046>
- DÍAZ, P. (2020, 26 de enero). *Ni vivos ni muertos: El viaje de las madres buscadoras de Sonora*. *The Conversation*. <http://theconversation.com/ni-vivos-ni-muertos-el-viaje-de-las-madres-buscadoras-de-sonora-129603>
- DEL PALACIO, C. (Ed.) (2020). *Porque la lucha por un hijo no termina...: Testimonios de las madres del Colectivo Familias de Desaparecidos Orizaba-Córdoba*. Universidad Veracruzana.
- DILLON, S., & CRAIG, C. (2021). *Storylistening: narrative evidence and public reasoning*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367808426>
- DURIN, S. (2020). *En Busca De Nuestros Amores*. CADHAC. https://www.academia.edu/43977413/_EN_BUSCA_DE_NUESTROS_AMORES_S%C3%A9verine_Durin_Agrupaci%C3%B3n_de_Mujeres_Organizadas_por_los_Ejecutados_Secuestrados_y_Desaparecidos_en_Nuevo_Le%C3%B3n_AMORES_Editado_por_CADHAC_Monterrey
- FALLETI, V. F., FALLETI, V. F., & CHÁVEZ Y ARREDONDO, A. DEL R. (2022). *Búsquedas y saberes. Las desapariciones forzadas en México*. *Andamios*, 19(50), 223–242. <https://doi.org/10.29092/uacm.v19i50.943>
- FERNÁNDEZ LOBATO, C. B. (2023). *Las memorias colectivas de la desaparición. Un análisis de los escenarios de incidencia de las mujeres buscadoras en Morelos*. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/4537>



- FOUCAULT, M. (2008). *Power/Knowledge*. In *The New Social Theory Reader*. Routledge.
- FREIER, M. (2023). *Consideraciones antropológicas para encuentros-entrevistas con madres, hermanas o familiares de personas desaparecidas*. *Inter disciplina*, 11(31), 164–170.
- FRIE, R. (2011). *Situated Experience: Psychological Agency, Meaning, and Morality in Worldly Contexts*. *International Journal of Psychoanalytic Self Psychology*, 6(3), 340–351. <https://doi.org/10.1080/15551024.2011.582935>
- GOBIERNO DE COLOMBIA. (2017). *Decreto Ley 589 de 2017—Gestor Normativo*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=80614>
- FUNДАР. (2021, agosto). *Inicio—No hay lugar en este país*. <https://nohaylugarenestepais.mx/>
- HERNÁNDEZ, A. (2019). *La antropología jurídica feminista y sus aportes al trabajo forense con familiares de desaparecidos: Alianzas y colaboraciones con “Las Rastreadoras de El Fuerte”*. *ABYA-YALA: Revista sobre acceso á justiça e direitos nas Américas*, 3(2), 94–119.
- HERNÁNDEZ, A. & ROBLEDO, C. (2020). *Nadie Detiene el Amor. Historias de Vida de Familiares de Personas Desaparecidas en el Norte de Sinaloa*. <https://politicadela memoria.org/2023/02/hernandez-castillo-aida-y-robledo-silvestre-carolina-2020-nadie-detiene-el-amor-historias-de-vida-de-familiares-de-personas-desaparecidas-en-el-norte-de-sinaloa/>
- HUFFSCHMID, A. (2015). *Huesos y humanidad. Antropología forense y su poder constituyente ante la desaparición forzada*. Athenea Digital. *Revista De Pensamiento E investigación Social*, 15(3), 195–214. <https://doi.org/10.5565/rev/athenea.1565>
- IDHEAS. (2020, 10 de diciembre). *Verdad a voces: Un ejercicio de memoria para las víctimas de desaparición forzada en Nayarit*. Idheas. Litigio Estratégico en Derechos Humanos AC. <https://www.idheas.org.mx/lineas-de-trabajo-idheas/derechos-de-las-victimas/verdad-a-voces-un-ejercicio-de-memoria-para-las-victimas-de-desaparicion-forzada-en-nayarit/>
- ILINÁ, N. (2020). *“¡Tu madre está en la lucha!” La dimensión de género en la búsqueda de desaparecidos en Nuevo León, México*. *Íconos - Revista De Ciencias Sociales*, (67), 119–136. <https://doi.org/10.17141/iconos.67.2020.4172>
- IRAZUZTA, I. (2020). *Buscar como investigar: Prácticas de búsqueda en el mundo de la desaparición en México*. *Sociología y tecnociencia: Revista digital de sociología del sistema tecnocientífico*, 10(1), 94–116.

- LÓPEZ-CARO, J. B., QUIROZ-ROCHA, G. A., VÁSQUEZ-BOLAÑOS, M., & NAVARRETE-HEREDIA, J. L. (2019). *Coleópteros Asociados a Cadáveres de Mamíferos: Diseño de una Jaula para la Protección de Cadáveres Durante el Muestreo de Artrópodos Necrócolos*. *Southwestern Entomologist*, 44(3), 659–666. <https://doi.org/10.3958/059.044.0311>
- LORUSSO, F. (2019). *Te buscaré hasta encontrarte*”. *Historia y contexto de los otros desaparecidos de Iguala, colectivo de buscadores de desaparecidos y fosas clandestinas en México*. *Rivista di Studi e Ricerche sulla criminalità organizzata*. <http://dx.doi.org/10.13130/cross-11825>
- MARTOS, A., & JALOMA CRUZ, E. (2017). *Desenterrando el dolor propio. Las brigadas nacionales de búsqueda de personas desaparecidas en México*. Repositorio de Documentación sobre Desapariciones en México. <https://hdl.handle.net/20.500.11986/COLMEX/10007606>
- MILYNALI RED. (S.F.). *Protocolo Estandarizado de Búsqueda Ciudadana en Sitios de Exterminio*. <https://www.milynaliiredcfc.org/protocolo-de-busqueda>
- OIKIÓN SOLANO, V. (2021). *De fosas, exterminio e impunidad en Michoacán. Una reflexión desde la historia reciente*. *Historia y Grafía*, 56, Article 56. <https://doi.org/10.48102/hyg.vi56.357>
- OLARTE-SIERRA, M., GARCÍA-DEISTER, V. & CONGRAM, D. (2023). *Prácticas forenses y violencia en masa: Perspectivas contemporáneas y retos investigativos*. *Antipoda. Revista de Antropología y Arqueología*, 50, 3–17. <https://doi.org/10.7440/antipoda50.2023.01>
- RAMÍREZ, S. (2019). *Mecanismos extrainstitucionales para la búsqueda de personas desaparecidas en México*. México: Instituto Belisario Domínguez, 20.
- REN, J., HUANG, K., XU, F., ZHANG, Y., YUAN, B., CHEN, H., & SHI, F. (2024). *The Changes in Soil Microbial Communities and Assembly Processes along Vegetation Succession in a Subtropical Forest*. *Forests*, 15(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/f15020242>
- ROBLEDO-SILVESTRE, C. (2019). *DESCOLONIZAR EL ENCUENTRO CON LA MUERTE DESDE LOS AFECTOS: Experiencia de trabajo interdisciplinario en torno a la exhumación de fosas comunes en México*. *Abya-yala: Revista sobre Acceso a Justiça e Direitos nas Américas*, 3(2), Article 2. <https://doi.org/10.26512/abyayala.v3i2.23708>
- ROBLEDO SILVESTRE, C. (2019, 21 de marzo). *Peinar la historia a contrapelo: Reflexiones en torno a la búsqueda y exhumación de fosas comunes en México*. Encartes. <https://encartes.mx/exhumacion-fosas-comunes-mexico/>



- SCHWARTZ-MARIN, E., & CRUZ-SANTIAGO, A. (2018). *Antígona y su biobanco de ADN: Desaparecidos, búsqueda y tecnologías forenses en México*. Athenea Digital. Revista de Pensamiento e Investigación Social, 18(1), 129–153.
- SILVÁN-CÁRDENAS, J., ALEGRE, A. & ZUCCOLOTTO, K. (2019). *Potential distribution of clandestine graves in Guerrero using geospatial analysis and modelling*.
- TOLEDO, P. (2022, 5 de agosto). *Jalisco tiene su propio Chérbobil, está en Tlajomulco y lleva 12 años en el abandono*. UDG TV. <https://udgtv.com/noticias/jalisco-tiene-su-propio-chernobil-esta-en-tlajomulco-y-lleva-12-anos-en-el-abandono/52123>
- TORRES, M. & SMITH, L. A. (2023). *Deep Forensics for a More-than-Human Justice*. Antipoda. Revista de Antropología y Arqueología, 50, 173–195. <https://doi.org/10.7440/antipoda50.2023.08>
- VALICHIS, I. (1992). *Métodos cualitativos I. Los problemas teórico-epistemológicos*. Centro Editor de América Latina. https://www.trabajosocial.unlp.edu.ar/uploads/docs/vasilachis_irene_metodos_cualitativos_i_los_problemas_teorico_metodologicos_.pdf
- UNIDAD DE BÚSQUEDA DE PERSONAS DADAS POR DESAPARECIDAS. (2023, 3 de agosto). *La Unidad Explica: Guía orientadora de acceso a lugares [Video]*. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=zLDBj00bw0s>
- ZULVER, J. & KLOPPE-SANTAMARÍA, G. (2024, may 16). *In Mexico's Election, the Search for the Missing Should Be Front and Center*. Americas Quarterly. <https://www.americasquarterly.org/article/in-mexicos-election-the-search-for-the-missing-should-be-front-and-center/>
- ZUÑIGA ELIZALDE, M. Z. (2022). *Mujeres buscadoras en Sonora: Transformaciones subjetivas frente a la violencia*. Argumentos Estudios críticos de la sociedad, 97, 123–138. <https://doi.org/10.24275/uamxoc-dcsh/argumentos/202297-06>

Anexo 1

Información sobre el proyecto de investigación.

Interpretando señales en la naturaleza: los saberes de mujeres buscadoras influenciando las prácticas de búsqueda en Jalisco

¿Quién realiza esta investigación?

- Este proyecto de investigación formará parte del libro “Interpretar a la naturaleza para encontrar a quienes nos faltan”, coordinado por la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.
- Esta investigación la realizan (Nombres de Autores). Una vez recopilados todos los capítulos del libro, la edición y publicación serán llevados a cabo por CentroGeo.

¿Qué propósito tiene esta investigación?

- El objetivo principal de este estudio es identificar y analizar las experiencias de las madres buscadoras al utilizar señales y patrones en la naturaleza durante sus esfuerzos para localizar fosas clandestinas.
- Además, este estudio busca destacar la importancia de las prácticas empíricas llevadas a cabo por las madres buscadoras de Jalisco, así como contribuir a la transferencia de estas prácticas a grupos de madres buscadoras en otras áreas, y su inclusión en protocolos de búsqueda que trasciendan el ámbito de Jalisco.

Con estos objetivos como guía los investigadores:

- Investigarán el tipo de señales que utilizan y cómo han aprendido a identificarlas.
- Examinarán cómo las diferencias entre las regiones geográficas y naturales afectan las señales o patrones que las madres identifican y emplean.
- Explorarán la transferencia de experiencias entre grupos de búsqueda a nivel local y regional.
- Destacarán las experiencias y testimonios de las madres buscadoras que la Comisión de Búsqueda de Jalisco ha integrado, a través de procedimientos científicos y el uso de tecnología, en su protocolo de búsqueda.



¿Qué tipo de actividades se realizarán para este proyecto?

Debido a que esta investigación tiene como fin entender las percepciones, experiencias y sentimientos de madres buscadoras de Jalisco, se eligió un método cualitativo para recolectar información. Esto implica que los investigadores entablarán contacto con las participantes a través de la siguiente actividad:

- Entrevista estructurada en modalidad virtual. La duración de la entrevista será de aproximadamente una hora.

¿Qué derechos tienen los participantes?

La participación en este proyecto es completamente voluntaria y las participantes tendrán derecho a:

- 1) Hacer todas las preguntas que consideren necesarias antes de aceptar ser parte del proyecto.
- 2) No contestar preguntas.
- 3) Retirarse sin explicar los motivos.
- 4) Pedir no ser audio-grabadas durante las entrevistas.

¿Cómo se registrará la información para esta investigación?

La mayoría de las actividades serán audio-grabadas por los investigadores. Las participantes pueden elegir no ser grabados si así lo desean. Los investigadores tomarán notas a mano o en su computadora sin incluir los nombres reales de las participantes para asegurar la confidencialidad de la entrevista.

¿Qué uso se le dará a la información recolectada en las actividades antes mencionadas?

Toda la información recolectada en este proyecto será utilizada para fines académicos. El principal uso que se dará a la información recabada será para la redacción del capítulo del libro en el que participan la Dra. Karina García y el Mtro. Miguel Moctezuma. Además, los investigadores podrán utilizar la información para escribir artículos académicos para revistas científicas especializadas en Ciencias Sociales, así como para artículos dirigidos al público en general.



¿Qué medidas de seguridad se utilizarán para proteger la identidad de los participantes?

- No se revelarán los nombres y otros datos de identificación personal de los participantes.
- Los investigadores usarán la información recolectada durante el trabajo de campo sin mencionar nombres específicos sobre quién o quiénes proporcionaron dicha información.
- Para asegurar el anonimato de las participantes, los investigadores asignarán seudónimos para identificarlas sin revelar su verdadera identidad.

¿Qué beneficios tienen las participantes si deciden ser parte del proyecto de investigación?

- El principal beneficio de esta investigación es la posibilidad de compartir las experiencias y prácticas entre madres y grupos de madres buscadoras. A través de la recopilación de las experiencias de madres buscadoras de Jalisco, madres en otros lugares geográficos, incluso más allá de México, podrán aprender, adaptar y adoptar las estrategias y prácticas exitosas a la hora de buscar fosas clandestinas en diferentes entornos geográficos.
- Así como en el caso de la Comisión de Búsqueda de Jalisco que, a través de procedimientos científicos y el uso de tecnología, ha incorporado experiencias y testimonios de madres buscadoras, otros estados mexicanos y regiones latinoamericanas podrían mejorar sus protocolos de búsqueda.

Si tiene alguna pregunta, duda o comentario sobre el estudio, puede comunicarse con nosotros a los siguientes correos electrónicos:

Correos electrónicos de autores



Anexo 2

Consentimiento Informado para participar en investigación

Título del proyecto: “Interpretando señales en la naturaleza: los saberes de mujeres buscadoras influenciando las prácticas de búsqueda en Jalisco”

Investigadores: Nombres de autores

Nombre de la participante: _____

Le invitamos a participar en una entrevista virtual que forma parte de una investigación exploratoria sobre el tema de cómo el trabajo realizado por las madres buscadoras ha influido directamente en la realización de protocolos de búsqueda en el estado de Jalisco.

Este estudio se realiza en el marco de la realización del libro “Interpretar la naturaleza para encontrar a quienes nos faltan” que será editado y publicado por CentroGeo con el apoyo de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

El propósito de esta entrevista es conocer las historias de búsqueda de las madres que buscan a sus hijos en el estado de Jalisco. En particular, la entrevista se concentrará en explorar cómo las participantes han aprendido a identificar señales y patrones en la naturaleza para saber dónde realizar su búsqueda.

Si usted acepta ser parte de este proyecto, por favor considere lo siguiente:

- Su participación en esta entrevista es completamente voluntaria. Tiene libertad de negarse a participar, así como de pausar o terminar la entrevista en cualquier momento si así lo desea sin repercusión.
- Dado que la naturaleza del tema puede ser delicada, queremos asegurarle que su identidad será mantenida en estricto anonimato y sus respuestas serán tratadas de manera confidencial.
- La información proporcionada no será compartida con nadie fuera de los investigadores. Las respuestas proporcionadas no se publicarán totalmente, y cualquier elemento



identificado no se reportará en los resultados ni en cualquier producto de investigación derivado.

- Para facilitar el análisis de las respuestas, la entrevista podrá ser audio grabada si está usted de acuerdo; dichas grabaciones también serán confidenciales y no serán compartidas ni publicadas. Si desea que se detenga la grabación podrá indicarlo en cualquier momento a los investigadores, sin ninguna repercusión para usted.
- Toda la información proporcionada se utilizará para fines académicos.

Finalmente, si tiene preguntas antes, durante o después de su participación, no dude en comunicarse con los investigadores.

Si está de acuerdo con los términos mencionados y desea participar en esta investigación, por favor firme a continuación. **Su firma indica que ha leído esta carta de consentimiento informado, que entiende los términos del estudio y que está de acuerdo en participar voluntariamente.**

(Firma del o la participante)

(Fecha)

Gracias por participar en esta investigación. Su contribución es invaluable para el avance del conocimiento en este campo.

Si tiene alguna pregunta, duda o comentario sobre el estudio, puede comunicarse con nosotros a los siguientes correos electrónicos:

Correos electrónicos de autores

He explicado a _____ en qué consiste el estudio, cuáles son sus objetivos, los riesgos y beneficios que implica su participación.

(Firma del investigador) (Fecha)





Capítulo 2



Saberes nacidos del dolor: testimonios y propuestas de las madres buscadoras

José Darío Pereira Benítez¹, Eduardo Santana Castellón², Tunuari Roberto Chávez González³,
Lourdes Andrea Linton Padilla⁴ y Gabriel Aquiles González Ruiz⁵

Contribución arbitrada

Resumen

Se realizaron entrevistas semi-estructuradas a cuatro madres integrantes de colectivos de búsqueda de personas desaparecidas para describir de forma sistemática: sus actividades durante la búsqueda de sus seres queridos, sus interacciones con dependencias de gobierno responsables de la búsqueda de personas desaparecidas, y sus recomendaciones para mejorar

-
- 1 Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco (COBUPEJ), Calle Libertad #1955, Col. Americana, Guadalajara, Mexico.
 - 2 Museo de Ciencias Ambientales, Centros Universitarios de Tlajomulco y Costa Sur de la Universidad de Guadalajara, Centro Cultural Universitario, Biblioteca Pública del Estado de Jalisco (Piso 6), Periférico Norte 1695, Colonia Parque Industrial Belenes Nte., C.P. 45150 Zapopan, Jalisco México; y Department of Forest and Wildlife Ecology, University of Wisconsin-Madison. Correo: esantanacas@gmail.com.
 - 3 Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco (COBUPEJ), Calle Libertad #1955, Col. Americana, Guadalajara, Mexico.
 - 4 Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco (COBUPEJ), Calle Libertad #1955, Col. Americana, Guadalajara, Mexico.
 - 5 Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco (COBUPEJ), Calle Libertad #1955, Col. Americana, Guadalajara, Mexico.

el desempeño de la gestión de búsquedas. Por su alto valor testimonial e importancia como registro histórico, se reportan aquí de forma narrativizadas las voces en primera persona de las cuatro madres buscadoras. El análisis basado en la sistematización de sus actividades de búsqueda se utilizó en otro capítulo de este libro para determinar si se pueden considerar como prácticas de ciencia ciudadana. Sus críticas, peticiones y recomendaciones se presentan en once puntos generales como contribución a mejorar la gestión gubernamental de este importante problema.

Palabras clave: madres buscadoras, conocimientos forenses, colectivos de búsqueda, personas desaparecidas, análisis de contenido.

Introducción

En México, al 16 de julio de 2024, se habían reportado 115,951 personas desaparecidas y no localizadas, de las cuales 15,023 corresponden al estado de Jalisco (CNB, 2024). Jalisco se ubica en primer lugar en personas desaparecidas y entre los seis estados con mayor número de fosas clandestinas encontradas (Tzuc, 2023). Desde la necesidad de encontrar a sus seres queridos, familiares y víctimas indirectas se han constituido en colectivos de búsqueda, que autodefinen sus objetivos como el de “obtener información, indicios y elementos que propicien la ubicación de sitios donde se localicen personas desaparecidas (...) de manera independiente y con técnicas, metodología y recursos propios” (REDETAM, 2020).

En México se han contabilizado unos 234 colectivos de búsqueda de personas desaparecida (Barragán, 2023; ICMP, 2020; Saavedra, 2023) compuestos por madres, familiares y amistades que, movidos por el dolor, están buscando a sus seres queridos faltantes. En Jalisco no se ha establecido el número exacto de colectivos de búsqueda, pero se conocen al menos 19 que han colaborado con las instancias diversas instancias del Sistema Estatal de Búsqueda del Estado (Guillén, 2024; Rodríguez, 2017), lo que hace que el país y el estado resalten a nivel internacional por esta dinámica social. La actividad de búsqueda es peligrosa: en los últimos años se han registrado, en México, 18 asesinatos o desapariciones de madres y otras personas buscadoras (Mares, 2023; Vázquez, 2023).



Mediante la construcción de procesos cognitivos y reflexivos, los colectivos han resignificado su experiencia para comprender, entre otros elementos, donde se depositan las víctimas de desaparición. Diferentes estudios han documentado las formas en la cual las colectividades han desarrollado metodologías y acumulado conocimiento empírico para la localización de personas.⁶ En Jalisco, este conocimiento se ha articulado a solicitud de diferentes colectivos, a través de la Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco (COBUPEJ), la cual, en colaboración con el Museo de Ciencias Ambientales de la Universidad de Guadalajara (UDG), realizó entrevistas a madres participantes en colectivos de búsqueda para conocer cómo han enfrentado estos hechos que modifican sus historias y proyectos de vida. Mediante un análisis del contenido de sus testimonios, se generaron elementos para determinar si su actividad de búsqueda debiera ser reconocida como “ciencia ciudadana”. El resultado de dicho análisis y sistematización conceptual se presenta en el capítulo en este libro titulado “Las madres buscadoras hacen ciencia ciudadana”. En este trabajo sistematizamos la información que proveyeron y resumimos sus recomendaciones y peticiones.

Métodos

Realizamos, durante mayo y junio de 2024, entrevistas semiestructuradas a cuatro mujeres buscadoras (informantes calificadas) pertenecientes a dos colectivos ciudadanos de búsqueda de personas desaparecidas, fueron invitadas a participar por la COBUPEJ. Las madres entrevistadas tenían, cada una, entre tres y nueve años de experiencia en la búsqueda de su ser querido desaparecido. Para las entrevistas, se siguieron los principios éticos plasmados en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial para investigaciones con seres humanos (UCh, s.f.). Se obtuvo el consentimiento por escrito de las voluntarias para participar y para publicar los resultados. Al inicio de cada entrevista se le explicó a las participantes voluntarias el objetivo de la investigación y cómo se utilizaría la información. La hoja de consentimiento firmadas por las voluntarias incluye: descripción y objetivos de la investigación, listado de los derechos de las participantes, explicación del respeto al anonimato y a la confidencialidad, y la autorización para publicar los resultados. Las entrevistas tuvieron una duración de 60 a 90

6 Ver también los capítulos en este libro “Interpretando señales en la naturaleza: los saberes de mujeres buscadoras influenciando las prácticas de búsqueda en Jalisco” y “Las madres buscadoras hacen ciencia ciudadana”.

minutos, cada una, y se efectuaron acompañándolas mientras realizaban trabajo de campo, y también en línea utilizando la plataforma Zoom. Las entrevistas no fueron grabadas y se fueron transcribiendo manualmente a medida que hablaba la informante. Para proteger su identidad y no causar dolor emocional, no se incluyeron preguntas sobre la desaparición de sus seres queridos. Cuando ellas voluntariamente aportaron información al respecto, estos relatos se incluyeron en los reportes y ellas autorizaron su publicación. Se utilizaron nombres ficticios (María, Ofelia, Juana y Eugenia) y se excluyeron detalles específicos relacionados directa o indirectamente con el caso en particular.

Resultados

Las palabras de las madres buscadoras que entrevistamos, eran sencillas y directas. Explicaban, claramente, lo forzosamente aprendido en la búsqueda de sus seres queridos. A veces usaban tecnicismos, denotando que habían recibido capacitación. Presentamos un “collage” de las respuestas de mujeres buscadoras a nuestras preguntas.

En principio mencionan cuestiones relacionadas con el sistema procesal penal. En cuanto ellas tienen conocimiento de un nuevo caso de desaparición, narra María⁷, interponen la denuncia en la Fiscalía Especial en Personas Desaparecidas de Jalisco, levantan un reporte en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado o, de ser el caso, realizan ambas cosas. En estas instancias ofrecen toda la información con la que cuentan: comparten fotografías, describen la vestimenta que portaba la persona, ofrecen detalles sobre el círculo de personas a quienes frecuentaba y todo lo necesario para que las instituciones comiencen a develar las circunstancias de los hechos:

“Pero uno como familia no se queda esperando”, acota.

A partir de ahí, las buscadoras, por cuenta propia, comienzan el armado de ese complejo rompecabezas del “qué pasó.” Se inquiere desde dónde la persona fue vista por última vez, y con quién, hasta la ubicación de la antena que registró la última conexión del teléfono de la víctima y, en paralelo, comienza la ardua labor de buscar:

7

Nombre ficticio.



“Mientras se sigue investigando comenzamos a buscar en un perímetro alrededor de estos últimos avistamientos: en la plaza comercial, en las calles, donde sea que lo vieron. Esas primeras horas después de la desaparición son muy importantes para que se encuentre con vida a la persona”, sentencia.

El trabajo simultáneo en varios frentes continúa. Por un lado, profundizan en la investigación sobre las posibles causas de lo sucedido, haciéndose, incluso, partícipes de metodologías específicas seguidas por las instancias oficiales de búsqueda:

“Nosotras participamos en hacer mapeos y análisis de contexto con la Comisión de Búsqueda. Vamos viendo correlaciones entre las personas que nos reportan que desaparecen en tiempos o hasta en horas similares. A veces encontramos que fueron enterrados en la misma zona o incluso en la misma fosa”, explica.

Su narración deja entrever el conocimiento sobre patrones del comportamiento criminal que ha adquirido y plantea una hipótesis para investigar:

“Nos hemos fijado que el modus operandi ha cambiado. En 2015 desaparecían en un lugar y los enterraban en otros lados. De 2018 para acá ya no los trasladan a otro lugar diferente de donde los desaparecieron, ya las fosas están en la misma localidad o municipio, en zonas vecinas a donde ocurrió la desaparición. Además, antes se deshacían de los cuerpos de formas diferentes y eso ha cambiado a través del tiempo, ahora descuartizan mucho más que antes. También varían los tipos de cuerpos encontrados en las fosas, en cada zona hay diferentes características”, detalla.

En reiteradas ocasiones las percepciones adquiridas en la práctica por quienes participan en los grupos de búsqueda se contraponen entre sí. Por ejemplo, hay aspectos de lo expresado por María que chocan con la visión de Ofelia⁸, cuya historia de búsqueda se retoma más adelante:

“Yo no creo eso de que los desaparecidos los tienden a encontrar en el mismo municipio del que desaparecieron. Los mueven de lugar. Desaparecen en un lado y los entierran en otro. Más bien, las fosas tienen cuerpos de personas que desaparecieron en las mismas fechas, aunque las desapariciones hayan ocurrido en municipios diferentes”.

8 Nombre ficticio.

Pero en esta hoja de ruta, lo común es que antes de llegar a los hallazgos se hayan seguido otros procesos tendientes a incrementar las posibilidades de localización cuando la búsqueda inmediata resulta infructífera. Uno de los de mayor relevancia, es la toma de muestras de ADN que se necesita para corroborar un parentesco mediante técnicas de identificación genética humana. En Jalisco, esta disciplina resulta fundamental para conocer la identidad de los cuerpos, o segmentos de restos humanos, que llegan a permanecer desde unos cuantos días, hasta varios años, bajo el resguardo del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses (IJCF) bajo el acrónimo Personas Fallecidas Sin Identificar (PFSI).

En otra línea de acción, las buscadoras voluntarias también dan inicio con la búsqueda en campo de inhumaciones clandestinas. Sin embargo, en cuanto se comienzan a mencionar términos propios del ámbito forense (de los fallecidos), María se apresura en recordar que un reencuentro de esa clase no es el que persiguen:

“Pero esto no es porque pensemos que nuestro familiar ya está muerto, es para tener toda la información que se requiere, porque lo primordial es que lo encontremos en vida”, recalca.

Pero también aclara que, a diferencia de los colectivos que trabajan en torno a desapariciones políticas de décadas atrás, la motivación de su búsqueda no es aspirando a que se haga justicia:

“La mayoría de las familias, lo único que queremos es encontrar a nuestro ser querido para que llegue a casa. Nuestro caso no es igual al de las familias de la ‘Guerra Sucia’ de los años 60s. El que se haga justicia no es lo importante para nosotras. Porque jamás va a llegar la justicia. Porque nunca sabremos la verdad. No se sabrá la verdad, porque en la fiscalía, la ausencia de comunicación entre las instancias encargadas de la búsqueda frena el encontrar y darles identidad a tantas personas desaparecidas. No hacen su trabajo como deberían. Ellos no tienen una idea exacta de cuántas personas están desaparecidas, esto es un problema de gran magnitud en Jalisco y a nivel nacional”.

De cualquier forma, cuando la localización de una persona desaparecida se da tras su muerte, considera que hay procesos, como los peritajes y el trabajo de medicina legal, que deben ser realizados por instancias oficiales; lo que, lamenta, se contrapone con la visión de algunos colectivos que, movidos por la impotencia y la desesperación, deciden actuar independientemente. Dice:



“Nosotras vamos a los lugares donde nos dicen por llamadas anónimas que puede haber fosas, pero casi nunca las encontramos. Hay colectivos que siempre que salen encuentran cuerpos inhumados, eso nos parece raro. A veces estos colectivos van por la libre, sin policías, y si encuentran algo llaman al 911, pero no siguen el protocolo de esperar a que llegue la autoridad. Sacan el cadáver o partes de éste sin el conocimiento técnico y modifican la escena del crimen”.

Ellas utilizan una estrategia diferente en colaboración con las autoridades, pero admite:

“Todas las familias y colectivos buscamos de forma diferente y creo que jamás llegaremos a acuerdos entre nosotras en las formas. Porque el buscar es un derecho y cada quien lo hará en la forma que lo acostumbre mejor. Nosotras le hablamos a la Comisión, que son nuestros aliados valiosos, les pasamos la información tal como la tenemos y ellos nos sugieren qué hacer”, detalla.

A la vez que expresa su lamento respecto a que algunas instancias involucradas en la resolución de casos de desaparición no siempre les hagan partícipes de procesos de búsqueda:

“La Fiscalía recibe nuestra información, pero no nos dice cuándo van a hacer búsquedas; la Comisión es la que nos avisa para ir juntos. Por ley, la Fiscalía debería informarnos y ayudarnos a que participemos en las búsquedas y nosotras nos ajustaríamos al protocolo establecido”, añade.

Explica cómo proceden con lo aprendido en la práctica:

“Cuando llegamos a un predio debemos dividirlo en cuadrículas para poder saber siempre el lugar exacto donde estamos buscando. Revisamos el terreno, metro a metro, buscando hundimientos de tierra, montículos, tierra removida, diferencias en follaje de las plantas en la superficie, y cosas así. Cuando hay un montículo esto indica que pudiera haber un cadáver recién inhumado. Cuando se detecta un hundimiento, esto indica que pudiera haber un cadáver con mayor tiempo en descomposición”.



Figura 1. Sitio de experimentación forense ubicado en Centro Universitario de Tonalá



Fuente: COBUPEJ.

Esta participación, insiste, es necesaria a pesar de que los riesgos en materia de seguridad a los que se exponen los colectivos durante su labor en campo no son pocos:

“Se dan casos de amenazas de muerte a los familiares que estamos buscando, aunque pase mucho tiempo y no se tengan noticias nuevas. Hace ya nueve años que mi hijo desapareció en Mazamitla, Jalisco. Esa zona es muy problemática y es muy peligroso ir al lugar donde hay fosas clandestinas. No podemos ir a buscar ni siquiera con el apoyo de las autoridades”, lamenta.

Nueve años y el tiempo avanza sin detenerse. Inexorable como es, el tiempo ha logrado lo que los intentos de intimidación no, pues su edad, dice, es lo que ya no le permite salir a campo con frecuencia. Sin embargo, lo que ha atestiguado ya en búsquedas en lotes baldíos o en terrenos abiertos, ya en las incontables horas que ha pasado en las instalaciones del Servicio

Médico Forense buscando, entre fotografías de cuerpos que ahora carecen de un nombre, alguna señal particular que le hable de su hijo. Todo esto le es un recuerdo constante de que no debemos habituarnos a la atrocidad:

“Tenemos más callo por ver tantos cadáveres, hacemos de tripas corazón, pero no es normal lo que están haciendo”, concluye.

Por otro lado -y con más puntos de confluencia que discrepancias- como María, Ofelia también transitó baldíos, calles y campos queriendo conocer el destino de su hermano menor. Como si el amor por los nuestros requiriera de justificaciones filiales, se apresura a decir que a él:

“Lo sentía como si fuera mi hijo”.

Tratando de constreñir en una escala el valor de esos vínculos, sean los que sean, que desde el primer segundo de haberse forjado nos brindan pertenencia, identidad o seguridad, ella enfatiza su argumento resaltando que, cuando su hermano nació, llegó a un mundo ya habitado por ella, aunque fuera desde sólo un año atrás:

“Siempre estuvimos juntos”, reitera.

Comienza a contar que su hermano fue desaparecido en 2019 y, cada tanto, mientras comparte su experiencia, surgen paralelismos con otras de las historias de quienes se han visto llevadas a transitar el camino incierto que se abre tras una desaparición: la inicial sensación de lo inverosímil, el reflejo inmediato de salir a buscar, la paulatina toma de conciencia de las dimensiones de lo ocurrido:

“Al principio no te cae el veinte de que tu ser querido ha desaparecido. Lo buscas con familiares y amigos. Conociendo a mi hermano, sabía que él no se perdía, que siempre llegaba a su casa. Cuando mi cuñada nos reportó que no llegó, hicimos rápido la denuncia al día siguiente. También salimos a la calle a preguntarle a sus amigos, conocimos gente nueva, conocidos de él que nosotros no conocíamos. Conforme nos daban información nos movíamos a diferentes lugares”, rememora.



Le siguieron otros momentos: la aplastante realidad de una ausencia que se prolonga; los contrastes de vivir la solidaridad y la indiferencia; la perturbación inesperada de lo antes estructurado.

Ofelia, por ejemplo, tiene hijos pequeños cuya rutina también se fracturó tras la desaparición de su familiar. Quizás es por eso también que se refiere a sí misma como una madre buscadora, pues los menores han vivido las secuelas que deja en una familia un fenómeno difícil de comprender para quien lo intente cavilar sin importar su edad, pero que resulta especialmente complicado de explicar a las infancias.

Ofelia lo hizo con solo cuatro palabras: **“su tío no está”**. Y continúa:

“Yo sabía que me podían matar y les dije a mis hijos ‘su tío no está, y yo lo tengo que buscar’. Les dije: ‘yo haría lo mismo por ustedes dos. Puede que me pase algo, pero yo estaré feliz buscando, sabiendo que hice algo por él. Eso me va a hacer mejor, que sentirme mal toda la vida por no hacer nada’. Su desaparición causó dolor en toda mi familia”.

Avanzado ya el camino, tras llenarse de capacitaciones formales y experiencias en el campo, Ofelia habla con fluidez de cómo proceden ella y sus pares buscadoras para regresar un nombre a aquellos a quienes otros buscaron despojar permanentemente de su identidad al depositarlos en fosas clandestinas:

“Cuando nos dicen en una ficha que alguien tenía ciertas señas [particulares] o nos mandan fotos de ellas, las dibujamos. Eso nos sirve [durante las búsquedas]. Cuando están segmentados los cuerpos, pues vamos formando las imágenes poco a poco y, si nosotras encontramos esa seña, ese tatuaje, lo avisamos. Cuando estamos seguras que es una persona, lo subimos a las páginas web o subimos las libretas, aunque no dibujamos bien, y explicamos los detalles”.

Juana⁹, por su parte, también conoce de primera mano y desde hace una década esas marcas que quedan en el cuerpo y en el espíritu después de cavar la tierra, visitar las morgues y recorrer las calles en búsqueda de alguien que cada día hace falta. En ese tiempo, estima, ha participado en alrededor de 25 búsquedas en campo; unas 15 de éstas en compañía de las

9 Nombre ficticio.



instancias oficiales, el resto por iniciativa propia y bajo la total organización del colectivo del que forma parte:

“A nosotras nos llega información sobre dónde investigar por llamadas y mensajes anónimos, nos dicen ‘en tal calle’ o ‘en tal cerro’ y vamos al lugar. La búsqueda es algo muy agotador, muy cansado. A veces los predios son muy grandes y no sabemos en qué punto específico empezar a buscar. Muchas veces son horas de trabajo bajo el sol sin descanso y puede ser frustrante cuando dejas el alma en el campo y no encuentras nada”, relata.

Ella pide que valoren no solo la información que proveen, sino también sus corazonadas:

“Nos deben hacer caso a lo que decimos, aunque sea por intuición”.

Esto lo corrobora personal de la Comisión. Una vez siguiendo una llamada anónima que le hicieron a una madre, la Comisión había estado buscando con maquinaria las fosas durante 20 días. Al anunciar que se retiraban, una de las madres les pidió – **“Dale dos paladas más y ya con eso me conformo”**. En la siguiente palada encontraron restos humanos. Trabajaron otros 14 días adicionales en dicho predio de donde se exhumaron varios cuerpos.

Nuevamente reclama que se les tome en cuenta:

“Es muy importante que se complementen los conocimientos científicos con los conocimientos de nosotras. Nosotras somos las que tenemos conocimiento de los hechos de la desaparición. Es prioritario que seamos escuchadas. Logrando la suma de estos dos factores, con la ciencia y el conocimiento nuestro se puede hacer una mejor ciencia de búsqueda.”

El desgaste, en todo caso, resulta ínfimo en comparación con la importancia que le confiere el no detener la búsqueda. Su reflexión es firme:

“Para mí el aporte principal es sentir que estoy haciendo algo. Aunque yo no encuentre a mi ser querido, por lo menos ayudo a que otros lo hagan, aunque sean muy antiguos [los casos de] sus seres queridos. Sientes que te llena el decir ‘lo hago por ti, aunque yo no lo encuentre’”.



Con una frase tajante resume por qué las madres seguirán buscando de manera autónoma:

“Con la información de las carpetas de investigación, con las supuestas indagaciones del Ministerio Público nunca han encontrado un cadáver. La frase con la siempre nos reciben en el Ministerio Público es- ‘Y ahora, ¿Qué nuevas me traes?’- Cuando es la autoridad la que nos debe estar informando a nosotras, y no nosotras a ellos.”

Pero, ¿qué hacer si, aquí y ahora, en muchas ocasiones son los colectivos quienes alcanzan mayores éxitos en revelar hechos e informaciones sobre los casos de sus desaparecidos? Producto de la falta de sistematización de la información -labor que debía ejercer las instituciones gubernamentales creadas con ese fin- existen lagunas imperdonables de conocimiento sobre el valor de las contribuciones de las madres buscadoras. Ofelia sintetiza en un par de datos la importancia de los conocimientos empíricos que han acumulado quienes buscan:

“Creo que siete de cada diez fosas, el 70 por ciento, han sido encontradas por la información que proveemos los familiares y colectivos”. Luego añade. - “También somos nosotras, las de los colectivos, quienes cuando encontramos un cuerpo con nombre lo anunciamos por Facebook, aunque eso le correspondería a la Fiscalía”.

Pero el éxito de las madres de encontrar a su ser querido, inclusive con vida, no siempre resulta ser un hecho alentador; como narra Eugenia¹⁰, una buscadora que se ha visto en medio de un dramático viaje intentando conocer el destino de su hija, cuya desaparición podría configurarse como un caso de trata de personas:

“Finalmente sí la vi. Estaba parada afuera de un bar, en el norte de la ciudad. Pero cuando busqué a las autoridades ya se la habían llevado. Después un muchacho, que vio una de las fichas que pegamos, me dijo que había hablado con ella en una banquetta, pero un hombre se acercó para alejarla. Averigüé cosas de quienes la tenían secuestrada, y me atreví a ir a un domicilio. Era oscuro, y tenía grandes figuras de la Santa Muerte. El hombre que me habló me dijo: - ‘Usted rece para que cuando su hija ya no les sirva, la dejen ir viva. Pero ya no la busque, y no regrese aquí. Se lo advierto.’- Me dio mucho miedo. Eso fue hace unos años, pero yo sigo buscando, esperando encontrarla y ayudando a otras madres”.

10

Nombre ficticio.

María reclama que, en parte, esto obedece a que no hay suficiente comunicación e intercambio de información entre instancias del Sistema Estatal de Búsqueda, como la Fiscalía Especializada y la Comisión de Búsqueda. Además, reclama el flujo unidireccional de información:

“En mi opinión, los niveles de colaboración son bajos. Las instituciones nos dicen en su discurso que sí colaboran entre sí, pero hemos comprobado que su comunicación es muy poca o nula. La capacitación y cursos que hemos recibido en nuestro colectivo, no es porque nos lo hayan ofrecido. Es porque nosotras lo hemos pedido. La participación conjunta en la búsqueda solamente la tenemos con la comisión de búsqueda estatal, que la sentimos como nuestra aliada”.

Y repite la solicitud que hacen todas:

“Ayúdennos a exigirle a nuestras autoridades a tener más comunicación entre ellas y con nosotras, darle más visibilidad al problema y tener sobre todo sensibilidad para darle un trato digno a nuestros desaparecidos”.

Ante ello, las búsquedas en campo no son la única forma en que los colectivos realizan acciones autónomas para encontrar a quienes faltan. En el que participa Juana, por ejemplo, también sale a las plazas públicas o lugares concurridos donde colocan una caja que hace las veces de buzón de denuncias anónimas bajo el compromiso de que no habrá consecuencias negativas para quien les brinde información. Pero considera que hay un punto que no debería cruzarse por parte de los familiares de personas desaparecidas, sino que debe recaer exclusivamente en las autoridades: el manejo de escenarios de hallazgo y de los cuerpos o restos que ahí se lleguen a encontrar:

“Hay que tener prudencia. Los cuerpos tienen dignidad, aunque no tengan vida. No son trofeos, son cuerpos de personas y, si los exhumamos de forma incorrecta, estamos profanando el lugar y modificando la escena del crimen. Las propias madres, si escarban sin conocimiento, pueden fragmentar el cuerpo de sus hijos”.

No profundiza, su postura siempre ha sido la misma, pero es probable que en ella haya influido el conocimiento del que se ha apropiado después de acudir todos los sábados, durante



cinco meses, a una capacitación otorgada por el Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses en el que se instruyó en temas que conforman una mirada multidisciplinar. Ahora dice ella:

“Aprendemos de dactiloscopia, de tipos de suelos, de evolución cadavérica, de peritajes y antropología forense o de sistemas de posicionamiento global”.

Esto, claro, no responde a una curiosidad académica, sino a una problemática que atraviesa lo personal y lo social, así como lo privado y lo comunitario.

Prueba de que esta realidad trasciende los intereses propios es el caso de Ofelia. Ella, después de haber localizado el cuerpo de su hermano, decidió continuar removiendo tierras, reconociendo cadáveres en las morgues o pegando fichas de búsqueda por las calles. -

Figura 2. Barrena hueca de sondeo



Fuente: COBUPEJ.

“Mi razón de seguir buscando es ayudar a darle paz a las personas que he conocido y que veo que lloran, que veo sufrir, como yo estuve sufriendo. Es un dolor muy fuerte, por eso hay que saber dónde están. Yo, ahora, ya que sé que mi hermano no vive, ya que sé que es él a quien encontré, estoy más tranquila”.

Así, las madres buscadoras nos recuerdan que todas las personas desaparecidas son nuestras hermanas y hermanos, nuestras hijas e hijos. Juana lo expresa lanzando un mensaje sin un destinatario único, sino uno que nos interpela a todos los integrantes de esta sociedad:

“Tenemos que buscar [a los desaparecidos] como una familia”.

Las numerosas deficiencias institucionales que las buscadoras han sufrido y atestiguado, derivan en la expresión de una serie de quejas de las que emana un claro sentimiento de frustración, pero, aun así, van más allá y las transforman en sugerencias y peticiones que dirigen a las autoridades. Como quedó de manifiesto en las historias narradas por las buscadoras, existe un sentir compartido respecto a que la falta de comunicación es la principal problemática que prevalece entre las instituciones de gobierno, pues se convierte en génesis de otras complicaciones para las que exigen solución. Al respecto, Ofelia profundiza:

“No hay comunicación y eso nos dificulta más la búsqueda. Si desaparecen en Jalisco, pero vivían en la Ciudad de México, no pueden cruzar información con otros estados a menos que se haga una petición, y es un proceso muy largo y con complicaciones. Tampoco tienen buena comunicación, ni la Fiscalía de desaparecidos con la Fiscalía de Homicidios, ni éstas a su vez con el SEMEFO”.

Para continuar:

“Una vez les pregunté por qué si un cuerpo ya está liberado no se lo daban a los familiares. Hay muchas personas que ya encontraron el cuerpo de su ser querido en el SEMEFO y ni ellos ni la Fiscalía lo liberan. Siempre tienen pretextos: ‘Es que la persona está ausente y no tiene suplentes’. Siempre es una cosa u otra. Un familiar ha estado tanto tiempo sufriendo y luego lo encuentras, ¡y entonces todavía te ponen más trabas! “, lamenta.



Ella no habla sin fundamento, conoce en carne propia qué tan graves pueden llegar a ser las afectaciones que las fallas en los procesos institucionales causan:

“Cuando reportamos la desaparición de mi hermano, la Fiscalía decía que habían iniciado la búsqueda, pero no podíamos corroborarlo y no nos daban información. Yo sentía que no había nadie que me pudiera ayudar. Pensaba: ‘Si yo no hago algo, pues nadie lo hará por mí’. La verdad me sentí muy desprotegida”, recuerda.

“Al final duré dos años y medio buscando a mi hermano ¡y él ya estaba en el SEMEFO tres meses después de haber desaparecido! Desde enero su cuerpo ya estaba ahí. Me preocupa que lo que me pasó a mí le vuelva a pasar a otra gente. Luego me avisan que algunas ya saben que su familiar está en el SEMEFO pero no les entregan el cuerpo”, lamenta.

Esto se fortalece por lo expresado por Eugenia:

“A una compañera le entregaron unas cenizas que le dijeron que eran de su hijo. Pero no le han podido dar ninguna evidencia o constancia de que son, efectivamente, de él; bien pudieran ser las de un perro”.

Aunque Ofelia considera que al paso de los años ha habido cambios positivos en el trabajo realizado por las dependencias de gobierno, ve en situaciones como las que ella vivió el origen del deterioro de la confianza en el trabajo de las instituciones que muchos familiares comparten. Pues a veces parece olvidarse un elemento omnipresente: la zozobra, que, en medio de trámites, citatorios y una vida cotidiana que deben continuar, aunque a veces pareciera vacía, experimentan casi de forma permanente quienes se encuentran inmersas en procesos de búsqueda:

“En las oficinas gubernamentales también hay personas buenas que nos apoyan, que le echan ganas y que de corazón ayudan. Se les debe dar agradecimiento. A pesar de la crítica que hacemos al gobierno, [en las instituciones] hay de todo. Hay a quienes no les importa, pero hay también ángeles que nos cuidan y nos ayudan. Nos resuelven la situación y eso nos mueve mucho. Hace unos años estaban muy mal. No estaban preparados, tenían una actitud fea, no tenían tacto, no sabían. Ahora han ido mejorando”.

Y continúa:

“Pero es muy fuerte la angustia de tener un ser querido sin saber nada de él. Uno pide por ellos y los va a buscar para localizarlos donde sea que estén. Esa angustia nos cierra la posibilidad de poder conversar [con las autoridades]. Es difícil entender la situación del otro lado. La familia de la persona desaparecida desea que los cateos y la ayuda sean muy rápidos, pero las cosas no siempre pueden ser tan rápidas”, detalla.

Es por eso que a quienes integran los colectivos de familiares también les recomienda:

“Que no se acerquen a la Fiscalía enojados”, dice.

Pues cree que hacerlo sin enojó facilitará la existencia de canales de diálogo exitosos entre autoridades y las familias:

“Se entiende el enojo porque no hacen bien su trabajo, ni hacen las cosas como uno quiere, pero algunas personas en la Fiscalía sí quieren ayudar y quisieran que los familiares se acercaran más para compartir información. A veces me piden [otras buscadoras] participar en manifestaciones en contra de la Fiscalía, y yo no las censuro porque lo hagan, ese es su sentir y su derecho; pero a mí me resultó mejor [mantener] una actitud positiva en vez de pelearme”.

En ese mismo espíritu conciliador manifiesta su creencia de que, en este momento, resulta crucial consolidar un apoyo mutuo entre los colectivos sin importar las diferencias ideológicas existentes y los distintos modos de operar de cada uno:

“Todas estamos sufriendo, todas gastamos dinero y también se vale que cada quien busque como pueda. Nos debemos apoyar entre todas. Se deben respetar las decisiones de cada colectivo. Eso hará que seamos mejores y nos podamos unir”.

Ya en un rubro menos terrenal, aconseja a quienes forman parte de los colectivos:

“Que le pidan a Dios que los acompañe en su búsqueda, que les dé una solución. Aunque no crean en Dios”.



Denotando que más que un clamor religioso, lo dice como una estrategia para encontrar la fuerza requerida para soportar las tribulaciones de esa odisea, una que, contrario a lo que podría pensarse, no dejó de lado Ofelia tras la localización de su familiar. Y es que recuerda que, durante el tiempo que su hermano estuvo desaparecido, había un pensamiento recurrente que no la dejaba comer o que llegaba a ella inclusive mientras se daba un baño:

“Yo aquí. ¿Y mi hermano? ¿Estará sufriendo?”, se repetía.

Ahí está el origen de la breve, pero demoledora respuesta que da al “¿por qué?” que habitualmente nace en quien conoce su historia cuando se entera que continúa participando de manera activa en las búsquedas y demás actividades emprendidas por el colectivo del que forma parte. –

“Porque una desaparición no deja vivir”.

Discusión

Estos testimonios dan cuenta que las personas buscadoras inician su labor percatándose e investigando si, efectivamente, su ser querido está desaparecido. Su trabajo inicial es siempre bajo la premisa de que realizan una “búsqueda en vida”. Indagan si la ausencia se trata de una decisión propia o de una privación ilegal de la libertad. Se investiga en centros de detención, sitios de rehabilitación de adicciones y espacios de atención a emergencias de salud. Lo primero que aprenden es a discernir entre las diferentes instancias gubernamentales con las que tienen que interactuar en su búsqueda (ver detalles en el capítulo de este libro: “Madres Buscadoras Hacen Ciencia Ciudadana”).

En el caso de Jalisco, las familias suelen recurrir a, al menos, seis entidades cuando se enfrentan a situaciones similares. Es importante destacar que el proceso seguido por las familias no es lineal, lo que dificulta establecer un orden concreto en la consulta a las instituciones encargadas de la investigación y búsqueda. Aunque estas entidades están ganando cada vez más visibilidad, el protocolo a seguir y el lugar al cual acudir primero pueden no estar claramente

definidos, por lo que el proceder depende de la intuición de cada individuo. Algunas familias podrían considerar oportuno contactar a servicios de emergencia, como el 911, y otras acudir a hospitales, o dirigirse a alguna comisaría de seguridad pública. En ciertas ocasiones, deciden trasladarse directamente al Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses para investigar si alguna persona fallecida coincide con las características de sus seres queridos. Las sugerencias y peticiones de las madres buscadoras se pueden sintetizar en once puntos¹¹:

1. Que se difundan orientaciones sobre cómo iniciar el proceso de denuncia de búsqueda eficiente. De forma simultánea, se deben colocar denuncias ante la Fiscalía Especial de Personas Desaparecidas y el reporte de desaparición ante la Comisión de Búsqueda de Personas. Esto detonará de manera inmediata la investigación en la Fiscalía Especial de Personas Desaparecidas y la búsqueda en la Comisión de Búsqueda de Personas. Un ejemplo a seguir es la “Guía Inmediata para la búsqueda y localización de personas desaparecidas por familias buscadoras” que contiene recomendaciones sobre los dos tipos de búsqueda más relevantes: La búsqueda bajo el principio de presunción de vida y la búsqueda en campo o de tipo forense (UAM-Cuajimalpa, 2022).
2. Que se generen nuevos y mejores canales para compartir información y solicitar acciones entre las instituciones del gobierno estatal, entre éstas y sus pares de otras entidades, y entre todas estas y las adscritas al gobierno federal. Terminar con las prácticas de negar a los familiares el acceso a la información sobre sus seres queridos desaparecidos.
3. Que todas las instancias de impartición y procuración de justicia y las instancias de búsqueda y de atención a familiares, así como el Servicio Médico Forense del estado, cuenten con un mayor número de personas, con perfiles adecuados -que se encuentren capacitados en sus respectivos rubros de conocimiento- y que se dediquen exclusivamente a labores asociadas a la crisis de desaparición de personas.
4. Que se garantice que la totalidad del personal en contacto con quienes han sido privados de la presencia de un ser querido estén capacitados sobre el dolor emocional por el que atraviesan y, por ende, para interactuar con ellos.

11 La lista de once sugerencias y peticiones extraídas de nuestras entrevistas son coincidentes con las reportadas en los capítulos en este libro “Los Encontraron En Las Flores: Testimonios De Mujeres Buscadoras Influenciando el Prácticas de Búsqueda de Jalisco” y “Las Madres Buscadoras Hacen Ciencia Ciudadana.”

5. Que se reduzca la burocracia de algunos procesos relativos a la entrega de apoyos a víctimas indirectas para garantizar y agilizar que, efectivamente, puedan ser utilizados de forma inmediata tras una desaparición.
6. Que los apoyos otorgados por parte de instancias del gobierno estatal a víctimas indirectas no estén restringidos a personas residentes del estado.
7. Que se priorice la entrega de apoyos a los hijos de las personas desaparecidas para que puedan seguir estudiando y se establezca una estancia especial para que prestadores de servicio social les brinden cuidados y educación mientras sus madres participan en búsquedas.
8. Que se agilice y fortalezca la prestación de atenciones psicológicas dirigidas a familiares de personas desaparecidas y se amplíen los rubros cubiertos por concepto de gastos funerarios.
9. Que se reactiven los casos de mayor antigüedad, documentados en averiguaciones previas de las fiscalías o procuradurías, y se realicen cruces frecuentes con los datos de cuerpos de personas sin identificar bajo resguardo de los institutos forenses.
10. Que -considerando que por primera vez en la historia de México una mujer ocupará la silla presidencial- sean recibidas por el Ejecutivo Federal para solicitar que se fortalezcan las Fiscalías y Procuradurías de la República y de todas las entidades federativas, a fin de agilizar los procesos de investigación y búsqueda (Zulver & Kloppe-Santamaría, 2024).
11. Que se establezcan procesos y lineamientos para evitar retrasos en la liberación y entrega a familiares de cuerpos o restos humanos que han sido plenamente identificados.



Reflexiones finales

Las entrevistas describen, desde la óptica de las madres buscadoras, la co-producción de conocimientos en las áreas de investigación criminológica; de búsqueda, localización e identificación de personas; y experimentación forense. Su labor ha sido importante en el proceso de obtención de información bajo enfoques de ciencia ciudadana (actividad que se manifiesta de forma frecuente y generalizada en las narraciones de las madres buscadoras). La inherente democratización del conocimiento asociada a este enfoque ha tenido como consecuencia el lograr cambios en el proceso social, la legislación, las políticas públicas y, en general, en la gestión gubernamental en torno a esta problemática.

Agradecimientos

Agradecemos a las cuatro madres anónimas que aceptaron ser entrevistadas por su revisión y aprobación de la publicación de este manuscrito. Agradecemos a Guadalupe Morfín Otero, Alfredo Ortega Ojeda, y a dos revisores anónimos que mejoraron la redacción y organización de este trabajo.

Referencias

- BARRAGÁN, A. (2023, 2 de agosto). *México, el país de las 2.710 fosas clandestinas*. El País. Recuperado de: https://elpais.com/mexico/2023-08-03/mexico-el-pais-de-las-2710-fosas-clandestinas.html?event=go&event_log=go&prod=REGCRARTMEX&o=cerrmex.
- CNB. (2024). *Total de personas desaparecidas, no localizadas y localizadas*. Registro Nacional de Personas Desaparecidas y No Localizadas. Comisión Nacional de Búsqueda. Versión Estadística RNPDNO - Dashboard CNB (segob.gob.mx)
- FALLET, V. F., & CHÁVEZ Y ARREDONDO, A. R. (2022). *Búsquedas y saberes. Las desapariciones forzadas en México*. 19 (50):223-242.
<https://andamios.uacm.edu.mx/index.php/andamios/article/view/943/1940>
- GUILLÉN, A. (2024). *Jalisco, tierra de desaparición y colectivos de búsqueda*. MAGIS, año LX, No. 499, mayo-junio 2024.
<https://magis.iteso.mx/nota/jalisco-tierra-de-desaparicion-y-colectivos-de-busqueda/>
- ICMP. (2020). *Mapeo de organizaciones de familiares de personas desaparecidas y de otras organizaciones de la sociedad civil: Colombia*. Comisión Internacional sobre Personas Desaparecidas.
<https://www.icmp.int/wp-content/uploads/2020/08/ICMP-Mapeo-de-Familiares-y-OSC-en-Colombia-2020.pdf>
- MARES, T. (2023, 4 de mayo). *Asesinadas en la búsqueda. A 9 madres buscadoras les han quitado la vida en 13 años. La última, Teresa Magueyal*. Sin Embargo.
<https://www.sinembargo.mx/04-05-2023/4356482>
- REDETAM. (2020). *Guía ciudadana para la búsqueda de personas desaparecidas en Tamaulipas*. Red de Desaparecidos en Tamaulipas, De Pie Hasta Encontrarlos A. C. <https://desaparecidosbusquedaenvida.mx/wp-content/uploads/2020/12/2020Gui%CC%81a-de-bu%CC%81squeda-Tamaulipas-.pdf>
- RODRÍGUEZ, Ó. (2017). *Historia de la desaparición en México: perfiles, modus y motivaciones. Derecho y Ciencias Sociales*. Instituto de Cultura Jurídica y Maestría en Sociología Jurídica. FCJ y S. UNLP. N° 17: 247-27.



- SAAVEDRA, D. (2023). *En México ya hay más de 100 grupos y colectivos que buscan a sus desaparecidos*. Gaceta UNAM. <https://www.gaceta.unam.mx/en-mexico-ya-hay-mas-de-100-grupos-y-colectivos-que-buscan-a-sus-desaparecidos/#:~:text=Adem%C3%A1s%2C%20se%20agrega%20el%20dolor,donde%20crearon%20redes%20y%20brigadas>.
- TZUC, E. (2023, 9 de octubre). *México rebasa las 5 mil 600 fosas clandestinas*. Quinto Elemento Lab. <https://quintoelab.org/project/mexico-rebasa-cinco-mil-fosas-clandestinas>
- UAM-CUAJIMALPA. (2022). *Presentan Guía Inmediata para la búsqueda y localización de personas desaparecidas por familias buscadoras*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa. <https://www.cua.uam.mx/news/noticias/presentan-guia-inmediata-para-la-busqueda-y-localizacion-de-personas-desaparecidas-por-familias-buscadoras>
- UCH. (s.f.). *Pautas Éticas Internacionales para la Investigación y Experimentación Biomédica en Seres Humanos*. Universidad de Chile. <https://uchile.cl/u76196>
- VÁZQUEZ, L. (2023, 5 de mayo). *Madres buscadoras en Guanajuato: ONU-DH documenta sus asesinatos desde 2020*. El Financiero. <https://www.elfinanciero.com.mx/estados/2023/05/05/madres-buscadoras-en-guanajuato-onu-dh-documenta-sus-asesinatos-desde-2020/>
- ZULVER, J. & KLOPPE-SANTAMARÍA, G. (2024, May 16). *In Mexico's Election, the Search for the Missing Should Be Front and Center*. Americas Quarterly. <https://www.americasquarterly.org/article/in-mexicos-election-the-search-for-the-missing-should-be-front-and-center/>.







Capítulo 3

“Metamorfosis”:

Roberto Becerra Suro

(4.0 m x 2.1 m, acrílico sobre tela). El mural evoca la doliente realidad de la lucha de los colectivos de búsqueda de personas desaparecidas, con elementos relativos a la fortaleza de las madres buscadoras, el espectáculo esterilizante, los medios de comunicación y el campo desolador socavado por las búsquedas incansables de cadáveres.



Las madres buscadoras hacen ciencia ciudadana¹

Eduardo Santana Castellón², Tunuari Roberto Chávez González³,
Lourdes Andrea Linton Padilla⁴ y Gabriel Aquiles González Ruiz⁵
Contribución arbitrada

Resumen

Con más de 230 colectivos ciudadanos de búsqueda de personas desaparecidas, México es el país con mayor número de organizaciones de este tipo en el mundo. Se presenta un resumen contextual de las desapariciones y los colectivos de búsqueda en México, y del desarrollo de la ciencia ciudadana o participativa.

-
- 1 Sobre la fotografía del mural que aparece en la portada. “Metamorfosis”: Roberto Becerra Suro (4m x 2.1m, acrílico sobre tela). El mural evoca la doliente realidad de la lucha de los colectivos de búsqueda de personas desaparecidas, con elementos relativos a la fortaleza de las madres buscadoras, el espectáculo esterilizante, los medios de comunicación y el campo desolador socavado por las búsquedas incesantes de cadáveres.
 - 2 Museo de Ciencias Ambientales, Centros Universitarios de Tlajomulco y Costa Sur de la Universidad de Guadalajara, Centro Cultural Universitario, Biblioteca Pública del Estado de Jalisco (Piso 6), Periférico Norte 1695, Colonia Parque Industrial Belenes Nte., C.P. 45150 Zapopan, Jalisco México; y Department of Forest and Wildlife Ecology, University of Wisconsin-Madison. Correo: eduardo.scastellon@udg.mx.
 - 3 Comisión de Búsqueda de Personas Desaparecidas del Estado de Jalisco (COBUPEJ), Calle Libertad #1955, Col. Americana, Guadalajara, Mexico.
 - 4 Comisión de Búsqueda de Personas Desaparecidas del Estado de Jalisco (COBUPEJ), Calle Libertad #1955, Col. Americana, Guadalajara, Mexico.
 - 5 Comisión de Búsqueda de Personas Desaparecidas del Estado de Jalisco (COBUPEJ), Calle Libertad #1955, Col. Americana, Guadalajara, Mexico.

Con base en la experiencia de los autores asociados a la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco que han trabajado con cientos de madres buscadoras y participando en unos doscientos procesos de búsqueda, y a partir de entrevistas publicadas y realizadas en este estudio con madres buscadoras, se sistematizó la descripción sobre las formas en que los colectivos realizan sus indagaciones, efectúan las búsquedas de campo e informan a las instancias oficiales sobre sus descubrimientos y conclusiones.

Se documenta que las actividades de las madres buscadoras, aunque se diferencian de la ciencia ciudadana tradicional, cumplen, total o parcialmente, con todos los criterios definitorios de la Asociación Europea de Ciencia Ciudadana.

Se describe un proceso cíclico de búsqueda autogestiva de investigación/acción que ocurre articulado entre los colectivos y las instancias de gobierno. Este esquema muestra cómo los colectivos de búsqueda que hacen ciencia ciudadana, también fungen como “observatorios ciudadanos” o “centinelas cívicos” y aportan a fortalecer la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la iniciativa de la ONU conocida como “Principios Rectores para la Búsqueda de Personas Desaparecidas”.

Palabras clave: personas desaparecidas, ciencia ciudadana, madres buscadoras, gobernanza forense, colectivos de búsqueda.

Introducción

El Museo de Ciencias Ambientales de la Universidad de Guadalajara y la Comisión de Búsqueda de Personas Desaparecidas del Estado de Jalisco (COBUPEJ) unieron esfuerzos para analizar el contexto de “ciencia ciudadana” o “participativa” que practican los colectivos de mujeres buscadoras de sus familiares desaparecidos. Con más de 230 colectivos de búsqueda de personas desaparecidas, México, seguido por Colombia, es el país que alberga el mayor número de organizaciones de este tipo en el mundo (Barragán, 2023; Gatti, 2017; ICMBP, 2020; Saavedra, 2023).⁶ Por su creación espontánea y, a veces, existencias efímeras, en Jalisco no existe una

6 Su antecedente directo se remonta a la organización Madres de la Plaza de Mayo en Argentina, que inició en 1977 cuando un grupo de mujeres se organizó para exigir apoyo estatal para encontrar a sus seres queridos desaparecidos por agentes del Estado durante la dictadura de Jorge Rafael Videla. Asociados a las Madres de la Plaza de Mayo, surgieron grupos como el de las Abuelas de la Plaza de Mayo que siguieron diversas líneas de acción para buscar a sus hijas, hijos, nietas, nietos, bisnietas

cifra específica de número de colectivos en el estado; sin embargo, se conoce la existencia de 19 colectivos que colaboran con las instancias del Sistema Estatal de Búsqueda (Guillén, 2024; Rodríguez, 2023). En el presente trabajo documentamos cómo las investigaciones de las madres buscadoras cubren los requisitos para ser llamadas “ciencia ciudadana”, describimos sus aportaciones, ubicamos sus actividades en el contexto de la investigación-acción participativa en América Latina y hacemos recomendaciones para mejorar el desempeño del proceso de búsqueda de personas desaparecidas.

Metodología

Entrevistamos a cuatro mujeres buscadoras de dos colectivos de búsqueda, reportadas en este libro en el capítulo “Saberes nacidos del dolor: testimonios y propuestas de las madres buscadoras”, y revisamos publicaciones sobre las actividades de los colectivos de búsqueda (Cruz-Santiago, 2020; Fallet et al., 2022; Granja, 2023; Olarte-Sierra et al., 2023; Robledo, 2019; Schwartz & Cruz, 2016a; 2016b; 2018; Torres & Smith, 2023), incluyendo las reportadas en el capítulo de este libro titulado “Los encontraron en las flores: testimonios de mujeres buscadoras influenciando las prácticas de búsqueda de Jalisco”. Integramos las experiencias y la información recabada por los coautores de este trabajo, A. González, T. Chávez y A. Linton, integrantes de la Comisión de Búsqueda de Personas Desaparecidas del Estado de Jalisco, que han participado, desde 2019, en más de 200 búsquedas de campo de fosas clandestinas, con cientos de madres buscadoras, y realizado análisis de contexto y experimentos de campo en cooperación con varios colectivos de búsqueda. Con estas fuentes describimos la forma en que los colectivos realizan sus investigaciones y búsquedas de campo, e intercambian información con organismos gubernamentales sobre sus descubrimientos, conclusiones y recomendaciones. Sistematizamos dicho proceso identificando los diferentes actores gubernamentales con los cuales los colectivos de búsqueda interactúan y presentamos diagramáticamente los pasos seguidos. Finalmente, comparamos dicho proceso con los criterios elaborados por la Asociación Europea de Ciencia Ciudadana (ECSA, 2015).

y bisnietos nacidos de hijas que habían sido desaparecidas. Algunas madres y abuelas fueron desaparecidas o asesinadas por su labor de búsqueda (CNDH, s.f.; Abuelas de la Plaza de Mayo, s.f.; Ortiz, 2012).



La Ciencias Forenses Tradicionales

Históricamente, científicas y científicos han desarrollado diversas metodologías y conocimientos para la solución de crímenes y para encontrar personas desaparecidas (Berezowski et al., 2022; Quinto-Sánchez, 2022; Robledo, 2019). Diversas organizaciones internacionales han elaborado recomendaciones sobre investigación científica forense e informes sobre novedades tecnológicas aplicadas a la búsqueda de personas desaparecidas (INMLCF, 2016; RIIF, s.f.; UN-WGEID, 2023). Desde 1984, el Equipo Argentino de Antropología Forense⁷ ha sido líder internacional en el campo. En México, un estudio pionero en aplicar sistemas de información geográfica en ciencias forenses fue el de Cervera-Gómez realizado en 2006, y publicado en el libro “Violencia contra las mujeres e inseguridad ciudadana en Ciudad Juárez” (Monárrez et al., 2010), que encontró correlaciones en condiciones socio-urbanas y feminicidios en Ciudad Juárez. Desde la UNAM se han generado “Protocolos basados en evidencia para la búsqueda de personas desaparecidas” y se creó el programa *Angelus*, software que aplica una red de algoritmos para procesar y cruzar una gran cantidad de datos y detectar la existencia de patrones, contextos y conexiones que puedan facilitar la búsqueda de personas desaparecidas (Quinto-Sánchez, 2022). El CentroGeo del CONAHCYT ha sido líder en desarrollar sistemas de información geográfica que, mediante análisis espaciales que integran conocimientos e información proveniente de entidades de gobierno y del sector civil, aportan a la identificación de sitios que, potencialmente, alojen fosas clandestinas y personas desaparecidas (Alegre-Mondragón y Silván-Cárdenas, 2024; CentroGeo-CONAHCYT, s.f.; Ruiz & Franco, 2023).

Esta área representa una interfaz entre las ciencias ecológicas y forenses que no se ha aplicado todo su potencial en el país. El predecir ubicaciones de fosas clandestinas y nidos de águilas tienen similitudes: en ambos casos no se les puede preguntar a los actores. Son relevantes para las ciencias forenses los análisis paisajísticos cuantitativos multi-criterio, como los modelos de selección (disponibilidad/uso) de hábitat, distribución de especies y de nicho potencial o jerarquización de uso de suelo (Guisan et al., 2017; Mayor et al., 2009; Sarkar et al., 2017; Sillero, 2011). Ejercicios similares como el Método de Perfil Geográfico se han usado para estudiar la distribución potencial de los delitos (Rossmo & Summers, 2015); en investigaciones universitarias para encontrar a Osama Bin Laden (Gillespie et al., 2009); para

7

Véase: <https://eaaf.org/quienes-somos/>.



describir la aptitud territorial para fosas clandestinas en Jalisco mediante métodos que se aproximan al del ordenamiento ecológico (Chávez, 2018) y, recientemente, para ubicar fosas clandestinas en Baja California (Silván-Cárdenas et al., 2022) y Guerrero (Silván-Cárdenas et al., 2019).

De los trabajos arriba citados, se puede caracterizar la aplicación de diferentes disciplinas científicas en la práctica forense. Las ciencias de la criminología incluyen la investigación criminal, el análisis de evidencia sobre el delito, la elaboración de los perfiles de criminales, la psicología forense, las técnicas de detección de sospechosos, el análisis y detección de patrones, tendencias temporales y espaciales, las técnicas de análisis e interrogación de testigos, el análisis de información y datos, entre otros.

Para la búsqueda e inspección de personas sin vida se requiere incorporar otras ciencias como antropología, entomología, odontología, patología médica, anatomía, fisiología y genética, así como las disciplinas de física, química, biología, ecología, botánica, edafología, fotogrametría multiespectral, análisis de paisaje, entre otras.

Las ciencias ciudadanas y sus implicaciones sociales

Desde que se popularizó el término “ciencia ciudadana” con los trabajos de Irwin (1995) y Bonney (1996), se han creado revistas especializadas sobre el tema y su práctica ha mostrado un aumento global en diferentes disciplinas (Bergerot, 2022; Storksdieck, 2016; Vohland et al., 2021). La ciencia ciudadana tiene raíces históricas, desde hace más de tres siglos, en las ciencias naturales; cuando aficionados a la astronomía, meteorología, zoología, mineralogía y botánica, ofrecían, voluntariamente, sus observaciones empíricas y colectas de especímenes para estudios científicos. La ornitología es uno de los campos en donde más se desarrolló esta práctica, siendo los ejemplos más antiguos el Programa de Fenología de Aves de América del Norte en 1880 y el Censo de Aves Navideño de la Sociedad Audubon en 1900 (NBPP-USGS, s.f.; Vohland et al., 2021).

En ese sentido, la iniciativa de “eBird” del Laboratorio de Ornitología de Cornell (CLO, 2023), junto con Zooniverse (Klesman, 2022), son los programas de ciencia ciudadana más grandes del mundo, con millones de participantes voluntarios. En México se han contabilizado aproximadamente 36 proyectos de ciencia ciudadana, siendo la mayoría en las disciplinas de ciencias naturales terrestres y marinas (Monzón et al., 2020).



La ciencia ciudadana se encuadra dentro del concepto de “ciencia abierta”, propuesto por la UNESCO (2021). La Asociación Europea de Ciencia Ciudadana (ECSA, 2015) estableció 10 criterios para definir dicha práctica:

1. Actividad donde ciudadanos no-científicos se unen a investigadores científicos profesionales para generar nuevos conocimientos.
2. Proyectos que generan resultados científicos genuinos.
3. Beneficio mutuo, para ciudadanos e investigadores.
4. Los ciudadanos participan en varias de las etapas del estudio (escoger tema y pregunta, diseñar el método, recopilar y analizar datos, y comunicar los resultados).
5. Los ciudadanos reciben retroalimentación sobre los resultados, y los datos contribuyen a definir políticas públicas.
6. La actividad genera una oportunidad real para la participación pública y democratización de la ciencia.
7. Los datos y metadatos de los proyectos están accesibles para consulta libre, en casos donde no viole derechos de confidencialidad.
8. Se otorgan reconocimientos a los ciudadanos participantes en los informes y publicaciones.
9. El éxito del programa se mide por la producción científica, la calidad de los datos, la experiencia de los participantes y su impacto social.
10. Los responsables de implementar el programa incorporan consideraciones éticas explícitas relacionadas con derechos de autor, propiedad intelectual, intercambio de datos, confidencialidad, y los impactos sociales y ambientales de la actividad.

En la década de 1990 nació, en América Latina, una iniciativa paralela llamada “observatorios ciudadanos”, con la intención de monitorear el desempeño del gobierno e influir en las políticas públicas en ciencias sociales, urbanas y de servicios. Se diferencian de los observatorios ciudadanos que surgieron, casi simultáneamente, en Europa, por estar estos últimos vinculados principalmente al monitoreo ambiental (Fundación Este País, 2009; Luna, 2016; McGlade, 2009; Natal & Díaz, 2014; OEA, 2015; Silva Robles, 2013). Recientemente, las iniciativas europeas de activistas han virado hacia la figura de “centinelas cívicos” en el ámbito

de la interacción entre las leyes y la ciencia ciudadana (Berti-Suman, 2022). Los observatorios ciudadanos latinoamericanos surgieron de una tradición de “investigación-acción participativa” propuesta por Orlando Fals-Borda (1970) en Colombia, y de los enfoques de “Pedagogía del oprimido” de Paulo Freire (1970) en Brasil. Fals-Borda propuso que los sujetos de estudio deberían ser activos en la recopilación y análisis de datos, y que la participación ciudadana en los procesos de investigación debería ser una herramienta para el empoderamiento de las comunidades vulnerables. Freire desarrolló su enfoque pedagógico como una estrategia educativa para promover el cambio social en beneficio de los sectores excluidos y oprimidos de la sociedad.⁸

En estos enfoques, los investigadores no intentan lograr objetividad científica colocándose fuera del proceso que estudian. Desde el inicio se consideran parte de los fenómenos investigados y no niegan su papel de activistas sociales como parte del proceso de investigación-acción. La investigación-acción participativa y la producción de “conocimiento situado” (Haraway, 1988) se están aceptando cada vez más como paradigmas legítimos en la construcción social del conocimiento en los campos de las ciencias ambientales y sociales (Kindon et al., 2007). Más adelante argumentamos que la ciencia ciudadana practicada por las madres buscadoras juega un papel híbrido entre la ciencia ciudadana tradicional y los observatorios ciudadanos.

La práctica de la ciencia ciudadana no está exenta de críticas, y se ha cuestionado la afirmación de que sea inherentemente democrática y empoderadora (Benyei et al., 2020; Cooper et al., 2021; Ellwood et al., 2023; Irwin, 1995; Lowry & Stepenuck, 2021; Shirk et al., 2012; Strasser et al., 2018). Las diferencias de poder en la ciencia ciudadana que surgen de contextos de género, edad, clase social, nivel educativo e incluso relaciones interespecíficas, afectan los niveles de participación en diferentes proyectos (Fotopoulou, en prensa; Ibrahim et al., 2021; Jönsson et al., 2024; Purcell et al., 2012; Rautio et al., 2022). Sin embargo, cuando los voluntarios participan en la selección de problemas y la planificación de la investigación, o el proyecto constituye una experiencia educativa y de capacitación, entonces la ciencia

8 Las raíces teóricas se remontan a principios del siglo XIX con la propuesta de “enseñanza universal” del político y pedagogo revolucionario francés Jean Joseph Jacotot, quien planteó que cualquier persona puede aprender por sí misma, sin necesidad de un maestro que transmita conocimientos (Rancière, 1987). Jacotot planteó los siguientes principios: todas las inteligencias son iguales; se puede enseñar lo que se ignora; las personas tienen la capacidad de construirse a sí mismas; y todo está en todo (el conocimiento es inherente al objeto de estudio).



ciudadana contribuye positivamente al desarrollo de capacidades. Existen muchos modelos de ciencia ciudadana, pero la participación de los voluntarios se puede categorizar utilizando los marcos conceptuales de “niveles” o “escaleras” de participación, siendo el grado máximo cuando los ciudadanos controlan todas las etapas del proceso científico, lo que se ha llamado “investigación dirigida por el participante” (participant-led research) (Arnstein, 1969; Haklay, 2018; OSCF, 2022; Sanabria et al., 2022; Vayena & Tasioulas, 2015; Vayena et al., 2016).

Cuando el proceso de producción de la ciencia ciudadana es controlado por ciudadanos con intereses enfocados en generar resultados a su favor, y sin un análisis e interpretación científica rigurosa y objetiva, entonces puede producirse desinformación que debilita la credibilidad de la ciencia y genera más daño social que beneficio (Roy & Edwards, 2019).

Científicos y especialistas critican de forma honesta, que el control o liderazgo ciudadano de los procesos científicos puede, por desconocimiento del ciudadano, distorsionar el método científico y producir interpretaciones erróneas (Golombic et al., 2017). Sin embargo, también es cierto que algunos sectores intentan en ocasiones deslegitimar, de forma infundada, la ciencia ciudadana para mantener el monopolio de la información, mantener el estatus de las autoridades como “expertos especialistas” u ocultar ineficiencias, incompetencias o encubrimientos que pueden ocurrir en los procesos burocráticos gubernamentales (Burgess et al., 2017; Schwartz & Cruz, 2018). Para elevar la ciencia ciudadana a sus niveles más altos de desempeño social y científico, se debe lograr un equilibrio adecuado de colaboración entre el sector ciudadano no especializado y el sector científico comprometido, honesto y profesional.

Motivaciones para la participación ciudadana: dolor y desconfianza

Con 115,912 personas reportadas como desaparecidas al 24 de julio de 2024, México ocupa uno de los primeros lugares, a nivel mundial, en personas desaparecidas (CNB, 2024).⁹ Jalisco, el estado donde vivimos y trabajamos, tiene el mayor número de registros de personas desaparecidas (15,023), y se encuentra entre los seis estados con más hallazgos de fosas clandestinas (CNB, 2024; Tzuc, 2023). Entre diciembre de 2018 y julio de 2024, al menos 1,769

9 Las cifras de los desaparecidos siguen “... surgen y circulan en medio de disputas entre fuerzas gubernamentales y políticas, sin estabilizarse fácilmente. La multiplicidad, la heterogeneidad, la invisibilidad, el miedo y los costos diversos juegan en contra de la urgente necesidad de hacer cuantificables las desapariciones forzadas.” (Bernasconi et al., 2022). En México se vive un “... baile de cifras de desaparecidos que ... deja a los familiares de las víctimas de desaparición con una sensación de desprotección y de caos.” (Forbes Staff, 2023).

personas desaparecidas han sido recuperadas en este tipo de inhumaciones en el estado (FEPD, s.f.).

Algunas de las personas desaparecidas han fallecido; sin embargo, otras están vivas, y algunas de ellas han sido reclutadas, de manera forzada, por los cárteles de la droga para trabajar en sus “ejércitos” o en el tráfico sexual, derivando en expresiones de esclavitud moderna (Guillén & Petersen, 2019). Entre los “desaparecidos” se encuentran más de 50 mil personas fallecidas sin identificar cuyo resguardo se encuentra en dependencias gubernamentales (Piña, 2024).

El crimen organizado opera como autor central de las desapariciones humanas con diversas formas de convivencia, participación, aquiescencia u omisión de servidores públicos a nivel federal, estatal y municipal (CED, 2019; Urrutia & Xantomila, 2022)¹⁰. Los cárteles de la droga son el quinto “empleador” más grande de México y requieren reclutar hasta 370 personas por semana para satisfacer sus necesidades (Prieto et al., 2023). De 2007 a 2023 se han encontrado más de 5,696 fosas clandestinas en todos los estados de la República Mexicana; prácticamente una fosa encontrada por día (Tzuc, 2023).

Anualmente, desaparecen más de 6 mil ciudadanos mexicanos en su propio país, cifra que supera el número de soldados estadounidenses que murieron anualmente durante la Guerra de Vietnam. La desaparición de personas- “[...]se ha recrudecido en los años recientes debido, principalmente, a la conjunción de corrupción, impunidad, violencia, inseguridad y colusión de personas servidoras públicas con la delincuencia organizada que impera en algunas regiones[...]” (CNDH, 2022). El aumento de las desapariciones en México comenzó en 2006, cuando la “guerra contra el narcotráfico” del presidente Felipe Calderón desplegó a las fuerzas armadas para implementar funciones de seguridad. Esta política se ha mantenido y ampliado en las dos administraciones federales posteriores.

10 Uno de los casos que mayor indignación pública ha causado, es la desaparición, el 26 de septiembre de 2014, de 43 alumnos de la Escuela Normal Rural Raúl Isidro Burgos, de Ayotzinapa, en el estado de Guerrero. A una década de ocurrido el siniestro, el caso aún no se resuelve y se presentan versiones contradictorias por parte de diferentes instancias del gobierno y hay exfuncionarios públicos municipales y federales, integrantes del Ejército e integrantes del crimen organizado implicados formalmente (CNDH-Secretaría ejecutiva, s.f.; ver también la Recomendación 15 VG/2018 <https://www.cndh.org.mx/documento/recomendacion-por-violaciones-graves-15-vg2018>).



Los ataques a ciudadanos en México ocurren, principalmente, contra poblaciones históricamente vulnerables, aquellas dedicadas a movimientos de justicia social y familias de bajos ingresos. Al convertirse México en el corredor de migración humana más grande del mundo (Laureles & Xantomila, 2024), los grupos criminales organizados han comenzado a reclutar forzosamente o a desaparecer a migrantes que, al carecer de ciudadanía mexicana, se encuentran institucionalmente indefensos (CNDH, 2022; Delgadillo, s.f.; Simón, 2016).

El sector periodístico es también de los más atacados. Las organizaciones Reporteros Sin Fronteras, Amnistía Internacional y el Comité para la Protección de los Periodistas, reportan que México es el país del mundo con mayor número de periodistas desaparecidos: entre 15 y 25 casos desde 2005 (CPJ, 2024). El Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA, 2024; 2023) reporta que, entre 2022 y 2023, hubo 320 ataques (desde amenazas verbales hasta asesinatos) contra activistas ambientales.

El impacto emocional de la desaparición, el desmembramiento de personas sin vida y la falta de ceremonias de entierro adecuado a nuestros seres queridos son conocidos desde hace más de dos mil años, fueron representados en las tragedias griegas *Orestiada* (Agamenón) de Esquilo y *Antígona* de Sófocles, que subrayan la convicción o degradación moral de los personajes y sus trágicas consecuencias.

Diversas investigaciones (Boss, 2017) han documentado que la desaparición no resuelta de un ser querido tiende a ser psicológicamente más traumática que la de una muerte confirmada. Esto debido, principalmente, a la ambigüedad e incertidumbre prolongada de no conocer el destino de la persona. Se genera desesperación y ansiedad al no concluir un proceso natural de duelo y cierre emocional. Aunado a este dolor emocional, se incrementan los problemas por la existencia de limitaciones financieras relacionadas con deudas y el indefinido estatus legal de la persona desaparecida. Esta compleja situación provoca en los familiares problemas de depresión, trastorno de estrés postraumático y de ansiedad por periodos prolongados. El Comité Internacional de la Cruz Roja recomienda que se les brinde apoyo psicosocial a los familiares de personas desaparecidas (2014).

Estos factores de dolor, aunados a la desconfianza hacia las instancias gubernamentales responsables de la búsqueda de personas, han ocasionado que se conformen colectivos integrados principalmente por madres buscando a sus hijas e hijos, aunque también incluyen otros familiares y amistades que tienen la necesidad de encontrar a sus seres queridos faltantes.



Muchas de las madres que encuentran a sus hijos o hijas, deciden seguir participando en búsquedas en solidaridad con otras madres que no han encontrado a sus familiares desaparecidos. Las actividades de búsqueda no están exentas de riesgos: en México se han registrado al menos 18 asesinatos o desapariciones de madres y personas buscadoras (López, 2024; Mares, 2023; Vázquez, 2023).

Ciclos de Interacción entre Colectivos Ciudadanos y Agencias Gubernamentales

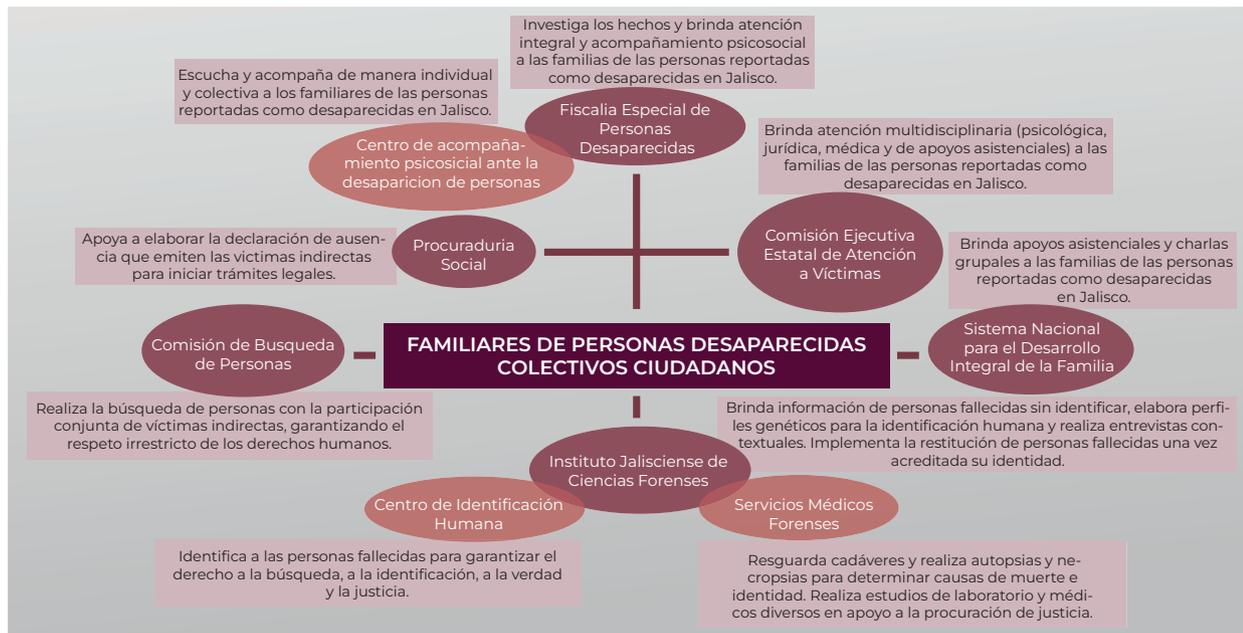
Testimonios de las madres buscadoras entrevistadas¹¹, muestran que lo primero que aprenden es a discernir entre las diferentes agencias gubernamentales con las que tienen que interactuar en su búsqueda. En el caso de Jalisco, en el ámbito estatal, hay al menos seis instancias a las que pueden acudir (Figura 1): Procuraduría Social, Comisión Ejecutiva Estatal de Atención a Víctimas, Fiscalía Especial de Personas Desaparecidas, Centro de Acompañamiento Psicosocial ante la Desaparición de Personas, Comisión de Búsqueda de Personas y el Sistema para el Desarrollo Integral de la Familia (DIF).¹²

Una vez que consideran que su ser querido ha fallecido, buscan el cuerpo en dos lugares: en el Servicio Médico Forense (SEMEFO) del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses (IJCF), y/o en entierros clandestinos. Cada agencia gubernamental tiene diferentes responsabilidades y atribuciones; por lo tanto, responden a las ciudadanas de manera diferente.

11 Ver capítulo “Saberes nacidos del dolor: testimonios y propuestas de las madres buscadoras” en este libro.

12 En el ámbito municipal en la administración 2015-2018 inició el programa Acompañar la Ausencia, del DIF municipal, acompañado por la regiduría en derechos humanos e igualdad de género. Este programa se ha replicado a escala estatal por el DIF.

Figura 1. Instancias gubernamentales con las cuales interactúan los colectivos ciudadanos de Jalisco durante la búsqueda de sus seres queridos desaparecidos



Fuente: elaboración propia.

Cada colectivo de búsqueda define sus objetivos específicos y su estilo de trabajo: puede incluir la participación con las autoridades, la cooperación con otras asociaciones de la sociedad civil, la organización de manifestaciones públicas, la realización de búsquedas de campo en fosas clandestinas o la exigencia de que los perpetradores comparezcan ante la justicia, entre otras actividades.

Las madres entrevistadas para el presente análisis mencionan que algunos colectivos no están de acuerdo entre ellos en cuanto a los niveles de colaboración con el gobierno o si deben excavar para encontrar personas inhumadas ilegalmente sin acompañamiento oficial.

Encontramos coincidencias en sus procesos de búsqueda que podemos describir como una dinámica de articulaciones de ciclos de interacción entre colectivos ciudadanos de búsqueda y agencias gubernamentales. Estos ciclos se componen de: acción investigativa de ciudadanas

(recabar datos); comunicación/transmisión de información a las autoridades; acción/respuesta de las autoridades; comunicación de autoridades a colectivos y al público en general; y reacción/acción de investigación realizada por los colectivos de búsqueda ciudadana (Figura 2).

Figura 2. Ciclos de articulación investigación/comunicación/acción-reacción entre colectivos de búsqueda de personas desaparecidas y agencias gubernamentales



Fuente: elaboración propia.

El proceso de gestión articulada de la interacción entre colectivos buscadores y gobierno se puede dividir en 12 etapas iniciales. Varía según las particularidades de cada colectivo y también según la dependencia de gobierno involucrada. El proceso de investigación/comunicación/acción-reacción es el siguiente:

1. El primer ciclo de articulación de transferencia de información inicia cuando las personas ciudadanas se percatan de ausencia de un familiar o persona querida. Realizan investigación para establecer que, efectivamente, ocurrió una desaparición y, en dicho caso, las condiciones en que ocurrió. Esto lo documentan mediante indagaciones telefónicas y en redes sociales, así como la comunicación con amistades

y familiares en los lugares que frecuentaba (escuela, trabajo, deporte, recreación, etc). Obtienen testimonios, documentos, fotos y otros tipos de material relevante con información sobre nombres, fechas, lugares y circunstancias de la desaparición. Esta primera investigación y obtención de datos siempre la realiza la familia y es la que detona el proceso de búsqueda.

2. El siguiente paso remite a cuando transfieren información a las autoridades gubernamentales sobre el ser querido y la desaparición, y hacen la solicitud de búsqueda. La manera en la que se transfiere la información varía según la instancia gubernamental en cuestión. La condición de “víctima” ante el “Registro Nacional de Víctimas” le permite acceder al apoyo psicológico y mecanismos que considera la Ley en la materia para la reparación integral del daño.
3. Si primero acuden a la COBUPEJ, se levanta un reporte y el personal del área de registro realiza una entrevista cuyos resultados se comparten con el área de búsqueda. Se le asigna el reporte a un técnico buscador que inicia las primeras acciones de búsqueda. La COBUPEJ también redacta oficios a distintas dependencias que pudieran tener información del paradero de las personas (comisarías de seguridad pública, hospitales, asilos, centros penitenciarios, albergues, entre otras) y se realizan análisis de contexto que permiten entender si el caso entra en algún patrón o modus operandi sistemático que permite afianzar estrategias de búsqueda.
4. En el siguiente paso, las autoridades analizan la información recibida. La autoridad primaria abre una carpeta de investigación o reporte, según sea su caso, e inicia un proceso de investigación y búsqueda desde el primer minuto para encontrar a la persona.¹³
5. El proceso de informar a los colectivos que plantearon la denuncia o informar públicamente a la sociedad varía entre cada dependencia gubernamental.

13

En este momento debería iniciarse con dos protocolos: la alerta Amber, si se trata de menores; o el protocolo Alba, si se trata de mujeres y niñas. Este protocolo fue iniciado en México por la Comisión para Prevenir y Erradicar la Violencia contra las Mujeres en Ciudad Juárez en 2005, y reconocido como instrumento valioso en la Resolución del Caso González y otras: “Campo Algodonero” vs México, de la Corte Interamericana de Derechos Humanos.

6. Las personas ciudadanas reciben el dictamen de autoridades y continúan investigando sobre el posible paradero de su familiar y los causantes de la desaparición. Implementan métodos más intensivos y más dirigidos: como entrevistas y recorridos por los lugares que frecuentaba la víctima; repartir y difundir fichas en redes y lugares públicos, solicitando información sobre la persona desaparecida. Usan redes sociales como Whatsapp, Twitter, y Facebook para el intercambio de información. Algunos colectivos integran archivos detallados, manteniendo un registro exhaustivo de cada caso para su posterior análisis y seguimiento.
7. En esta etapa las personas ciudadanas reportan a las autoridades la nueva información recabada durante los recorridos y de las llamadas anónimas recibidas. Si adquieren información sobre el paradero de la persona solicitan a las autoridades acciones de búsqueda.
8. Las autoridades analizan la información recibida. Inician por su cuenta búsquedas o deciden no darle seguimiento en ese momento. Pueden difundir las fichas de las personas desaparecidas en su sitio web y redes sociales.
9. La instancia gubernamental puede o no avisar a las personas buscadoras. En el caso de la COBUPEJ, cuya atribución y responsabilidad formal es acompañar a las a las víctimas indirectas, se organizan búsquedas en colaboración con ellas. Producto de la información, generalmente anónima, obtenida por los colectivos de madres buscadoras, visitan los sitios donde sospechan se encuentran fosas clandestinas. La fuente principal de información de los colectivos son llamadas anónimas.
10. Las personas ciudadanas esperan retroalimentación de las autoridades sobre su ser querido, pero no detienen la búsqueda. Por solidaridad, apoyan en la búsqueda de otras personas desaparecidas que les son ajenas. En ocasiones, es en esta etapa cuando las madres buscadoras, o familiares, son informados por personas anónimas o testigos sobre paraderos de sus familiares y personas desaparecidas.
11. En colaboración con autoridades o de forma independiente consultan expertos para analizar la información y seguir pistas. En este momento, las integrantes de los colectivos pueden recibir capacitación en técnicas de búsqueda por diferentes instancias gubernamentales, que les permite perfeccionar sus metodologías. En esta

etapa hay dos formas de operar de los colectivos de búsqueda: los que actúan de forma independiente de las autoridades y los que informan a la autoridad y realizan la búsqueda en conjunto. Los primeros, usan sus propias herramientas. Si van a buscar en un predio abierto, ingresan, hacen recorridos sistemáticos del terreno, inspeccionan para encontrar indicios de entierros, olores, etc., y escarban el terreno. Cuando hay un hallazgo, si el grado de descomposición lo permite, tratan de ver si tienen señas particulares como cicatrices, tatuajes, lunares y vestimenta. Una vez contando con los permisos debidos, los colectivos acompañan a las autoridades a realizar la búsqueda en el predio. En caso de que la COBUPEJ realice búsquedas sin la participación de otras instancias de gobierno, si encuentra una fosa clandestina, la autoridad de seguridad que se encuentre en campo da vista al Ministerio Público para solicitar mando y conducción.

12. Transfieren nueva información sobre las desapariciones a las autoridades.
13. Las autoridades analizan la veracidad y pertinencia de la nueva información recibida, y definen si ejecutan nuevas líneas de investigación y/o acciones de búsqueda. Estos ejercicios requieren de un análisis minucioso que permita prever, por un lado, posibles riesgos en temas de seguridad y, por otro, que las nuevas líneas sean congruentes y verdaderamente aporten a la investigación.
14. A veces las instancias de gobierno retroalimentan a las ciudadanas buscadoras, pero muchas veces no les informan de sus avances o logros en la investigación. La realidad es que las instituciones tienen una gran acumulación de carpetas de investigación, y no se dan abasto para llevar a cabo las diligencias de manera rápida.

Paralelamente a estos procedimientos, los colectivos ciudadanos de búsqueda implementan otras actividades como la presentación de quejas, denuncias jurídicas y amparos ante tribunales e instancias de derechos humanos nacionales e internacionales, para lograr una mayor eficiencia en la implementación de la justicia y la reparación de daños. La ruta de demanda legal mediante el “amparo” implica trabajar con abogados, jueces y fiscales para encontrar pruebas adicionales y monitorear los procesos de búsqueda del gobierno. Esta vía agiliza en ocasiones los procedimientos de búsqueda.



Los colectivos ciudadanos también apoyan campañas públicas de denuncia en los medios de comunicación, así como en actos y manifestaciones públicas con el objetivo de aumentar la conciencia social y lograr una mayor visibilidad nacional e internacional. En este proceso de activismo social, apoyan la creación de nuevos colectivos, así como de nuevas agencias gubernamentales.

En países donde las desapariciones ocurren por motivos políticos, las acciones finales de los colectivos ciudadanos incluyen la promoción de eventos de memoria, monumentos o antimonumentos, para mantener vivas las causas históricas por las cuales los ciudadanos fueron desaparecidos y para educar a las generaciones futuras sobre los derechos humanos. En Jalisco, las madres entrevistadas coincidieron en que el encontrar los cuerpos de sus seres queridos era su principal objetivo, no así, el llevar a los perpetradores ante la justicia.

Actividades y resultados exitosos asociados a la ciencia ciudadana

En sus búsquedas, los colectivos ciudadanos han acumulado conocimientos empíricos sobre: recabar información, entrevistar, seguir pistas, rastrear teléfonos móviles y vehículos para determinar el paradero de sus familiares; identificar tipos de suelo; detectar montículos y hundimientos de tierra perturbada; identificar especies de plantas e insectos, así como diferentes tipos de olores, que pueden indicar la ubicación de una fosa clandestina; implementar técnicas de rastrillaje, excavación, y extracción e identificación de partes corporales; constituir legalmente asociaciones del sector civil; navegar complejas burocracias gubernamentales; interactuar con investigadores universitarios¹⁴ y medios de comunicación (Cruz, 2020; Fallet et al., 2022; García & Moctezuma, 2024; Olarte et al., 2023; Robledo, 2019; Schwartz & Cruz, 2018; Torres & Smith, 2023). En los siguientes párrafos, recuperamos algunas de las características y de los logros, respectivamente, de los colectivos de búsqueda ciudadana.

14 En Jalisco, instancias académicas como el Comité Universitario de Análisis en Materia de Desaparición de Personas de la Universidad de Guadalajara y el Centro para la Dignidad y la Justicia Francisco Suárez del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente, han jugado un importante papel de análisis, divulgación, apoyo y seguimiento a casos específicos de desaparición de personas.

Características:

- Las personas participantes son ciudadanas, no profesionales. No tienen formación académica en métodos forenses o de investigación.
- Las personas ciudadanas participan voluntariamente. Por iniciativa propia exigen participación gubernamental y científica para encontrar a sus seres queridos y, en algunos casos, hacerles justicia. En esencia participan en “escoger” el tema de investigación y co-crear líneas de investigación.
- Las madres formulan hipótesis y recolectan datos en campo. Participan en el análisis e interpretación de los mismos. En algunos casos, documentan meticulosamente sus hallazgos, ubicaciones y evidencias. La información que recaban ha demostrado de manera indiscutible que contribuye al éxito de encontrar fosas clandestinas.
- Los colectivos de búsqueda ciudadana comparten/transmiten información a diversas agencias gubernamentales o instituciones académicas donde la analizan investigadores profesionales. A veces informan a la sociedad en general, a través de los medios de comunicación.
- Algunos colectivos de búsqueda ciudadana reciben capacitación de agencias gubernamentales, asociaciones o universidades para mejorar sus actividades de investigación voluntaria.
- Denuncian, critican, proponen soluciones y abren espacios para el escrutinio público, creando oportunidades de empoderamiento para los actores que han perdido a familiares, en una práctica de democratización del sector.
- El trabajo de los colectivos incide en el desarrollo de nuevas políticas públicas en torno a la investigación científica forense y el ejercicio de la autoridad en materia de desaparecidos.



Logros y contribuciones:

- Lograron con éxito que se encontraran en Jalisco, con la información que transmitieron a las autoridades, unas 1,400 fosas, y por ende un número mayor de personas.¹⁵
- Desarrollaron métodos y técnicas no tradicionales para localizar a sus seres queridos desaparecidos. En casos de ausencia de apoyo gubernamental, desarrollaron nuevas estructuras organizativas para emprender su propia búsqueda de forma autónoma.
- Contribuyeron al desarrollo institucional de las ciencias forenses como causantes de la creación de nuevos estudios, protocolos y metodologías más rigurosas, tanto para la búsqueda de personas desaparecidas como para la comunicación y colaboración con los familiares. En el caso de Jalisco, sus demandas causaron que se realizaran, a partir de 2022, decenas de dictámenes de análisis contextual para el desarrollo de planes para búsquedas generalizadas en el área metropolitana de Guadalajara (AMG) y las regiones Valles y Costa Norte de la entidad.
- Lograron respuestas de agencias gubernamentales federales y estatales para mejorar sus capacidades de recolección y análisis de datos, crear “dash boards” para seguimiento en tiempo real e incrementar los presupuestos y el personal capacitado.
- Acumularon un acervo de conocimientos que ha contribuido tanto a desarrollar iniciativas de experimentación forense, como a iniciar investigaciones científicas sobre modificaciones biológico-ecológicas.
- Negociaron treguas con grupos del crimen organizado para realizar búsquedas en zonas controladas por ellos (ONU, 2023).
- Visibilizaron la problemática de las personas desaparecidas a nivel estatal, nacional e internacional; generando así nuevas alianzas y presión social para que las autoridades actúen con mayor rapidez y eficacia.
- Impulsaron cambios legislativos federales como la Ley General en Materia de Desaparición Forzada de Personas, Desaparición Cometida por Particulares y del Sistema Nacional de Búsqueda de Personas (2017), el Protocolo Homologado para

15 No existen cifras exactas sobre el total de fosas clandestinas y cuerpos de personas desaparecidas localizadas producto de la información provista por ciudadanas buscadoras. Informadores cualificados de la Fiscalía, de la COBUPEJ y de Colectivo de búsqueda nos informan que entre el 60% y el 80% de las fosas encontradas son resultado de la información que proveyeron los colectivos ciudadanos.

la Búsqueda de Personas Desaparecidas y No Localizadas (2020) y, a nivel de Jalisco en 2021, la Ley de Personas Desaparecidas y la Ley de Declaración de Ausencia por Desaparición de Personas (CEPAD, s.f.).

- Contribuyeron a incrementar la transparencia y rendición de cuentas del gobierno al crearse nuevos mecanismos de gobernanza con: mayor participación ciudadana, mejor planificación, e implementación de acciones de seguridad ciudadana y de gestión de programas sociales.
- Crearon nuevas oportunidades educativas y formativas en ciencias forenses para colectivos ciudadanos de búsqueda.
- Lograron la creación de nuevas políticas públicas e instituciones como la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco y la Comisión Nacional de Búsqueda, con aumentos concomitantes de presupuestos y personal especializado y mejor capacitado para cumplir con las recomendaciones de los protocolos de la ONU, de los cuales México es signatario.
- Con estas actividades que realizan los colectivos de búsqueda, contribuyen directamente a alcanzar 10 de las 12 metas del ODS16 -Paz, Justicia e Instituciones sólidas, y una meta del ODS5 -Igualdad de género. También contribuyen a impulsar los Principios Rectores de la ONU para la Búsqueda de Personas Desaparecidas (CED, 2019) en materia de participación de familiares, acceso a la información, capacitación, garantía de recursos e investigaciones independientes, registro y documentación, entre otros.

¿Realizan los colectivos de búsqueda ciencia ciudadana?

Entre los estudios que caracterizan las actividades de investigación de los colectivos de búsqueda, destacan los de Arely Cruz (2020) y Ernesto Schwartz & Arely Cruz (2016a; 2016b; 2018) quienes, reconociendo el valor científico de las acciones de las madres buscadoras lo han denominado “ciencia forense ciudadana”, “civismo forense” y “gobernanza forense ciudadana”. Granja (2023) utilizó el término “ciencia ciudadana” al abordar los estudios de genealogía genética forense, aunque no lo aplicó al trabajo de los colectivos de búsqueda.

Las actividades y logros arriba descritos muestran que las madres buscadoras cumplen total o parcialmente con los diez criterios establecidos por la Asociación Europea de Ciencia



Ciudadana (ECSA, 2015). Debido a su vínculo con el sistema judicial y sus características relacionadas con el crimen, la ciencia forense ciudadana se caracteriza de una cultura y de normas epistémicas particulares, diferentes a las de las ciencias naturales (Cole, 2013; Granja, 2023). Por ende, existen algunas particularidades evidentes en el caso de las madres buscadoras.

La motivación desencadenante de la participación no es el disfrute de la actividad, como en el caso de las ciencias naturales, sino el intenso dolor psicológico/emocional por la pérdida de una persona amada. Aunque ahora hay más casos de ciudadanos que solicitan participar en investigaciones de ciencia ciudadana para resolver problemas que les afectan, la situación más común es que entidades de investigación formales inviten a los ciudadanos a participar. En el caso de la ciencia forense participativa, son los colectivos de búsqueda los que instan u obligan a las autoridades a colaborar en las investigaciones de búsqueda. El brindar reconocimiento a las y los ciudadanos participantes a veces no se puede realizar para evitar que las buscadoras voluntarias corran riesgos y sufran violencia. Los grupos tradicionales de ciencia ciudadana en Europa y América del Norte, tienden a estar dominados por hombres de sectores sociales con altos niveles de ingresos y educación (Jönsson et al., 2024; Purcell et al., 2012), mientras que los colectivos de búsqueda ciudadana en México están compuestos principalmente por mujeres, de familias provenientes de sectores sociales con bajos niveles de ingreso y educación (Cervera-Gómez, 2010; ONU-DH, 2021). El éxito de la actividad no se mide en publicaciones científicas, sino en el éxito de encontrar personas vivas o fallecidas, en lograr un cierre emocional para sus familias y, en algunos casos, en llevar a los criminales ante la justicia.

Conclusiones y recomendaciones

Las desapariciones de ciudadanos en México producidas por los perversos vínculos económicos y políticos del tráfico ilegal de drogas y armas entre los EE.UU. y México, y otras formas de violencia como la trata de personas, están aumentando. Los colectivos de búsqueda ciudadana se conforman, principalmente, por el dolor y la necesidad de las madres de encontrar a sus hijas e hijos desaparecidos, y sus actividades cumplen plenamente con los criterios que definen la actividad de ciencia ciudadana. Estos colectivos de “ciencia forense ciudadana”, también realizan “ciencia centinela” permitiéndoles fungir como “observatorios ciudadanos”



para exigir rendición de cuentas del gobierno. Las contribuciones de los colectivos en la co-producción de conocimientos forenses no se puede minimizar.

El proceso cíclico articulado de investigación/comunicación/acción-reacción aquí descrito es ejemplo de emprendimiento social que genera innovaciones disruptivas mejorando la implementación de los programas gubernamentales (Schade et al., 2021). Tienen logros sociales positivos demostrables, y contribuyen a fortalecer al menos 13 metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 5 y 16, y al menos 5 áreas de los Principios Rectores de la ONU para la Búsqueda de Personas Desaparecidas.

Reconociendo las contribuciones reales y medibles aquí documentadas de los colectivos de búsqueda de personas desaparecidas y que su actividad califica, formalmente, como “ciencia forense ciudadana”, se ofrecen las siguientes recomendaciones.¹⁶

Las instancias de gobierno deben: otorgar mayor reconocimiento formal a los colectivos ciudadanos de búsqueda de personas desaparecidas; elaborar un protocolo formal de un esquema de trabajo de ciencia forense ciudadana, para lograr nuevos y mejores canales de comunicación e intercambio de información, así como mayor eficiencia y éxito para encontrar personas desaparecidas; generar vínculos formales con menores impedimentos burocráticos para la colaboración entre instituciones académicas de investigación, los colectivos de búsqueda y las agencias de gobierno, logrando mayor innovación en la forma de realizar investigaciones de búsqueda; aumentar las oportunidades de capacitación técnica, así como de otros servicios como atención psicológica y de apoyos materiales a integrantes de los colectivos de búsqueda, bajo la lógica de lograr mejores resultados en los procesos de co-diseño y co-participación en las investigaciones forenses.

El objetivo de nuestra sociedad no debería ser el lograr una mayor eficiencia en la búsqueda de personas desaparecidas, sino evitar que se produzcan desapariciones. Las desapariciones son síntomas de una sociedad en crisis, enferma tanto material como moralmente. El problema de fondo es que no hemos podido implementar programas que ataquen las raíces del narcotráfico y otras formas de crimen organizado. A pesar de los reconocidos aportes de los colectivos ciudadanos de búsqueda, corresponden al Estado las responsabilidades ineludibles de prevenir las desapariciones, realizar las investigaciones y sancionar a los responsables. El gran desafío

16 Referirse también a las recomendaciones que se presentan en el capítulo de este libro “Saberes nacidos del dolor: testimonios y propuestas de las madres buscadoras”.

es cubrir las necesidades básicas materiales e intangibles de los ciudadanos, abordando la pobreza, el empleo, la educación, la salud mental, las adicciones, la corrupción y la integración de marcos de acción éticos/morales para construir comunidades solidarias y participativas.

Agradecimientos

Agradecemos a las madres que aceptaron ser entrevistadas de manera anónima, por su revisión y aprobación de la publicación del presente escrito. Agradecemos a Guadalupe Morfín Otero, José Darío Pereira Benítez, Melina Gil Meza, Sergio Alberto Quezada Godinez, Alfredo Ortega y a dos revisores o revisoras anónimas sus sugerencias para mejorar este manuscrito. El análisis presentado es producto de la experiencia de los autores durante las últimas tres décadas de trabajo con la Comisión de Búsqueda de Personas Desaparecidas del Estado de Jalisco, la Comisión Estatal de Derechos Humanos de Jalisco, la Asociación Jalisciense de Apoyo a Grupos Indígenas, la Universidad de Guadalajara, la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, el programa HUMETAV-Ciencia Ciudadana en colaboración con el European Citizen Science Academy y el Laboratorio de Ornitología de Cornell.

Referencias

- ABUELAS DE LA PLAZA DE MAYO. (s.f.). *Nuestra historia. Abuelas de la Plaza de Mayo*. Abuelas de Plaza de Mayo A.C. <https://www.abuelas.org.ar/las-abuelas>
- ALEGRE-MONDRAGÓN AJ, SILVÁN-CÁRDENAS JL. 2024. *Using geospatial information sciences for the search of clandestine graves*. *Forensic Research & Criminology International Journal*. 12 (2): 159-166.
- ARNSTEIN, S. (1969). *A Ladder of Community Participation*. *Journal of the American Institute of Planners*. 35: 216-224. <http://lithgow-schmidt.dk/sherry-arnstein/ladder-of-citizen-participation.html><
- BARRAGÁN, A. (2023, 2 de agosto). *México, el país de las 2.710 fosas clandestinas*. El País. Recuperado de: https://elpais.com/mexico/2023-08-03/mexico-el-pais-de-las-2710-fosas-clandestinas.html?event=go&event_log=go&prod=REGCRARTMEX&o=cermex
- BENYEI, P., M. PARDO-DE-SANTAYANA, L. ACEITUNO-MATA, L. CALVET-MIR, M. CARRASCOSA-GARCÍA, M. RIVERA-FERRE, A. PERDOMO-MOLINA, Y V. REYES-GARCÍA. 2020. *Participation in Citizen Science: Insights from the CONECT-e Case Study*. *Science, Technology, & Human Values*. 46 (4). <https://doi.org/10.1177/0162243920948110>
- BEREZOWSKI V., MOFFAT, I., SHENDRY, Y., MACGREGOR, D., ELLIS, J. & MALLETT, X. (2022). *A multidisciplinary approach to locating clandestine gravesites in cold cases: Combining geographic profiling, LiDAR, and near surface geophysics*. *Forensic Science International Synergy*. 2022; 5: 100281 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9372742/>
- BERGEROT, B. (2022). *The Citizen Science Paradox*. *Landscape*, 11, 1151. <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/8/1151>
- BERNASCONI, O., JARAMILLO, J. & LÓPEZ, M. (2022). *The number of disappearance: trajectories in the tally of victims of forced disappearance in Latin America*. *Tapuya: Latin American Science, Technology and Society*. 5 (1). <https://www.tandfonline.com/doi/epub/10.1080/25729861.2022.2090486?needAccess=true>
- BERTI-SUMAN, A. (2022). *Striving for Good Environmental Information: Civic Sentinels of Oil Pollution in the South of the North*. *Law, Environment and Development Journal*. 17 (2): 161- 179. <http://www.lead-journal.org/content/a1710.pdf>



- BURGESS, H., DeBAY, L., FROELICH, H., SCHMIDT, N., THEOBALD, E., ETTINGER, A., HILLERISLAMBERS, J., TEWKSBURY, J. & PARRISH, J. (2017). *The science of citizen science: Exploring barriers to use as a primary research tool*. *Biological Conservation*, 208, 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.05.014>.
- BONNEY, R. (1996). *Citizen science: A lab tradition*. *Living Birds*. 15(4): 7–15.
- CED. (2019). *Principios rectores para la búsqueda de personas desaparecidas*. ONU-DH México. Comité de la ONU contra la Desaparición Forzada. https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/HRBodies/CED/PrincipiosRectores_DigitalisedVersion_SP.pdf
- CEMDA. (2024). *Informe sobre la situación de las personas y comunidades defensoras de los derechos humanos ambientales*. 2023. Centro Mexicano de Derecho Ambiental, A.C. (CEMDA). https://www.cemda.org.mx/wpcontent/uploads/2024/04/CEMDA_INFORME2023_DIGITAL-1.pdf
- CEMDA. (2023). *Informe sobre la situación de las personas y comunidades defensoras de los derechos humanos ambientales en México, 2022*. Centro Mexicano de Derecho Ambiental, A.C. (CEMDA). https://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2023/05/cmd_abr23-resumen-ejecutivo.pdf
- CENTROGEO-CONAHCYT. (s.f.). *Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial-CONAHCYT*. <https://www.centrogeo.org.mx/>
- CEPAD. (s/f.). *¿Cómo surgieron las leyes de desaparición en Jalisco?*. Centro de Justicia para la Paz y el Desarrollo A.C. <https://cepad.org.mx/tus-derechos/leyes-de-desaparicion/>
- CHÁVEZ, T. (2018, noviembre). *Aptitud territorial para fosas clandestinas* [Diapositivas de Power Point]. Comisión Estatal de Derechos Humanos: presentación a colectivos de búsqueda. Auditorio CEDH: Guadalajara, Jalisco, México.
- CIRC. (2014). *Acompañar a los familiares de las personas desaparecidas. Guía práctica*. Comité Internacional de la Cruz Roja. <https://www.icrc.org/sites/default/files/external/doc/es/assets/files/publications/icrc-003-4110.pdf>
- CLO. (2023). *2023 Year in Review: eBird, Merlin, Macaulay Library, and Birds of the World*. Cornell Laboratory of Ornithology. <https://ebird.org/news/2023-year-in-review>



- CNB. (2024). *Total de personas desaparecidas, no localizadas y localizadas*. Registro Nacional de Personas Desaparecidas y No Localizadas. Comisión Nacional de Búsqueda. Versión Estadística RNPDO - Dashboard CNB (segob.gob.mx)
- CNDH. (2022). *Informe de actividades 2022. Personas desaparecidas y no localizadas*. Comisión Nacional de Derechos Humanos de México.
<https://informe.cndh.org.mx/menu.aspx?id=50062>
- CNDH. (s.f.). *Surge el Movimiento de las de Plaza de Mayo, defensoras de los derechos a la verdad y a la justicia*. Comisión Nacional de los Derechos Humanos de México. https://www.cndh.org.mx/noticia/surge-el-movimiento-de-las-madres-de-plaza-de-mayo-defensoras-de-los-derechos-la-verdad-y#_ftnref1
- CNDH. (2022). *Informe Especial de la CNDH sobre el estado que guarda el tráfico y el secuestro en perjuicio de personas migrantes en México 2021*. Comisión Nacional de los Derechos Humanos de México.
- CNDH-Secretaría ejecutiva. (s.f.). *Desaparición de 43 estudiantes de la Escuela Normal Rural “Raúl Isidro Burgos”, Ayotzinapa*. Comisión Nacional de los Derechos Humanos de México.
<https://www.cndh.org.mx/noticia/desaparicion-de-43-estudiantes-de-la-escuela-normal-rural-raul-isidro-burgos-ayotzinapa-0>
- COLE, S. (2013). *Forensic culture as epistemic culture: the sociology of forensic science*. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 44(1): 36–46.
- COBUPEJ. (2023). *Fosas clandestinas Jalisco 2018 – 2020*. Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco. AyC007&2023. Gob. Edo. Jalisco.
- COOPER, C. (2016). *Citizen Science: How Ordinary People are Changing the Face of Discovery*. Overlook Press.
- COOPER, C., HAWN, C., LARSON, L., PARRISH, J., BOWSER, G., CAVALIER, D., DUNN, R., HAKLAY, M., KAR GUPTA, K., NA'TAKI, JELKS, O., JOHNSON, V., KATTI, M., LEGGETT, Z., WILSON, O. & WILSON, S. (2021). *Participatory science... Inclusion in citizen science: The conundrum of rebranding*. *Science*. 38 (6): 485-489 Scientific Life.
- CPJ. (2024). *Missing not forgotten*. Committee to Protect Journalists.
<https://cpj.org/campaigns/missingnotforgotten/>.



- CRUZ, A. (2020). *Lists, Maps, and Bones: The Untold Journeys of Citizen-led Forensics in Mexico*. *Victims & Offenders*, 15, 1–20. <https://doi.org/10.1080/15564886.2020.1718046>
- DELGADILLO, A. (s.f.). Masacre de San Fernando, Tamaulipas. Masacre de los 72 migrantes. Portal Comisión Nacional de Derechos Humanos México. <https://www.cndh.org.mx/noticia/masacre-de-san-fernando-tamaulipas-masacre-de-los-72-migrantes-0>
- EC. (2014). *Green paper on citizen science*. European Commission. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/green-paper-citizen-science-europe-towards-society-empowered-citizens-and-enhanced-research>
- ECSA. (2015). *Ten principles of citizen science*. European Citizen Science Association. <https://eu-citizen.science/resource/88>
- ELLWOOD, E., PAULY, G., AHN, J., GOLEMBIEWSKI, K., HIGGINS, L., ORDEÑANA, M. & VON KONRAT, M. (2023). *Citizen science needs a name change*. *Trends in Ecology & Evolution*, Vol. 38 (6): 485 – 489.
- FALLET, V. & CHÁVEZ, A. (2022). *Búsquedas y saberes. Las desapariciones forzadas en México*. *Andamios*, 19(50), 223–242. <https://andamios.uacm.edu.mx/index.php/andamios/article/view/943/1940>
- FALS-BORDA, O. (1970). *Ciencia propia y conocimiento popular*. *Nuestro Tiempo*.
- FEPD. (s.f.). *Sitios de inhumación clandestinos*. Fiscalía Especial de Personas Desaparecidas <https://fiscaliaenpersonasdesaparecidas.jalisco.gob.mx/registro-estatal-de-fosas-clandestinas/>
- FORBES STAFF. (2023). Familiares de desaparecidos en México vivieron ‘caos’ y desprotección en 2023. *Forbes*. Diciembre 24, 2023. <https://www.forbes.com.mx/familiares-desaparecidos-mexico-vivieron-caos-y-desproteccion-2023/>
- FREIRE, P. (1970). *Pedagogía del oprimido*. Tierra Nueva.
- FOTOPOULOU, A. (En prensa). *Understanding citizen data practices from a feminist perspective: embodiment and the ethics of care*. In *Citizen Media and Practice*; edited by Hilde C. Stephansen and Emiliano Treré. https://www.researchgate.net/publication/332188293_Understanding_citizen_data_practices
- FUNDACIÓN ESTE PAÍS. (2009). *Observatorios ciudadanos: Ejercer la ciudadanía en la práctica*. No. 217: 213-216.



- Gatti, G. (2017). *Prolegómeno. Para una categoría científica de desaparición*, en G. Gatti (Compilador), *Desapariciones. Usos locales, circulaciones globales*. Siglo del Hombre.
- GILLESPIE, T., AGNEW, J., MARIANO, E., MOSSLER, S., JONES, N., BRAUGHTON, M. & GONZALEZ, J. (2009). *Finding Osama bin Laden: An Application of Biogeographic Theories and Satellite Imagery*. MIT International Review.
<https://web.mit.edu/mitir/2009/online/finding-bin-laden.pdf>
- GLOCKNER, F. (2019). *Los años heridos. La historia de la guerrilla en México 1968-1985*. Planeta.
- GOBIERNO DE MÉXICO (2021). *Búsqueda e Identificación de Personas Desaparecidas. Reporte Semestral 1 de enero al 30 junio, 2021*. <https://www.gob.mx/segob/documentos/busqueda-e-identificacion-de-personas-desaparecidas>
- GOLUMBIC, Y., ORR, D., BARAM-TSABARI, A., & FISHBAINET B. (2017). *Between Vision and Reality: A Study of Scientists' Views on Citizen Science*. *Citizen Science: Theory and Practice*, 2(1): 6, pp. 1–13. <https://doi.org/10.5334/cstp.53>
- GRANJA, R. (2023). *Citizen science at the roots and as the future of forensic genetic genealogy*. *International Journal of Police Science & Management*. Vol. 25(3) 250 - 261.
- GUILLÉN, A. (2024). *Jalisco, tierra de desaparición y colectivos de búsqueda*. MAGIS, año LX, No. 499, mayo-junio 2024.
- GUILLÉN, A. & PETERSEN, D. (2019, 4 de febrero) *El regreso del infierno; los desaparecidos que están vivos*. 5to Elemento. Recuperado de:
<https://quintoelab.org/project/regresodelinfierno>
- GUISAN, A., THUILLER, W. & ZIMMERMAN, N. (2017). *Habitat suitability and distribution models*. Cambridge Univ. Press.
- HAKLAY, M. (2018). *Participatory citizen science* in: Hecker, S., Haklay, M., Bowser, A., Makuch, Z., Vogel, J. & Bonn, A., *Citizen Science: Innovation in Open Science, Society and Policy*. UCL Press.
- HARAWAY, D. (1988). *Situated Knowledges: The Science Question in Feminism and the Privilege of Partial Perspective*. *Feminist Studies*. 14 (3): 575-599.
- IBRAHIM, K., KHODURSKY S. & YASSERI, T. (2021). *Gender Imbalance and Spatiotemporal Patterns of Contributions to Citizen Science Projects: The Case of Zooniverse*. *Front. Phys.* 9:650-720. [10.3389/fphy.2021.650720](https://doi.org/10.3389/fphy.2021.650720)



- ICMP. (2020). *Mapeo de organizaciones de familiares de personas desaparecidas y de otras organizaciones de la sociedad civil: Colombia*. Comisión Internacional sobre Personas Desaparecidas. <https://www.icmp.int/wp-content/uploads/2020/08/ICMP-Mapeo-de-Familiares-y-OSC-en-Colombia-2020.pdf>
- INMLCF. (2016). *Estándares Forenses Mínimos para la Búsqueda de Personas Desaparecidas y la Recuperación e Identificación de Cadáveres*. (2016). Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses.
- IRWIN, A. (1995). *Citizen science: A study of people, expertise and sustainable development*. Psychology Press.
- JÖNSSON, M., KASPEROWSKI, D., COULSON, S., NILSSON, J., PAVEL, B., KULLENBERG, C., HAGEN, N., VAN DER WAL, R. & PETERSON, J. (2023). *Inequality persists in a large citizen science programme despite increased participation through ICT innovations*. *Ambio* 53, 126–137 (2024). <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01917-1>
- KINDON, S., PAIN, R. & KESBY, M. (2007). *Participatory Action Research: Approaches and Methods: Connecting people, participation and place*. Routledge.
- KLESMAN, A. (2022). *Zooniverse: A Citizen Science Success Story*. *Discovery Magazine*. <https://www.discovermagazine.com/the-sciences/zooniverse-a-citizen-science-success-story>
- LAURELES, J. & XANTOMILA, J. (2024, 8 de mayo). *México y EU, el mayor corredor migratorio del mundo: informe*. *La Jornada*. Recuperado de: <https://www.jornada.com.mx/2024/05/08/politica/012n1pol>
- LÓPEZ, D. (2024, 29 de febrero). *La integridad de las buscadoras es un asunto político, no politiquería*. *A dónde van los desaparecidos*. Recuperado de: <https://adondevanlosdesaparecidos.org/2024/02/29/la-integridad-de-las-buscadoras-es-un-asunto-politico-no-politiqueria/>
- LOWRY, C. & STEPENUCK, K. (2021). *Is Citizen Science Dead?* *Environ. Sci. Technol.* 55 (8): 4194–4196. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.0c07873>
- LUNA, A. (2016). *Los observatorios ciudadanos como estrategias de acción colectiva para el fortalecimiento de la rendición de cuentas social en México: estudio de caso red mexicana por ciudades justas democráticas y sustentables*. *Praxis Sociológica* n° 21: 195-212.



- MARES, T. (2023, 4 de mayo). *Asesinadas en la búsqueda*. Sin embargo. Recuperado de: <https://www.sinembargo.mx/04-05-2023/4356482>
- MAYOR, S., SCHNEIDER, D., SCHAEFER, J. & MAHONEY, S. (2009). *Habitat selection at multiple scales*. *Ecoscience*. 16 (2): 238-247.
- McGLADE, J. (2009, 16th february). *Global citizen observatory. The role of individuals in observing and understanding our changing world*. Annual earthwatch lecture. Citizen science. <http://www.eea.europa.eu/media/speeches/global-citizen-observatory-the-role-of-individuals-in-observing-and-understanding-our-changing-world>
- MONÁRREZ, J., CERVERA L., FUENTES, C. & RUBIO, R. (2010). *Violencia contra las mujeres e inseguridad ciudadana en Ciudad Juárez*. Editorial El Colegio de la Frontera Norte. <https://libreria.colef.mx/detalle.aspx?id=7760&AspxAutoDetectCookieSupport=1>
- MONZÓN, C., ZAMORA, A., & VÁZQUEZ, A. (2020). *Integrating public participation in knowledge generation processes: Evidence from citizen science initiatives in Mexico*. *Environmental Science and Policy*, 114, 230–241. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.08.007>
- NATAL, A. & DÍAZ, O. (coords.). (2014). *Observatorios Ciudadanos. Nuevas Formas de Participación de la Sociedad*. Ediciones Gernika.
- NBPP-USGS. (s.f.). *North American Bird Phenology Program*. NABPP, US. Geological Survey. <https://web.archive.org/web/20160705220320/http://www.pwrc.usgs.gov/bpp/AboutBPP2.cfm>
- OEA. (2015). *Observatorios de Políticas Públicas en las Américas Una Guía para su diseño e implementación en nuestras administraciones públicas*. Organización de los Estados Americanos. https://www.oas.org/es/sap/dgpe/pub/observatoriosdepoliticaspUBLICAS_s.pdf
- OLARTE, M., GARCÍA, V. & CONGRAM, D. (2023). *Prácticas forenses y violencia en masa: perspectivas contemporáneas y retos investigativos*. *Antipoda. Revista de Antropología y Arqueología*, 50, 3–17. <https://doi.org/10.7440/antipoda50.2023.01>
- ONU. (2023, 31 de julio). *Las madres buscadoras en México no están solas, cuentan con varios aliados*. Organización de las Naciones Unidas. <https://news.un.org/es/story/2023/07/1523057>



- ONU-DH. (2021). *Desapariciones forzadas: es urgente atender los derechos económicos, sociales y culturales de las víctimas, dicen expertas y expertos de la ONU*. Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos. <https://www.ohchr.org/es/press-releases/2021/08/enforced-disappearances-its-urgent-address-economic-social-and-cultural>
- OSCF. (2022). *Recommendations for citizen science*. Open Science Coordination in Finland, Federation of Finnish Learned Societies. <https://edition.fi/tsv/catalog/view/445/362/1440-1>
- ORTIZ, K. (2012). *Las Madres de Plaza de Mayo y su legado por la defensa de los derechos humanos*. Trabajo Social No. 14, enero-diciembre 2012.
- PRIETO, R., CAMPEDELLI, G. & HOPE, A. (2023). *Reducing cartel recruitment is the only way to lower violence in Mexico*. SCIENCE. 381 (6664): 1312-1316.
- PURCELL, K., GARIBAY, C. & DICKINSON, J. (2012). *A gateway to science for all: celebrate urban birds* in J. Dickinson, R. Louv and R. Bonney (eds.) *Citizen science: Public participation in environmental research*. Ithaca: Comstock Pub Associates. 191-200. <https://doi.org/10.7591/cornell/9780801449116.003.0014>
- QUINTO-SÁNCHEZ, M. (Coordinadora). (2022). *Protocolos basados en evidencia para la búsqueda de personas desaparecidas*. Universidad Nacional Autónoma de México. https://www.enacif.unam.mx/?page_id=7797
- QUINTO-SANCHEZ, M. & HUERTA-PACHECO, N. (2023). *Missing persons patterns from Mexico: evidence of a forensic emergency crisis*. Forensic Sci Res. 2023 Dec; 8(4): 288–294. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10894063/>
- RANCIÈRE, J. (1987). *El maestro ignorante*. Editorial Laertes.
- RAUTIO, P., TAMMI, T., AIVELI, T., HOHTI, R., KERVINEN, A. & SAARI, M. (2022). *“For whom? By whom?”: critical perspectives of participation in ecological citizen science*. Cultural Studies of Science Education 17:765–793. <https://doi.org/10.1007/s11422-021-10099-9>
- RESNIKA, D., ELLIOTT, K., & MILLER, A. (2015). *A framework for addressing ethical issues in citizen science*. Env. Sci. & Polic. 54: 475-481.
- RIIF. (s.f.). Red Iberoamericana de Investigadores Forenses. <https://cyted.org/RIIF>



- ROBLEDO, C. (2019, 24 de octubre). *CSI a la mexicana: Ciencia para la búsqueda de personas desaparecidas*. A dónde van los desaparecidos. Recuperado de: <https://adondevanlosdesaparecidos.org/2019/10/24/csi-a-la-mexicana-ciencia-para-la-busqueda-de-personas-desaparecidas/>
- ROBLEDO, C. (2019). *Descolonizar el encuentro con la muerte desde los afectos: experiencia de trabajo interdisciplinario en torno a la exhumación de fosas comunes en México*. *Abya-yala: Revista sobre Acceso à Justiça e Direitos nas Américas*, 3(2), Article 2. <https://doi.org/10.26512/abyayala.v3i2.23708>
- RODRÍGUEZ, L. (2023, 7 de agosto). *Al menos 22 colectivos buscan a desaparecidos*. El Diario NTR Recuperado de: https://ntrguadalajara.com/post.php?id_nota=201514.
- ROSSMO, D. & SUMMERS, L. (2015). *El Perfil Geográfico en la Investigación Criminal*. *International e-Journal of Criminal Science*. 3: 9. <https://ojs.ehu.eus/index.php/inecs/article/view/14907/13193>
- ROY, S. & EDWARDS, M. (2019). *Citizen Science During the Flint, Michigan Federal Water Emergency: Ethical Dilemmas and Lessons Learned*. *Citizen Science: Theory and Practice*, 4(1), p. 12. <http://doi.org/10.5334/cstp.154>
- RUIZ, J. & FRANCO, A. (2023). *On the Path to Proving Our Model. Successes and the Future of Pinpointing Clandestine Graves in Mexico*. *Citizen Evidence*. <https://citizenevidence.org/2023/11/08/on-the-path-to-proving-our-model-successes-and-the-future-of-pinpointing-clandestine-graves-in-mexico/>
- SAAVEDRA, D. (2023). *En México ya hay más de 100 grupos y colectivos que buscan a sus desaparecidos*. *Gaceta de la Universidad Nacional Autónoma de México*. <https://www.gaceta.unam.mx/en-mexico-ya-hay-mas-de-100-grupos-y-colectivos-que-buscan-a-sus-desaparecidos/#:~:text=Adem%C3%A1s%2C%20se%20agrega%20el%20dolor,where%20crearon%20redes%20y%20brigadas>.
- SANABRIA J., MOLINA, J., ALFARO B., & VYCUĐILÍKOVÁ, M. (2022). *A Threshold for Citizen Science Projects: Complex Thinking as a Driver of Holistic Development*. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 25(2), pp. 113-131. <https://doi.org/10.5944/ried.25.2.33052>



- SARKAR, S., DYER, J., MARGULES, C., CIARLEGGIO, M., KEMP, N., WONG, G., JUHN, D., & SUPRIATNA, J. (2017). *Developing an objectives hierarchy for multicriteria decisions on land use options, with a case study of biodiversity conservation and forestry production from Papua, Indonesia*. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 44(3), 464-485. <https://doi.org/10.1177/0265813516641684>
- SCHADE, S., PELACHO, M., VAN NOORDWIJK, T., VOHLAND, K., HECKER, S., & MANZONI, M. (2021). *Citizen Science and Policy*. In K. Vohland et al. *The Science of Science*. Chapter 18: 351 -271. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4_18
- SCHWARTZ, E. & CRUZ, A. (2018) *Antígona y su biobanco de ADN: desaparecidos, búsqueda y tecnologías forenses en México*. *Athenea Digital* 18(1): 129-153.
- SCHWARTZ, E. & CRUZ, A. (2016a) *Forensic civism: articulating science, DNA and kinship in contemporary Mexico and Colombia*. *Human Remains and Violence: An Interdisciplinary Journal* 2(1): 58-74.
- SCHWARTZ, E. & CRUZ, A. (2016b) *Pure corpses, dangerous citizens: transgressing the boundaries between experts and mourners in the search for the disappeared in Mexico*. *Social Research* 83(2): 483-510.
- SHIRK, J., BALLARD, H., WILDERMAN, C., PHILLIPS, T., WIGGINS, A., JORDAN, R., MCCALLIE, E., MINARCHEK, M., LEWENSTEIN, B., KRASNY, M., & BONNEY, R. (2012). *Public participation in scientific research: a framework for deliberate design*. *Ecology and Society* 17(2): 29. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04705-170229>
- SILLERO, N. (2011). *What does ecological modelling model? A proposed classification of ecological niche models based on their underlying methods*. *Ecological Modelling*, 222 (8): 1343-1346.
- SILVA, R. (2013). *¿Qué es un Observatorio Ciudadano?*. *Revista Vínculos*. No.4:189-212. <http://www.vinculosociologiaanalisisyopinion.cucsh.udg.mx/index.php/VSAO/article/view/4186>



- SILVÁN-CÁRDENAS, J.L., ALEGRE-MONDRAGÓN, A.J., RUIZ-REYES, J. (2022). *Geospatial Analysis of Clandestine Graves in Baja California: New Approaches for the Search of Missing Persons in Mexico*. In: Tapia-McClung, R., Sánchez-Siordia, O., González-Zuccolotto, K., Carlos-Martínez, H. (eds) *Advances in Geospatial Data Science*. iGISc 2021. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98096-2_3
- SILVÁN, J., ALEGRE, A. & GONZÁLEZ, K. (2019). *Potential distribution of clandestine graves in Guerrero using geospatial analysis and modelling*. Kalpa Publications in Computing Volume XXX, 2019, Pages 1-8. Proceedings of the 1st International Conference on Geospatial Information Sciences. https://www.researchgate.net/publication/337168640_Potential_distribution_of_clandestine_graves_in_Guerrero_using_geospatial_analysis_and_modelling [accessed Jul 17 2024]
- SIMÓN, I. (2016). *Violencia postestructural: migrantes centroamericanos y cárteles de la droga en México*. *Revista De Estudios Sociales*, 1 (56), 12-25. <https://doi.org/10.7440/res56.2016.01>.
- STORKSDIECK, M., SHIRK, J., CAPPADONNA, J., DOMROESE, M., GÖBEL, C., HAKLAY, M., & VOHLAND, K. (2016). *Associations for citizen science: Regional knowledge, global collaboration*. *Citizen Science: Theory and Practice*, 1(2), 10.
- STRASSER, B., BAUDRY, J., MAHR, D., SANCHEZ, G. & TANCOIGNE, E. (2018). “Citizen Science?” *Rethinking Science and Public Participation*. *Science Technology Studies* 32, 52-76.
- TORRES, M., & SMITH, L. (2023). *Deep Forensics for a More-than-Human Justice*. *Antipoda. Revista de Antropología y Arqueología*, 50, 173-195. <https://doi.org/10.7440/antipoda50.2023.08>
- TZUC, E. (2023, 9 de octubre). *México rebasa las 5 mil 600 fosas clandestinas*. Quinto Elemento Lab. Recuperado de: <https://quintoelab.org/project/mexico-rebasa-cinco-mil-fosas-clandestinas>
- UNAM. (2023). *Ángelus, un sistema de origen puma para buscar desaparecidos de la Guerra Sucia*. *Gaceta de la Universidad Nacional Autónoma de México*. <https://www.gaceta.unam.mx/angelus-un-sistema-de-origen-puma-para-buscar-desaparecidos-de-la-guerra-sucia/>

- UNESCO. (2021). *Recomendación de la UNESCO sobre la Ciencia Abierta*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379949_spa
- UCH. (s.f.). *Pautas Éticas Internacionales para la Investigación y Experimentación Biomédica en Seres Humanos*. Universidad de Chile. <https://uchile.cl/u76196>.
- UN-WGEID. (2023). *New technologies and enforced disappearances. Report of the Working Group on Enforced or Involuntary Disappearances*. United Nations Working Group on Enforced or Involuntary Disappearances. <https://www.ohchr.org/en/documents/thematic-reports/ahrc5422add5-new-technologies-and-enforced-disappearances-report-working>
- URRUTIA, A. & XANTOMILA, J. (2022, 12 de abril). *Crimen organizado principal ejecutor de desapariciones en México: CDF ONU*. La Jornada.
- VAYENA E., BROWNSWORD R., EDWARDS S., GRESHAKE, B., P KAHN, J., LADHER, N., MONTGOMERY, J., O'CONNOR, D., O'NEILL, O., P RICHARDS, M., RID, A., SHEEHAN, M., WICKS, P. & TASIOLAS, J. (2016). *Research led by participants: a new social contract for a new kind of research*. *J Med Ethics*; 42:216-9.
- VAYENA, E. & TASIOLAS, J. (2015). *"We the scientists": a human right to citizen science*. *Philosophy and Technology* 28(3): 479-485.
- VÁZQUEZ, L. (2023, 5 de mayo). *Madres buscadoras en Guanajuato: ONU-DH documenta sus asesinatos desde 2020*. *El Financiero*. Recuperado de: <https://www.elfinanciero.com.mx/estados/2023/05/05/madres-buscadoras-en-guanajuato-onu-dh-documenta-sus-asesinatos-desde-2020/>
- VOHLAND, K., LAND-ZANDSTRA, A., CECCARONI, L., LEMMENS, R., PERELLÓ, J., PONTI, M., SAMSON, R., & WAGENKNECHT, K. (Eds). (2021). *The Science of Citizen Science*. Springer Nature Switzerland AG. Open Access.
- ZOONIVERSE. (s/f). <https://www.zooniverse.org/>



Planteamiento **general**







Capítulo 4



Experimentación forense: la historia de un proyecto

COBUPEJ

Contribución arbitrada

En México, desde hace años ha ido en aumento el número de personas desaparecidas, resaltando los fenómenos de desapariciones forzadas y desapariciones cometidas por particulares, así como su relación con la existencia de fosas clandestinas (Castro, 2021; González et al., 2019).

Para la localización de personas en escenarios post mortem, en el occidente del país, ha prevalecido el uso de técnicas tradicionales como el varillado e interpretación del paisaje (suelo removido, coloración del suelo, existencia de montículos o depresiones, cambio en la vegetación).

Sin embargo, ante el reconocimiento de los retos que la situación implica y desde el ámbito de la defensa de los derechos humanos, actores como la Comisión Estatal de Derechos Humanos Jalisco (CEDHJ) solicitó en 2018, a las autoridades gubernamentales, la generación de “un sistema técnico de búsqueda de fosas clandestinas, considerando que los hallazgos [...] muestran patrones [...] y que existen condiciones físicas del territorio que permiten o no la existencia de ellas” (Comisión Estatal de Derechos Humanos Jalisco, 2018, p. 183).

A inicios de 2023, luego del hallazgo de una fosa clandestina en el Bosque de la Primavera, al sur del área metropolitana de Guadalajara (AMG), la Dirección de Análisis y

Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco (COBUPEJ) comenzó un planteamiento descriptivo de elementos físicos y químicos del sitio, con el propósito de entender el comportamiento de éstos ante el proceso de descomposición humana.

A partir de entonces, y ante el aprendizaje de diversas investigaciones sobre inhumaciones ilegales que relacionan factores bioambientales, geoespaciales, socioeconómicos, fisicoquímicos, políticos, biológicos, geológicos, geográficos, entre otros, que intervienen en el tema (Ruiz et al., 2022), se proyectó la realización de una investigación interinstitucional que permitiera analizar distintos parámetros existentes en inhumaciones ilegales:

- Identificación genética.
- Vegetación.
- Entomología.
- Parámetros físicoquímicos del suelo (nitrógeno, fósforo, potasio, conductividad eléctrica, pH, humedad y temperatura).
- Resistividad eléctrica.
- Forma, tamaño y posición de la zona de experimentación (topografía).
- Análisis espectral.
- Susceptibilidad magnética y reflexión de ondas de radar (magnetometría y radar de penetración terrestre).

Así, dos espacios de experimentación se materializaron en instituciones del AMG.

Por una parte, en las instalaciones del Centro Universitario Tonalá (CUTonalá) de la Universidad de Guadalajara (UdeG) –localizado en la ciudad del mismo nombre– se consolidó físicamente un proyecto forense, constituyéndose el “Polígono 1”.

Ahora bien, en la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara (UPZMG) sede Cajititlán, en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, se destinó un área para la investigación del proceso inhumación para conformar el “Polígono 2”.



Junto a la creación de los polígonos se desarrolló una cartografía basada en la interpretación de las características geológicas¹, geomorfológicas², edafológicas³ y climáticas del AMG —incorporadas por su importancia para el hallazgo de inhumaciones clandestinas—, a partir del procesamiento de bases de datos e información vectorial.

A este ejercicio se le denominó como Análisis Geomorfoedafoclimatológico (GMEC)⁴.

El reto de definir la información de geomorfología implicó la división de la metrópoli en unidades de un kilómetro cuadrado. En total, se obtuvieron tres mil 461 cuadrantes en los que se implementaron los métodos de disección vertical y horizontal del relieve, los cuales funcionan para conocer la relación entre las pendientes del terreno y cómo drenan los escurrimientos en un área determinada.

Polígonos: a detalle

El Polígono 1 —de 14.58 m x 40.31m x 14.83m x 39.96m— está situado en las coordenadas 20°33'59"N, -103°13'42"O, al oriente del AMG. Se encuentra a mil 530 metros sobre el nivel del mar⁵.

Presenta suelo Vertisol, que se caracteriza por su alto contenido de arcilla, la cual retiene mucha agua y se expande al humedecerse. Y, por el contrario, al secarse, se contrae, por lo que es proclive a formar grietas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2004, p.20; Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2021c).

La fase física a la que corresponde el suelo se denomina como lítica profunda, lo cual se refiere a una capa de roca dura y continua, o bien, “a un conjunto de rocas abundantes que impiden la penetración de raíces” (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2004, p.7; Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2021c).

Aunado, tiene presencia de roca toba ígnea (Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2021a; Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2021d). Ésta se forma

-
- 1 La Geología estudia la composición, estructura e historia de la Tierra; las rocas son una parte relevante en esta comprensión.
 - 2 La ciencia encargada del estudio de la superficie de la Tierra y sus alteraciones.
 - 3 La Edafología estudia la constitución y naturaleza del suelo.
 - 4 Se consideraron los límites oficiales del estado de Jalisco y sus municipios, establecidos de forma oficial en el Decreto 2687, del año 2012.
 - 5 El mar es una referencia que se toma para dimensionar la altura, debido a que es una superficie uniforme y estable.



con la compactación de cenizas volcánicas; es ligera, porosa y cuenta con la capacidad de absorber líquidos en su superficie⁶ (Hernández et al., 2010).

Predomina un clima templado subhúmedo (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2023): la temperatura media que se presentó durante el tiempo de experimentación fluctuó de los 18 a los 25 grados centígrados, mientras que, la precipitación promedio, fue de 50.63 milímetros (mm)⁷ (Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ, 2024)⁸.

Por su parte, el Polígono 2 se localiza en las coordenadas 20°26'24.37"N-103°18'29.22"O, al sur del AMG. En dicha parte de la ciudad —a una altura de mil 540 metros sobre el nivel del mar— también es característico el clima templado subhúmedo (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2023). La temperatura media anual que se registró, durante el proceso de investigación, fue de los 17 a los 23 grados centígrados. Y la precipitación promedio, de 40.6 milímetros (mm)⁹ (Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ, 2024).

El suelo es igualmente Vertisol pélico de textura fina (Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2021c). En el componente geológico no se distingue una roca predominante, pero sí formaciones aluviales, es decir, constituidas por materiales transportados (Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2021b; Instituto de Información Estadística y Geográfica 2021d).

El Polígono 2 presenta las siguientes dimensiones: 38.80m x 24.42m x 6.20m x 25.86m x 12.69m.

6 La toba es un material geológico constantemente identificado en sitios de inhumación clandestina. Las características que posee permiten un campo grande de documentación, ya que funciona como el material de una esponja, reteniendo líquidos que, a su vez, aportan información relevante.

7 Cada milímetro de precipitación puede entenderse como el espesor de líquido que se formaría al arrojarse un litro de agua en una superficie de un metro cuadrado. Como referencia, la precipitación media anual de México es de 777 mm; la de Jalisco, es de 850 mm.

8 Considerando el periodo del 11 de mayo de 2023 al 26 de enero de 2024. Se conjuntó la información de datos abiertos de la Comisión Nacional del Agua, así como los registros de las instituciones educativas que albergan a los polígonos de estudio.

9 Tomando en cuenta el periodo del 7 de septiembre de 2023 al 15 de marzo de 2024. El proceso para la obtención de datos partió de las mismas fuentes que en el caso del Polígono 1.

La investigación, en marcha

Distribuidas entre ambos polígonos, se realizaron 32 fosas en las que se colocaron ejemplares porcinos.

Para el proyecto conjunto se utilizaron 27 cerdos de granja —provenientes de una donación realizada desde la región de Los Altos de Jalisco—, con un rango de edad de seis a ocho meses y un peso calculado entre los 40 y 65 kilogramos —cada uno—. Su alimentación fue una dieta líquida (leche) hasta cumplir su primer semestre de vida, posteriormente se les suministraron alimentos sólidos de alta calidad, así como vitaminas y minerales.

Los ejemplares fueron trasladados a las instalaciones del Rastro Público, donde se garantizó un tratamiento ético y normativo para que los animales tuvieran una muerte rápida, sin sufrimiento innecesario. Se utilizó el método de punción al miocardio y se conservaron los órganos, líquidos y sangre de los animales.

La primera inhumación se efectuó el 31 de mayo del año 2023. Se depositaron 14 de los porcinos, en un mismo número de fosas.

Los ejemplares se acondicionaron por pares, para replicar siete características recurrentes identificadas en cuerpos recuperados de escenas criminales (véase Tabla 1). A dos de los cuerpos se les cubrió con cal; a otros dos se les colocaron bolsas plásticas negras. Otro par fue cubierto con cobijas de algodón y poliéster; los cuerpos quemados se rociaron con gasolina y, para la inhumación de los ejemplares en reducción esquelética, se desprendió la piel con un instrumento tipo cuchillo.

La orientación de los cerdos fue en una sola posición: de sur a noreste.

Adicionalmente, se realizaron dos cavidades más que se dejaron completamente vacías, de manera que funcionaran como puntos de control: es decir, para que la información que arrojaran, funcionase como un contraste respecto al comportamiento de las excavaciones con porcinos.

En total, se realizaron 16 fosas distribuidas en cuatro filas, separadas por un intervalo de 1.8 metros. Y, a su vez, cada línea de excavaciones espaciada entre sí, por una distancia de 3.92 metros (véase Figuras 1-3).

La mitad de las cavidades se realizó a una profundidad de 0.75 metros y, el resto, a 1.25 metros. Las dimensiones de cada una: 1.6 metros de ancho por 2.1 metros de largo.

Tabla 1. Tratamiento aplicado, profundidad e identificación de fosa por cada ejemplar en el Polígono 1

TRATAMIENTO DEL CUERPO	PROFUNDIDAD (m)	IDENTIFICACIÓN DE FOSA
SIN CUERPO	0.75	F1
SIN CUERPO	1.25	F2
CUERPO COMPLETO (CC)	0.75	F3
CUERPO COMPLETO (CC)	1.25	F4
CUERPO SECCIONADO (CS)	0.75	F5
CUERPO SECCIONADO (CS)	1.25	F6
CUERPO CON CAL (CL)	0.75	F7
CUERPO CON CAL (CL)	1.25	F8
CUERPO DENTRO DE BOLSA (CB)	0.75	F9
CUERPO DENTRO DE BOLSA (CB)	1.25	F10
CUERPO CON COBIJA (CJ)	0.75	F11
CUERPO CON COBIJA (CJ)	1.25	F12
CUERPO QUEMADO (CQ)	0.75	F13
CUERPO QUEMADO (CQ)	1.25	F14
REDUCCIÓN ESQUELÉTICA (RE)	0.75	F15
REDUCCIÓN ESQUELÉTICA (RE)	1.25	F16

Fuente: elaboración propia de la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Figura 1. Distancia entre fosas del Polígono 1



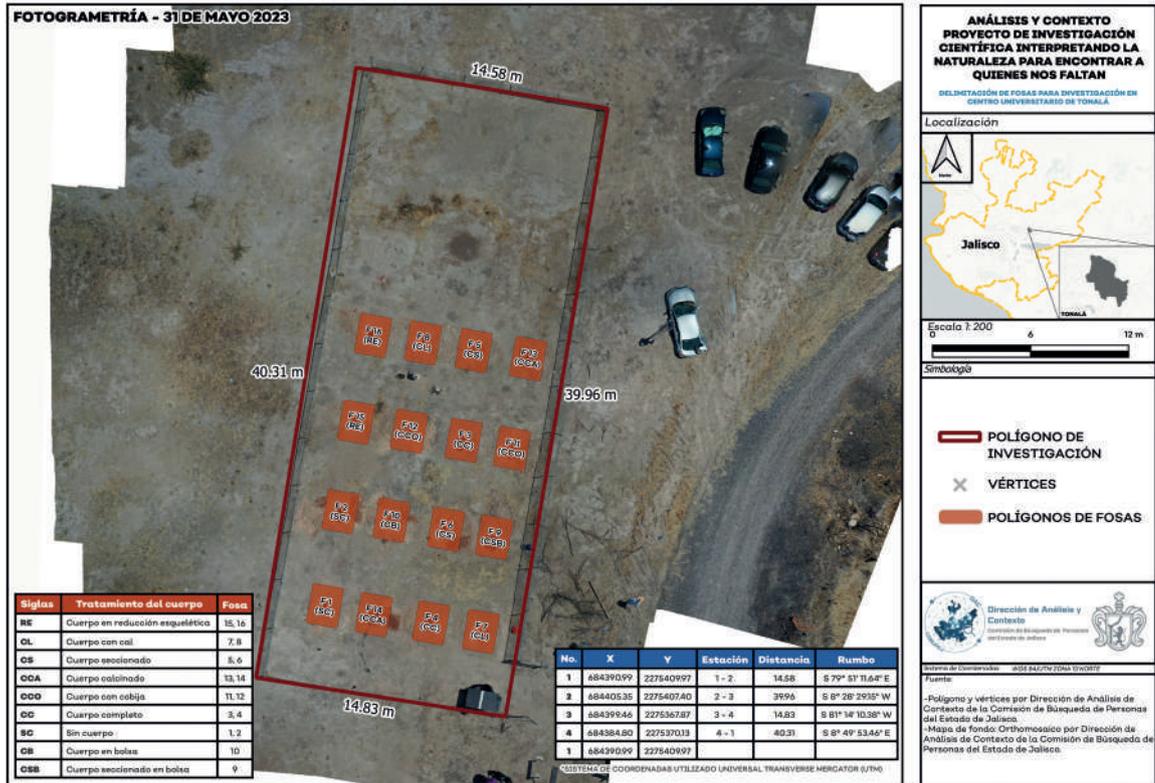
Fuente: elaboración propia de la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Figura 2. Dimensiones en el Polígono 1



Fuente: elaboración propia de la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Figura 3. Distribución de fosas en el Polígono 1



Fuente: elaboración propia de la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Antes y después de la primera inhumación se llevaron a cabo siete muestreos de los parámetros de estudio. Éstos se realizaron los días 11 y 22 de mayo, 26 de junio, 11 de agosto, 2 de octubre y 6 de noviembre de 2023; así como el 13 de febrero de 2024.

El 11 de septiembre de 2023, en las instalaciones de la UPZMG, se creó el Polígono 2 para concretar las otras 16 fosas. Nuevamente, se apartaron dos oquedades para dejarlas vacías y, en las 14 restantes, se distribuyeron 13 cerdos.

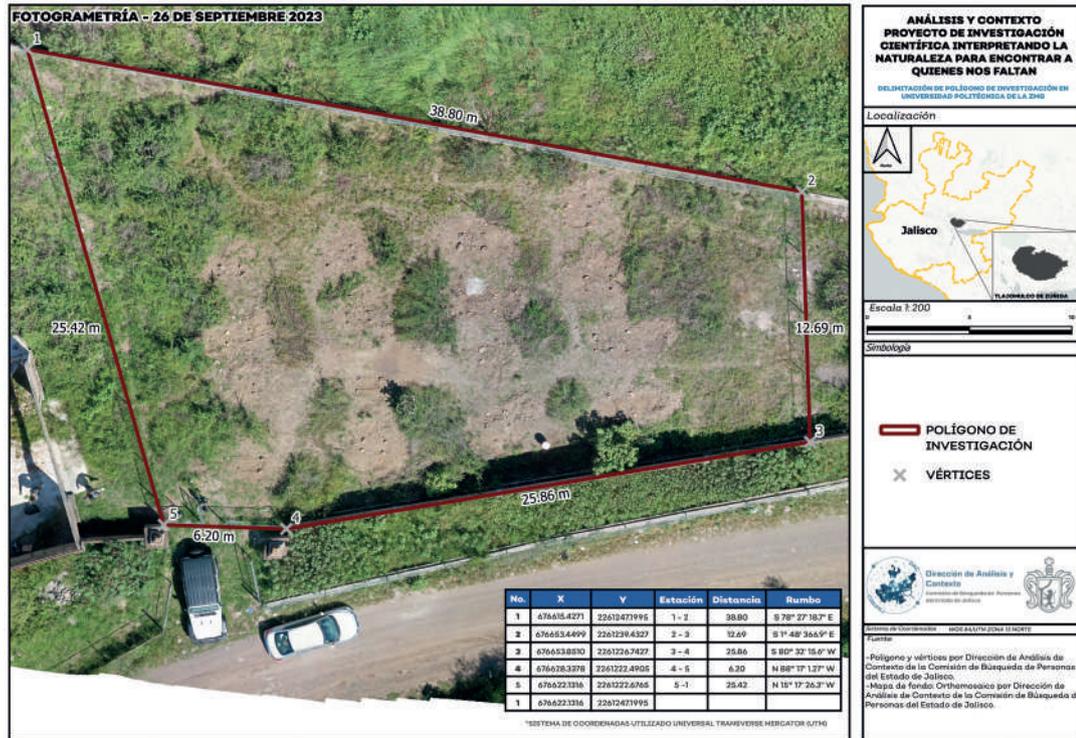
A diferencia del espacio en CUTonalá, la investigación en Tlajomulco de Zúñiga se previó para replicar nuevas características: a dos de los cuerpos se le agregaron piedras; y, a dos más, se les colocó cemento (véase Tabla 2).

También, uno de los ejemplares previamente segmentado se distribuyó entre dos excavaciones —cuidando un parámetro estándar de 50 kilogramos por fosa—. Esto, para emular la experiencia de los hallazgos de víctimas en los que perpetradores se aseguran de fraccionar y dispersar fragmentos, de un mismo cuerpo, en diferentes ubicaciones (Martínez, 2018; Rodríguez, 2023) con el probable propósito de complejizar la identificación de las personas desaparecidas.¹⁰

10

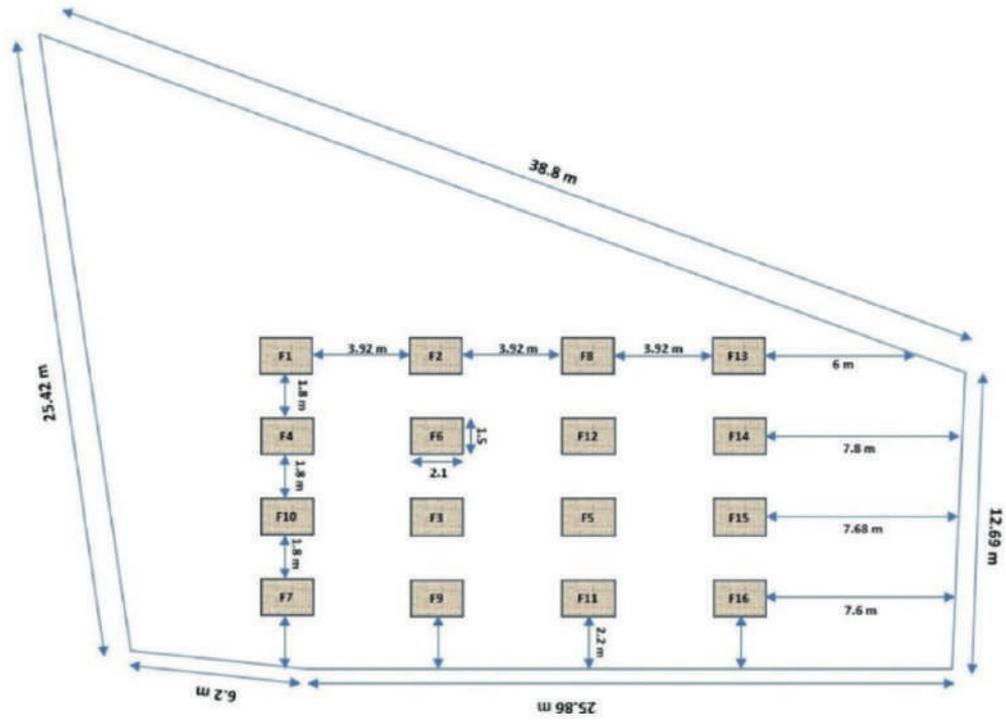
De esta forma, un solo ejemplar ocupó dos fosas de las 16 fosas.

Figura 4. Dimensiones en el Polígono 2



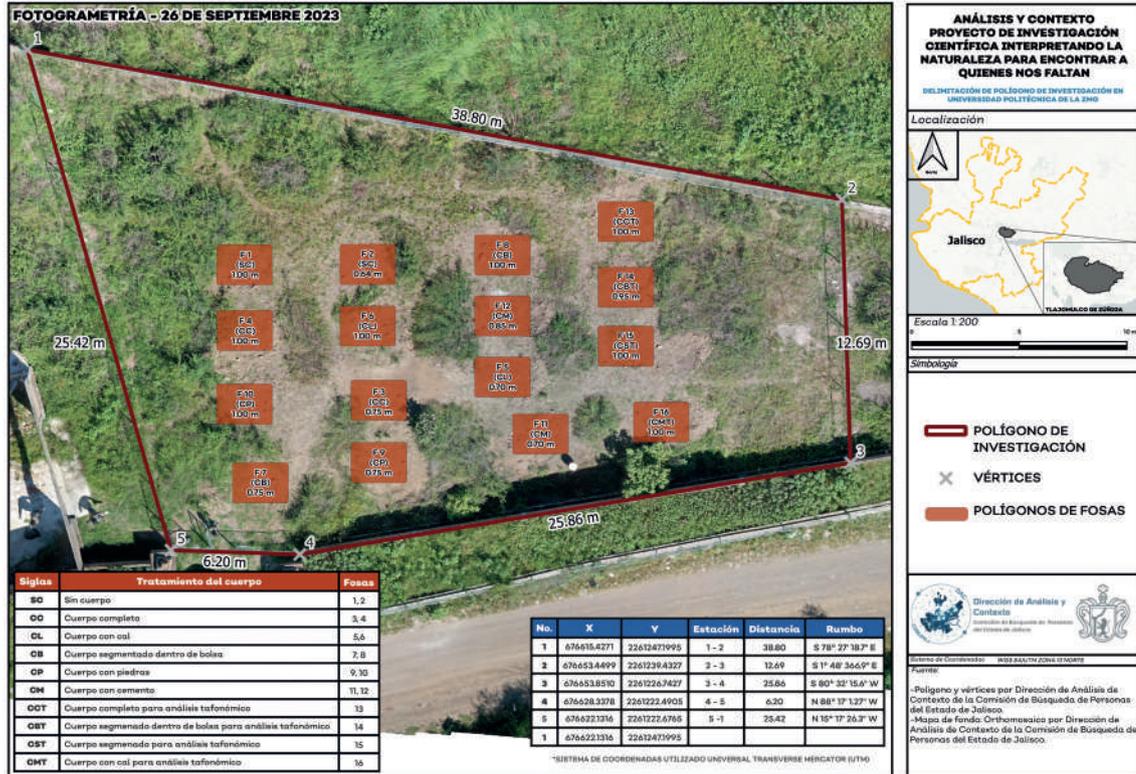
Fuente: elaboración propia de la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Figura 5. Distancia entre fosas en el Polígono 2



Fuente: elaboración propia de la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Figura 6. Distribución de las fosas en el Polígono 2



Fuente: elaboración propia de la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En seis de las inhumaciones se alcanzó una profundidad de 0.75 metros, en otra media docena, se cavaron hasta los 1.25 metros. Sin embargo, en 4 fosas se colocó a los porcinos a 1 metro de la superficie. Lo anterior, con el propósito de realizar un análisis tafonómico por parte del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses (IJCF): un tipo de estudio que permite entender las modificaciones que acontecen después de que fallece un organismo.

Para la distancia entre las fosas se conservaron las mismas medidas que en el Polígono 1, de CUTonalá (véase Figura 7).

Tabla 2. Tratamiento aplicado, profundidad e identificación de fosa por cada ejemplar en el Polígono 2

TRATAMIENTO DEL CUERPO	PROFUNDIDAD	IDENTIFICACIÓN DE FOSA
SIN CUERPO (SC)	0.75	F1
SIN CUERPO (SC)	1.25	F2
CUERPO COMPLETO (CC)	0.75	F3
CUERPO COMPLETO (CC)	1.25	F4
CUERPO CON CAL (CL)	0.75	F5
CUERPO CON CAL (CL)	1.25	F6
CUERPO SEGMENTADO DENTRO DE BOLSA (CB)	0.75	F7
CUERPO SEGMENTADO DENTRO DE BOLSA (CB)	1.25	F8
CUERPO CON PIEDRAS (CP)	0.75	F9
CUERPO CON PIEDRAS (CP)	1.25	F10
CUERPO CON CEMENTO (CM)	0.75	F11
CUERPO CON CEMENTO (CM)	1.25	F12
CUERPO COMPLETO PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO (CCT)	1	F13
CUERPO SEGMENTADO DENTRO DE BOLSA, PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO (CBT)	1	F14
CUERPO SEGMENTADO, PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO (CST)	1	F15
CUERPO CON CAL, PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO (CMT)	1	F16

Fuente: elaboración propia de la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

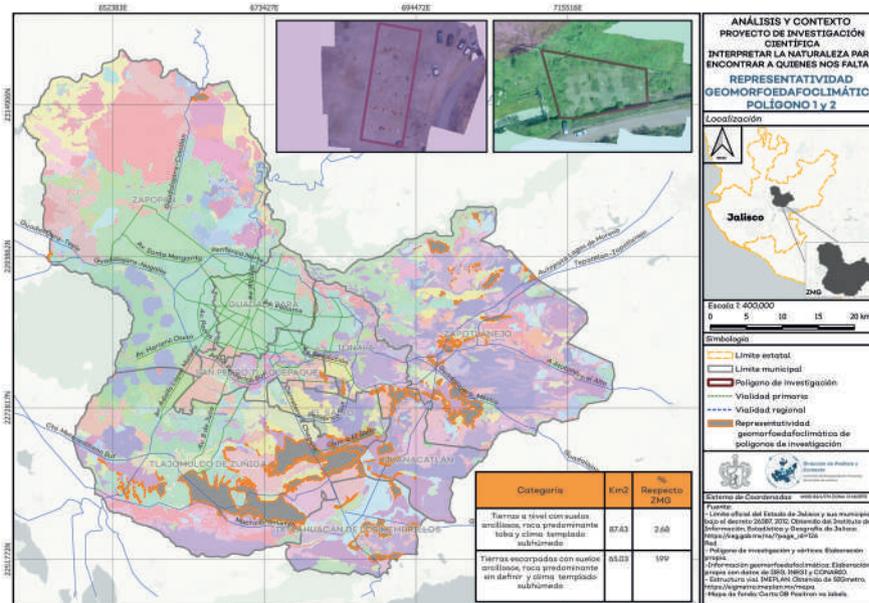
Los muestreos realizados en el segundo espacio se ejecutaron los días 7 y 26 de septiembre, 27 de octubre y 9 de noviembre de 2023, además del 17 de enero de 2024.

El potencial

A partir del Análisis GMEC se identificó que el Polígono 1 es representativo del 2.8 % del AMG (es decir, que esa proporción del territorio comparte las mismas características): tierras a nivel con suelos arcillosos, roca predominante toba y clima templado subhúmedo (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, s.f.; Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2021c; Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2021d; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2023).

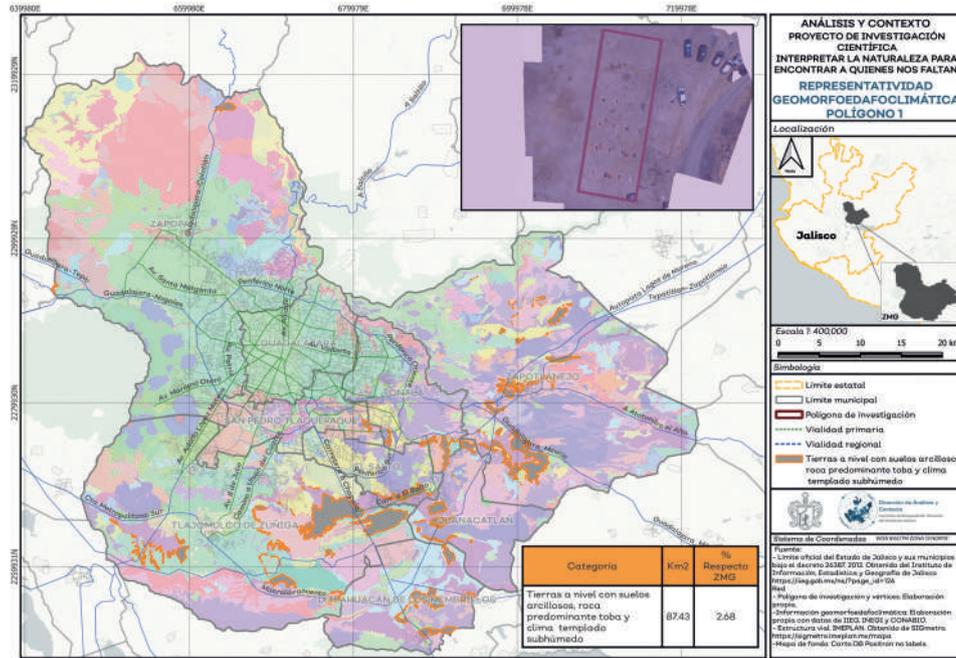
Mientras que, las categorías del Polígono 2, tierras escarpadas con suelos arcillosos, roca predominante sin definir y clima templado subhúmedo, concurren de forma conjunta con 1.9 % de la metrópoli (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, s.f.; Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2021c; Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2021d; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2023).

Figura 7. Representatividad de los polígonos 1 y 2 respecto al Análisis GMEC



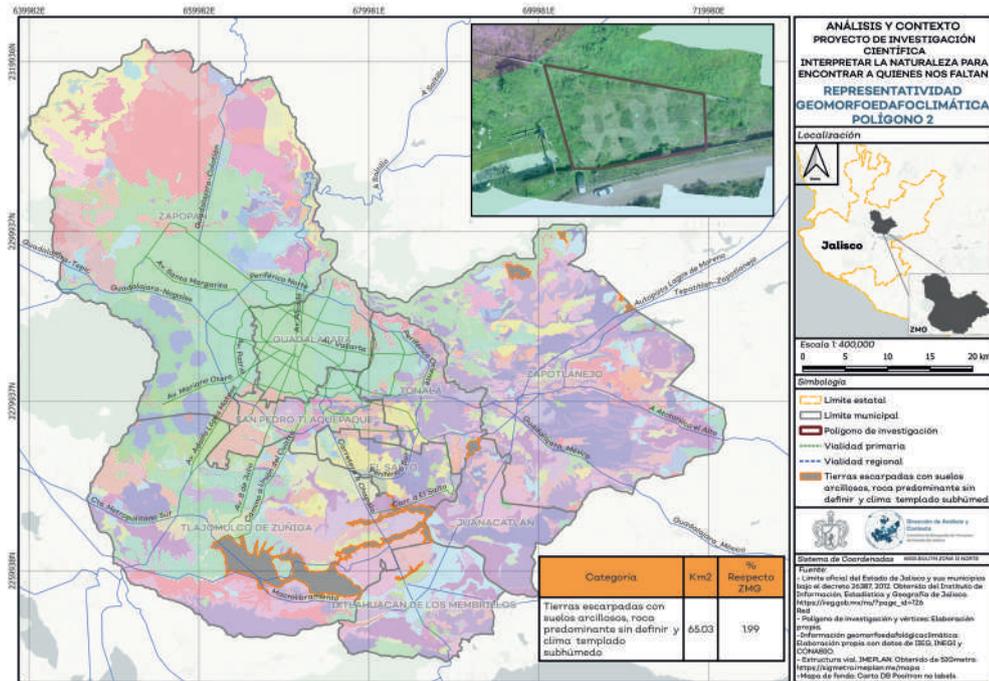
Fuente: elaboración propia de la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Figura 8. Representatividad del Polígono 1 respecto al Análisis GMEC



Fuente: elaboración propia de la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Figura 9. Representatividad del Polígono 2 respecto al Análisis GMEC



Fuente: elaboración propia de la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Derivado del trabajo colectivo, se comenzaron a estudiar los hallazgos iniciales que permitirán la configuración de una certeza científica en los trabajos de búsqueda y localización de personas desaparecidas.

Referencias

- CASTRO SAM, A. S. (2021). *Desapariciones forzadas y hallazgo de fosas clandestinas en México: el caso del Colectivo Madres Buscadoras de Sonora*. Pacha. Revista de Estudios Contemporáneos del Sur Global, 2 (4), 95-109. <https://doi.org/10.46652/pacha.v214.53>
- COMISIÓN ESTATAL DE DERECHOS HUMANOS JALISCO (CEDHJ). (2018). *Recomendación General*. 03/2018. http://historico.cedhj.org.mx/recomendaciones/emitidas/2018/Recos%20Gral/Reco%20Gral_3%202018.pdf
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (CONABIO). (2023). *Portal de geoinformación*. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/clima/climas/clima1mgw
- DIRECCIÓN DE ANÁLISIS Y CONTEXTO DE LA COBUPEJ. (2024). *Parámetros de polígonos de experimentación*. [Base de datos]. (Material no publicado).
- GONZÁLEZ, D., RUIZ, J., CHÁVEZ, L. Y GUEVARA, J. (2019). *Violencia y terror. Hallazgos sobre fosas clandestinas en México 2006-2017*. <https://cmdpdh.org/publicaciones-pdf/cmdpdh-violencia-y-terror-hallazgos-fosas-clandestinas-2006-2017.pdf>
- HERNÁNDEZ, M., ROJAS, F., LARA, V., PORTILLO, R., CASTELÁN, R., PÉREZ, G., AND SALAS, R. (2010). *Estructura porosa y propiedades estructurales de mordenita y clinoptilolita. Superficies y vacío*. <https://www.redalyc.org/pdf/942/94248264011.pdf>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). (2004). *Guías para la Interpretación de Cartografía Edafología*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825231736/702825231736_1.pdf
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). (s.f.). *Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM)*. <https://www.inegi.org.mx/temas/relieve/continental/>
- INSTITUTO DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA Y GEOGRÁFICA (IIEG). (2021a). *Tonalá, diagnostico municipal*. <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2023/02/Tonal%C3%A1-1.pdf>
- INSTITUTO DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA Y GEOGRÁFICA (IIEG). (2021b). *Tlajomulco de Zúñiga, diagnostico municipal*. <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2021/10/Tlajomulco-de-Z%C3%BA%C3%B1iga-1.pdf>



- INSTITUTO DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA Y GEOGRÁFICA (IIEG). (2021c). *Edafología*. https://iieg.gob.mx/ns/?page_id=1227
- INSTITUTO DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA Y GEOGRÁFICA (IIEG). (2021d). *Geología*. https://iieg.gob.mx/ns/?page_id=1224
- LÓPEZ, J. (2002). *Geología aplicada a la Ingeniería Civil*. https://www.academia.edu/42066638/GEOLOGIA_APLICADA_A_LA_INGENIERIA_CIVIL_JUAN_MANUEL_LOPEZ_MARINAS
- MARTÍNEZ, I. (2018, 31 de agosto). *Falta presupuesto para Comisión de Búsqueda en Jalisco: CNDH*. El Informador. <https://www.informador.mx/jalisco/Falta-presupuesto-para-Comision-de-Busqueda-en-Jalisco-CNDH-20180831-0076.html>
- RODRÍGUEZ, L. (2023, 8 de noviembre). *Localizan osamentas en predio de Zapopan*. Diario NTR. https://www.ntrguadalajara.com/post.php?id_notas=205700
- RUIZ, R., PICHARDO, J. Y CAMPOS, K. (2022). *La especialización de las áreas forenses como factor clave en el tratamiento digno para las víctimas encontradas en fosas clandestinas*. <https://www.bing.com/ck/a?!&p=a1795710a5dc2f9bJmltdHM9MTcxNDYwODAwMCZpZ3VpZD0xYjcwNTdhZC1iOTNmLTU4NDctMWFiMi00M2I5YjgzNzY5NmMmaW5zaWQ9NTQzNA&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=1b7057ad-b93f-6847-1ab2-43b9b837696c&p sq=Ruiz+et+al.%2c+2022%2c+La+especializaci%c3%b3n+de+las+%c3%a1reas+for enses+como+factor+clave+en+el+tratamiento+digno+para+las+v%c3%adctimas+ encontradas+en+fosas+clandestinas%2c+Univeriada+Aut%c3%b3noma+de+Quer% c3%a9taro.&u=a1aHR0cHM6Ly9kaWFsbmV0LnVuaXJpb2phLmVzL2Rlc2NhcmdhL2F ydGljdWxvLzgzOTY0NTkucGRm&ntb=1>



Clima







Capítulo 5



Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra: la lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

José Darío Pereira Benítez y Luz Adriana Vizcaíno Rodríguez

Resumen

En este texto se realizan apuntes acerca de algunos de los efectos que pueden tener las condiciones climato-meteorológicas y del entorno natural en los cuerpos o restos humanos depositados en inhumaciones clandestinas del territorio de Jalisco, México, y sus inherentes implicaciones para los procesos de búsqueda, localización e identificación de personas desaparecidas; encontrándose que factores como la cantidad de precipitación, la temperatura, la existencia de cuerpos de agua cercanos a los sitios de inhumación o el tipo de suelo en el que éstos se ubiquen pueden interferir con los procesos de descomposición orgánica a tal grado de, bajo condiciones muy específicas, poder degradar el ADN presente en los restos humanos, complicando o incluso impidiendo la realización de procesos de identificación genética humana, fundamentales en esta clase de hechos.

Ante la imposibilidad de trabajar en sitios de hallazgo reales, las asociaciones y/o causalidades planteadas se desprenden del estudio documental y en campo de las características climáticas y naturales presentes en torno a dos sitios de experimentación

Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra:

La lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

sobre inhumaciones clandestinas en las que se utilizan cadáveres animales para observar los procesos de descomposición de la materia orgánica. A partir de ello se hace una extrapolación.

Palabras Clave: inhumaciones clandestinas, meteorología, contaminación de suelos y agua, degradación del ADN, identificación humana.

1. Dime dónde vives y te diré quién eres: sobre la influencia del clima y el entorno natural en la actividad humana

De manera inevitable, el entorno natural en el que se desenvuelve una sociedad tiene un impacto significativo, incluso definitorio, en cómo ésta y quienes la integran se configuran y evolucionan.

En función de cómo sea este “dónde”, un mismo asunto puede seguir caminos distintos: se le teme a los sismos, a las nevadas, a las tormentas de arena o a los ciclones; se confecciona ropa ligera o abrigadora; se construyen casas de adobe, madera o piedra; se socializa al interior de estas viviendas o en espacios abiertos; se dispone de frutas o de cereales, de carnes o de pescados; hay costumbres e identidades costeñas, ciudadinas o del campo; las personas se desplazan en autos, embarcaciones o hasta teleféricos; se desarrollan tecnologías para adaptarse al entorno o es el entorno el que se adapta.

La lista puede no tener fin y, como se ve, contempla desde grandes cuestiones fundamentales, pasa por el enraizamiento de conductas individuales o sociales y llega, en su nivel más pragmático, a definir distintas vías para conseguir la satisfacción de necesidades básicas y la solución de problemas prácticos.

Así, comprendiendo al medioambiente como “un sistema complejo con múltiples interrelaciones que unen a elementos naturales y sociales” (Leal, 1986, en Sánchez, 2014), es posible afirmar que el éxito o fracaso en los intentos por solventar cualquier complicación, dependerá en gran medida del nivel de conocimiento que se tenga sobre las características del entorno, por ello, el conocer de forma anticipada cualquier cambio venidero es una apuesta a favor del objetivo que se persigue.

Como cualquier otra actividad humana, las acciones de búsqueda, localización e identificación de personas desaparecidas no están exentas de verse impactadas, positiva o



negativamente, por las condiciones ambientales. Así, en este texto se registran y describen las condiciones climáticas y meteorológicas y otros aspectos del entorno natural de los polígonos de experimentación y, con base en registros históricos y algunos aspectos observados en los sitios de inhumación experimentales, se analizan algunas posibles correlaciones entre dos aspectos relevantes en contextos de búsqueda forense experimental.

Para propiciar una comprensión integral del texto por parte de un público amplio, como segundo apartado se presenta un breve repaso de algunos conceptos referentes a los temas abordados.

En un tercer acápite se presentan algunas notas sobre los efectos que las condiciones de clima y tiempo meteorológico así como los compuestos químicos presentes en suelos y aguas pueden tener en las condiciones del terreno y en los procesos de descomposición cadavérica y de material genéticos, tomando como marco referenciales variables como la clasificación climática¹ y la taxonomía de suelos².

En un cuarto apartado se abordan en un nivel descriptivo algunos aspectos climato-meteorológicos e hidrológicos propios de la geografía en que se ubican los sitios de experimentación (Polígono 1 y Polígono 2) y algunos fenómenos de interés observados durante el periodo de experimentación.

Finalmente, se presenta con fines meramente referenciales una extrapolación de las características descritas en el capítulo previo al resto del territorio de Jalisco.

2. Percibir la lluvia (y entender de dónde viene): conceptos básicos para poder interpretar el estado del tiempo

En principio, es necesario diferenciar entre clima y tiempo atmosférico, términos que a menudo se confunden en el habla diaria pero que poseen definiciones técnicas distintas. El clima se

1 Siguiendo el Sistema de Clasificación Climática de Köppen, división genérica basada en los niveles de temperatura y aridez, y como están relacionados a fronteras de vegetación. La aridez es expresada, generalmente, como precipitación efectiva, la cual se calcula como el cociente entre precipitación y temperatura. Los tipos climáticos son definidos por la respuesta de la flora a ellos. Los climas están divididos en seis grandes grupos, conforme a los grandes tipos de vegetación asociados, principalmente determinados por temperaturas críticas y a la estacionalidad de la precipitación. México utiliza este sistema con las modificaciones de E. García (1964) e INEGI (1980).

2 Siguiendo el Sistema de Clasificación *World Reference Base for Soil Resources* (WRB).



Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra:

La lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

refiere a las condiciones promedio de la atmósfera en una región durante largos periodos temporales (generalmente, un mínimo de 30 años³), mientras que el tiempo atmosférico describe unas más específicas y delimitadas a un momento dado (cierto día, determinada hora); es decir, el concepto de tiempo atmosférico engloba la mayoría de las magnitudes que se usan de forma cotidiana por la población general al hablar de “clima”.

Estrechamente ligada se halla la temperatura, que es posible definir como una escala de medición de la energía térmica, comúnmente de aquella presente en la fracción de la atmósfera que se encuentra en contacto con la superficie terrestre (INEGI, 2005). Su medición es realizada de forma constante en estaciones meteorológicas y los registros obtenidos correspondientes a las temperaturas máximas y mínimas de cada día son los datos que se utilizan como insumo para el cálculo de la temperatura media, que puede ser referente a un día (promedio de la temperatura máxima y la mínima registrada en dicha jornada), a un mes (promedio de las máximas y las mínimas de cada día del periodo) o un año específico (promedio de las temperaturas medias de cada uno de los 12 meses del año en cuestión).

La temperatura está estrechamente relacionada con la presión atmosférica que, en términos simples se refiere a la fuerza que ejerce el aire sobre la superficie terrestre.

Por precipitación se entiende a toda caída a la superficie de la tierra de agua procedente de la atmósfera, ya sea que esta se presente en estado líquido o en el sólido, por lo que, además de la lluvia, dentro de este concepto se incluyen fenómenos como las granizadas o las nevadas (INEGI, 2005).

Para comprender el método de medición de qué tan cuantiosa o no resulta una precipitación es posible pensar en una superficie cuadrada de un metro por lado; si sobre este se derrama un litro de agua, en condiciones ideales en el que éste no se esparciera, absorbiera o evaporara, el líquido alcanzaría una altura de un milímetro (mm). Es por ello que precisamente ésta es la unidad básica constituida para medir el volumen de las precipitaciones.

Además de la caída de agua en las formas antes mencionadas; una fase menos visible del ciclo del agua es su regreso a la atmósfera en su forma gaseosa, es decir, como vapor de agua. Éste llega al aire, primordialmente, de dos maneras: en principio, las plantas sueltan en forma de vapor el agua que no utilizan mediante un proceso denominado transpiración; a



esto se suma el vapor surgido de la evaporación del agua presente en el suelo. Al conjunto de estos dos fenómenos estrechamente ligados se denomina evapotranspiración y es responsable de que percibamos el ambiente como seco o húmedo, algo que generalmente se mide en términos porcentuales y bajo la denominación de humedad relativa.

Por otro lado, ya en el campo de la hidrología, pero estrechamente relacionado con las condiciones de humedad, resulta necesario tomar en cuenta la capacidad de infiltración de los suelos, que se define como “el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el subsuelo” (SIAPA, 2014), donde se forman los acuíferos.

Un último concepto de relevancia, perteneciente a la química, es el potencial de Hidrógeno (pH). Éste se refiere al grado de acidez o alcalinidad de una sustancia y se mide en una escala de va del 0 al 14, siendo siete el valor considerado neutro. Los valores por debajo de esta cifra son indicadores de acidez y los mayores a ésta, de alcalinidad.

3. Impacto de variables meteorológicas en los suelos y de éstos y las aguas en escenas de hallazgos

Si bien existen múltiples visiones respecto a qué se comprende por medioambiente, la idea ya mencionada de entender al entorno natural como un sistema con un sinnúmero de interrelaciones complejas entre sus componentes no es extraña: basta pensar en fenómenos como el cambio climático para comprender los efectos de la actividad humana en las condiciones y magnitudes propias del entorno natural.

Para el caso de las búsquedas post mortem de personas desaparecidas realizadas en campo, las condiciones meteorológicas e hidrológicas presentes resultan relevantes en dos frentes principales: por sus efectos sobre las condiciones de los suelos donde se busca y por los cambios que éstas pueden ejercer en los procesos de conservación o descomposición de la materia orgánica, incluyendo, por supuesto, a restos humanos y al ADN contenido en ellos.

En términos generales, los efectos de las variables meteorológicas en los suelos siguen principios como que las áreas de baja presión atmosférica tienden a asociarse con mayor precipitación, mientras que las áreas de alta presión se asocian con condiciones más secas. La cantidad de lluvia generada en función de ello afecta tanto la formación del suelo como su composición y su fertilidad.



Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra:

La lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

Como es sabido, una alta precipitación propicia condiciones de gran humedad en la tierra, lo que facilita procesos de saturación, infiltración y recarga de acuíferos, pero también la aceleración en la descomposición de materia orgánica y la formación de humus.

No obstante, no es tan simple, pues, hay un gran entramado de factores que entran en juego. Zotarelli et al. (2010), lo explican así:

“Los suelos presentan cantidades variables de agua dependiendo de su textura, estructura y contenido de materia orgánica. Después que el suelo es saturado por efecto de riego o lluvia, se presenta un rápido movimiento descendente (drenaje) de una parte del agua del suelo debido a la fuerza de gravedad. Durante el drenaje del agua, la humedad del suelo disminuye continuamente, y la velocidad con la cual acontece está relacionada con la conductividad hidráulica del suelo. Por lo tanto, el drenaje en suelos arenosos siempre será mayor comparado con los suelos arcillosos, por lo que los suelos arenosos presentarán porcentajes de humedad a capacidad de campo menores que los suelos arcillosos”(Zotarelli et al., 2010, p. 1).

Otros factores de importancia son la evaporación y la transpiración de las plantas, debido a que cuando el aire ya contiene grandes cantidades de vapor de agua se tiene un efecto en que el suelo tiene mayor retención. En contraparte, con poca humedad ambiental, los suelos más secos y con menor contenido de materia orgánica, lo que, en contextos de búsqueda en campo, generaría complicaciones para las labores de remoción de tierras.

Por otro lado, en lo referente a la conservación de cuerpos y restos humanos, en principio es preciso recordar que la vida es un proceso dinámico que requiere de adaptación continua o resiliencia para conservarse y, cuando ésta cesa, se observan fenómenos cadavéricos (hipóstasis, livideces, rigidez, enfriamiento, putrefacción, etc.) mediante los que la morfología y aspecto del cuerpo se modifican y deterioran. Sin embargo, debido a la intervención de factores internos o externos, el deterioro cadavérico es individual e impredecible.

En este sentido, las implicaciones del tiempo atmosférico resultan de alta relevancia. De acuerdo con la literatura, la temperatura óptima para la descomposición está entre los 21 y los 38 grados centígrados y es favorecida por niveles altos de humedad. Así, se estima que en el trópico la transformación de cuerpos expuestos hacia un grado de putrefacción de moderada a avanzada ocurre en las 48 horas posteriores al deceso y la reducción esquelética puede darse



en pocas semanas. En otras condiciones, los tiempos varían; siguiendo la regla de Casper, una semana al aire libre equivale a dos en agua y a ocho en suelo (Pachar, 2013).

Otros factores que pueden alterar la curva de enfriamiento cadavérica incluyen la presencia de corrientes de aire; el peso y los niveles de acumulación de grasas de la persona fallecida; la ausencia o el número de capas de ropa presentes en el cuerpo, entre otros.

Varios de estos aspectos también pueden tener incidencia en la recuperación del material genético necesario para ciertos procesos de identificación humana. Como se expone en el *Manual sobre Métodos de Extracción de ADN de Restos Óseos Humanos No Identificados*:

“Las temperaturas bajas durante el periodo de deposición de un resto favorecen su conservación óptima (..) En el lado opuesto, la presencia de elevadas temperaturas puede favorecer la deshidratación parcial del ADN, deteniendo los procesos de hidrólisis” (Comisión Internacional sobre Personas Desaparecidas, 2022, p. 23).

En la Tabla 1 se muestra cómo la temperatura, la humedad y el pH del suelo tienen efectos en el ADN. En términos generales las altas temperaturas, la humedad alta y el pH ácido son las peores condiciones para la conservación del ADN; mientras que, por el contrario, las bajas temperaturas, la humedad baja y el pH neutro benefician su conservación en largos periodos de tiempo. Las distintas combinaciones se muestran a continuación.

Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra:

La lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

Tabla 1. Distintas variables y sus efectos sobre el ADN

Combinación	Temperatura	Humedad	pH	Efectos en ADN
1	Alta	Alta	Ácido	Rápida degradación del ADN, con pérdida significativa de integridad en un corto período
2	Baja	Baja	Neutro	Excelente conservación del ADN durante largos periodos
3	Alta	Baja	Alcalino	Moderada a rápida degradación del ADN
4	Moderada	Alta	Neutro	Conservación moderada del ADN, pero con riesgo de degradación a largo plazo
5	Baja	Alta	Ácido	Conservación limitada del ADN
6	Alta	Baja	Ácido	Rápida degradación del ADN, aunque puede ser más lenta que en condiciones de alta humedad
7	Baja	Baja	Alcalino	Buena preservación del ADN en periodos cortos
8	Moderada	Baja	Neutro	Conservación buena a moderada del ADN

Fuente: elaboración propia.

El mismo documento recoge que las condiciones de alta humedad son desfavorables, toda vez que propician la penetración de otras sustancias orgánicas presentes en el suelo hacia los restos óseos, generando que el material genético pueda presentar “moléculas, además de favorecer la degradación hidrolítica y oxidativa”.

En lo que al suelo respecta, los Vertisoles se caracterizan por ser pesados bajo condiciones alternadas de saturación-sequía, presentando grietas anchas, abundantes y profundas cuando están secos y compuestos por más de 30 por ciento de arcillas expandibles (INEGI, 2021b). El tipo Vertisol contiene algunas sustancias minerales que suponen una ventajosa particularidad que puede facilitar el regreso de la identidad a las personas no identificadas cuyos cuerpos o restos son localizados en inhumaciones ilegales:

“Se ha apuntado la posibilidad de que ciertos compuestos minerales del suelo, como la montmorillonita, la caolinita, el feldespato o el cuarzo, podrían asociarse al ADN protegiéndolo frente a la acción de las endonucleasas. También se ha documentado la posibilidad de que la unión del ADN con ácidos húmicos del suelo causaría el mismo efecto protector, ya que inhiben la acción de enzimas biológicas. Sin embargo,

otros componentes propios del suelo pueden ejercer el efecto contrario” (Comisión Internacional sobre Personas Desaparecidas, 2022, p. 24).

Respecto al arsénico, elemento existente en formas orgánicas e inorgánicas (siendo estas últimas la de mayor presencia y toxicidad), es posible decir que cuenta con propiedades que, según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (2016) propician su distribución en todo tipo de entornos:

- Puede encontrarse en agua de escorrentía o en agua que se filtra a través del suelo.
- Puede permanecer en el aire y en el suelo, que habitualmente es su destino final.
- No puede ser destruido en el ambiente, solamente puede cambiar de forma o adherirse o separarse de partículas.
- Puede cambiar de forma al reaccionar con oxígeno o con otras moléculas presentes en el aire, el agua o el suelo, o por la acción de bacterias que viven en el suelo o el sedimento.

Además, el arsénico tiene la capacidad de provocar procesos oxidativos en el ADN, lo que para los fines de búsqueda, implicaría la imposibilidad de extraer de escenarios de hallazgo muestras útiles para efectos de identificación humana:

“Uno de los componentes de la molécula de ADN que es susceptible a ser dañado por radicales libres es la desoxirribosa 23, la que al oxidarse puede inducir el rompimiento del enlace entre este azúcar y el grupo fosfato del siguiente nucleótido, mecanismo mediante el cual se forman rompimientos de cadena sencilla, los que son reparados por medio de las enzimas correspondientes. Cuando gran cantidad de radicales hidroxilo atacan una parte restringida de la molécula de ADN, se forman numerosos rompimientos de cadena sencilla, que por su cercanía podrían conducir a la formación de rompimientos de cadena doble, los que provocan daño permanente al material genético” (González-Torres et al., 2000, p. 4).

En este punto surge una paradoja, pues previamente se explicó que algunos minerales presentes en suelos brindan una protección al mismo material genético. Siendo el arsénico también un elemento mineral, ¿cuál fenómeno resultaría dominante?



Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra:

La lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

Para Georgina Leyva, ingeniera química del Instituto Politécnico Nacional (IPN) especializada en protocolos de remediación ambiental, en última instancia se trataría de una cuestión de la balanza se inclinaría en términos de copiosidad, un factor altamente variable incluso en pequeñas extensiones de suelo:

“Dependería de la cantidad o la concentración de cada compuesto. Si predominan los que tienen propiedades de conservación (el material genético) perduraría, pero si es mayor la concentración de arsénico u otros compuestos de efectos similares, se degradaría, pero esas concentraciones en el suelo pueden variar mucho de un metro a otro” (comunicación personal, 05 de junio 2024).

4. Descifrando el lenguaje de la arcilla: caracterización ambiental de los sitios de experimentación, descripción de fenómenos ocurridos y algunas posibilidades teóricas

El sitio de experimentación denominado Polígono 1 se localiza en el municipio de Tonalá, Jalisco, sobre suelos arcillosos de tipo Vertisol y con una particular ubicación entre dos cuerpos de agua: la presa *Las Rucias* y la presa *El Cajón*.

Por su parte, el Polígono 2 se encuentra en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, a escasa distancia de la ribera norte de la laguna de Cajititlán, también sobre suelos de la misma clasificación⁴ con estructura masiva y alto contenido de arcilla color negro, gris oscuro o café rojizo, así como con susceptibilidad a la erosión y alto riesgo de salinización.

Al igual que la mayor parte del área metropolitana de Guadalajara, ambos sitios se ubican dentro de una amplia área con un clima caracterizado como semicálido subhúmedo del grupo de los templados con fórmula climática $[A(C)w_0(w)]^5$ lo que la define como una región con:

4 Una descripción más detallada de las características climáticas y meteorológicas del Polígono 2 puede consultarse en el artículo titulado *Monitoreo de variables ambientales*, Cajititlán Jalisco, México.

5 Dentro del Sistema de Clasificación Climática de Köppen con las adaptaciones y modificaciones propuestas por Enriqueta García se establecen combinaciones de letras mayúsculas y minúsculas, donde algunas de ellas pueden estar entre paréntesis, llevar un apóstrofe y/o un número (como subíndice) que, en conjunto expresan describen y denominan el clima de un área. Se forma con los símbolos del grupo, subgrupo, tipo y subtipo.



- Una temperatura media del mes más frío mayor de 18 grados Celsius (°C).
- Una temperatura media anual de entre 18°C y 22°C.
- Un régimen de lluvias de verano, siendo escasas el resto del año, particularmente en el invierno, cuando alcanzan menos del 5 por ciento.
- Un grado de humedad⁶ menor de 43.2.

4.1 Polígono 1: una posible lucha entre dos fuerzas naturales

Las Inhumaciones en el Polígono 1 tuvieron lugar el último día de mayo de 2023, mes que se caracteriza por presentar condiciones históricas de altas presiones que elevan las temperaturas y lo convierten en el más cálido del año para la región.

La temperatura media mensual que se presentó en éste durante el año transcurrido desde el inicio de las actividades experimentales fluctuó entre los 18 y los 25 grados centígrados; mientras que la precipitación promedio fue de 50.63 mm.

La lluvia en Jalisco durante mayo suele ser baja; presentándose algunos episodios de lluvia dispersa que derivan en valores medios mensuales de caída de agua rondan los 20 mm, pero a partir de entonces, los valores históricos indican la presencia de precipitaciones intensas durante, al menos los tres meses subsecuentes.

No obstante, sin aparente relación entre la vigencia de la estación húmeda o la seca ni con los niveles de infiltración o recarga del acuífero ubicado en el subsuelo del sitio, durante algunos de los muestreos hechos en el Polígono 1 se detectó la existencia de al menos seis fosas en condiciones de saturación, es decir, altos niveles de agua ocupando los espacios porosos del subsuelo. Éstas pueden identificarse en la Figura 1, tratándose de las ubicadas en las tres filas de inferiores que presentan puntos con tonalidades ocre.

6 Magnitud que en el Sistema de Clasificación Climática de Köppen se obtiene del cociente de la precipitación entre la temperatura.

Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra:
 La lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

Figura 1. Fotografía aérea del Polígono 1 donde se aprecian marcas del terreno coincidentes con las fosas que han presentado condiciones de saturación



Fuente: Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

Mediante un análisis geoespacial es posible detectar señales en el terreno que permiten inferir la existencia de flujos hidrológicos subterráneos que conectan los cuerpos de agua en medio de los cuales se encuentra el polígono referido, mismos que presentan condiciones de degradación ambiental.

El estudio “*El deterioro de los cuerpos de agua en Jalisco y los posibles riesgos en la salud: El caso de la presa las Rucias en el municipio de Tonalá*” (Morales-Amaya et al., 2016) demostró la presencia en dichas aguas de cromo (Cr), mercurio (Hg), níquel (Ni), cobre (Cu), plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As). Estos últimos tres se detectaron en niveles iguales o superiores a los límites máximos permisibles establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas

NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMANART-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997 referentes al grado de contaminantes en descargas de aguas residuales establecidos.

Es dentro de este contexto que, a continuación, se exponen algunos planteamientos correlacionales que, según sostiene la literatura existente, pueden originarse en función de los niveles de polución descritos.

Tabla 2. Niveles de metales pesados detectados en la presa “Las Rucias” en Tonalá, Jalisco

Compuesto químico	Límites de contaminantes permisibles NOM (mg/L)	Número de muestreo	Valores encontrados (mg/L)
Plomo (Pb)	0.5 a 1.0	1	4.0
		2	11.0
		3	9.0
		4	8.0
Cadmio (Cd)	0.2 a 0.4	1	1.0
		2	4.0
		3	2.0
		4	2.0
Arsénico (As)	0.2 a 0.4	1	0.5
		2	0.5
		3	0.4
		4	0.4

Fuente: Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco con información de Morales-Amaya et al. (2016).



Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra:

La lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

4.2 Polígono 2: Abismalmente opuestos estando (casi) juntos

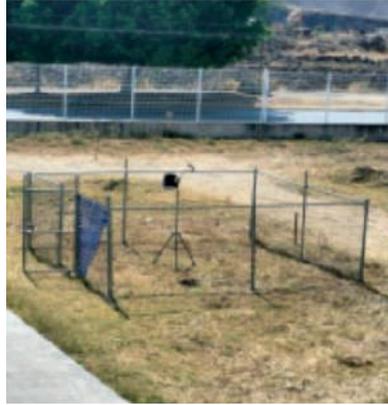
En el Polígono 2 el valor medio mensual de la temperatura para el periodo comprendido entre agosto de 2023 y marzo de 2024 osciló entre 17 y 23 grados centígrados. Respecto a la precipitación pluvial, se tuvo un promedio mensual de 40.6 milímetros.

En conformidad con el temporal de lluvias, el registro más alto se obtuvo en el mes de agosto de 2023 con una precipitación total de 614,8 mm. Se cuenta con registros de 12 días con precipitación pluvial en septiembre de 2023 y de 15 días durante el mes de octubre del mismo año. No se observaron registros de precipitación en el resto de los meses del período observado. Estos datos meteorológicos fueron recolectados a partir de la base de datos de la estación automática de la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara [coordenadas geográficas Latitud 20°26'25.73" Norte, Longitud: 103°18'29.8" Oeste (20.44048 Norte, 103.30828 Oeste)], misma que ostenta las siguientes características:

- Marca: Davis Instrument.
- Modelo: Pro 6162.
- Sensores: temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, presión, radiación solar y UV.
- Altitud: 1 mil 559 m s. n. m.
- Altura sobre el terreno del sensor temperatura y humedad: Dos metros.
- Altura sobre el terreno del anemómetro 2.50 metros.
- Tipo de suelo 0 -100 m: nivelado, césped.
- Tipo de suelo 100 m - 1 km: semiurbano.
- Tipo de suelo 1 km - 10 km: urbano, semiurbano. áreas urbanas descubiertas.
- Tipo y condiciones de vegetación: suelo natural cubierto con hierba y césped nativo.
- Descripción de la topografía y entorno local: terrenos baldíos en los alrededores. Área urbana localizada a 1 km al norte de la estación.
- Dirección de los vientos dominantes: oeste-suroeste.



Figura 2. Estación climatológica marca Davis Instrument, modelo Pro 6162, ubicada en la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara



Fuente: Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara.

A finales de abril de 2024, tras poco más de siete meses de haber sido hechas las inhumaciones, se extrajo el contenido de dos de las fosas, identificadas con los números 14 y 16 en la Figura 3.

Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra:

La lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

Figura 3. Distribución de las fosas en el Polígono 2



Fuente: Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

Los cuerpos de los animales fueron recuperados en condiciones de descomposición notoriamente discrepantes; mientras que el que fue dispuesto dentro de una bolsa plástica fue recuperado en notorias condiciones de descomposición, pero con una amplia cantidad de tejido, del que fue colocado con cal se recuperó una cantidad ínfima de éste y tan solo unos pocos fragmentos de material óseo de pequeñas dimensiones. Un hecho que llamó particularmente la atención fue la presencia, en la fosa 16, de una gran cantidad de agua.

Figura 4. Condiciones en las que se encontró la fosa 16 del Polígono 2 durante las exhumaciones realizadas el 30 de abril de 2024



Fuente: Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra:

La lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

Figura 5. Comparativa del estado en el que fueron recuperados los cuerpos en las exhumaciones realizadas en el Polígono 2 el 30 de abril de 2024.

A) (Izquierda) El cerdo inhumado dentro de una bolsa plástica

B) (Derecha) El inhumado con cobertura de cal



Fuente: Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

La existencia de esta cavidad acuosa, abre la puerta a que una situación análoga a la planteada para el Polígono 1 podría llegar a ocurrir en su par, puesto que también tiene una localización cercana a canales visiblemente contaminados y a un cuerpo de agua, la laguna de Cajititlán, con condiciones que podrían resultar desfavorables para la preservación de restos orgánicos y de las moléculas que posibilitan la identificación genética de personas desaparecidas. Cabe acotar que el flujo de las aguas determina su paso por el sitio de experimentación antes de desembocar en la laguna.

De nueva cuenta, se insiste en que se exponen premisas de corte teórico susceptibles de tener lugar, mas no de hechos factuales empíricamente comprobados a la fecha.

Los aspectos de interés presentes en la laguna de Cajititlán, los cuales se basan en el monitoreo realizado por el Gobierno de Jalisco mediante su Sistema de Calidad del

Agua, incluyen mediciones de pH que denotan un estado de acidez continuo, así como la concentraciones de mercurio que sobrepasan los límites estipulados en las normativas sobre descargas industriales.

Sobre los valores del pH y, la Comisión Internacional de Personas Desaparecidas (2022) también establece que la existencia de valores neutros o apenas alcalinos en escenas de fosas clandestinas “favorece la preservación del ADN; sin embargo, una disminución paulatina del pH provoca la degradación de la hidroxiapatita de los huesos o dientes”.

Figura 6 Niveles de pH presentes en el centro de la Laguna de Cajititlán en el periodo de agosto de 2023 a febrero de 2024



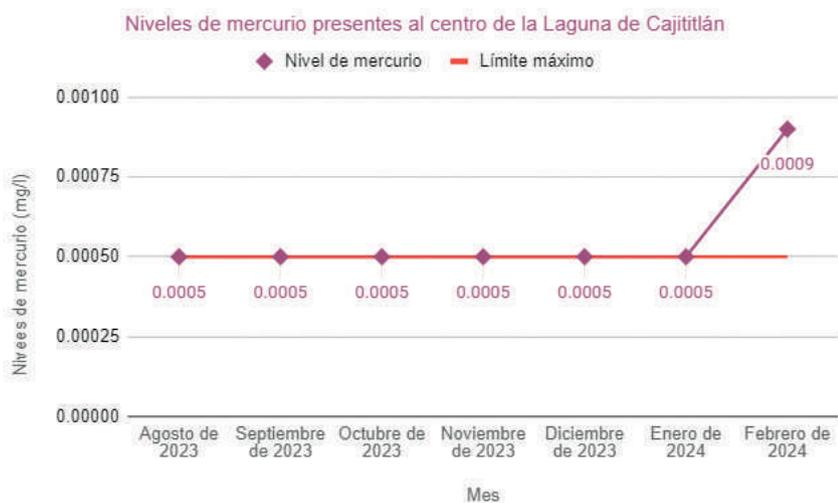
Fuente: elaboración propia con datos del Sistema de Calidad del Agua del Gobierno de Jalisco.

Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra:

La lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

En tanto, algunos estudios sugieren que metales pesados como el mercurio también pueden provocar la degradación del ADN (Frías-Espericueta et al., 2022)

Figura 7. Niveles de mercurio presentes en el centro de la Laguna de Cajititlán en el periodo de agosto de 2023 a febrero de 2024



Fuente: elaboración propia con datos del Sistema de Calidad del Agua del Gobierno de Jalisco.

5. Compartir la tierra, ¿compartirlo todo?: similitudes del entorno entre los Polígonos 1 y 2 y el resto del estado

Como ha quedado de manifiesto, a lo largo de este capítulo se consideraron algunos aspectos del entorno ambiental que funcionan como variables independientes respecto a variables dependientes como el estado de los suelos en determinado momento, el grado de conservación de los cuerpos o restos humanos y la preservación o degradación del ADN presente en ellos. Éstas son:

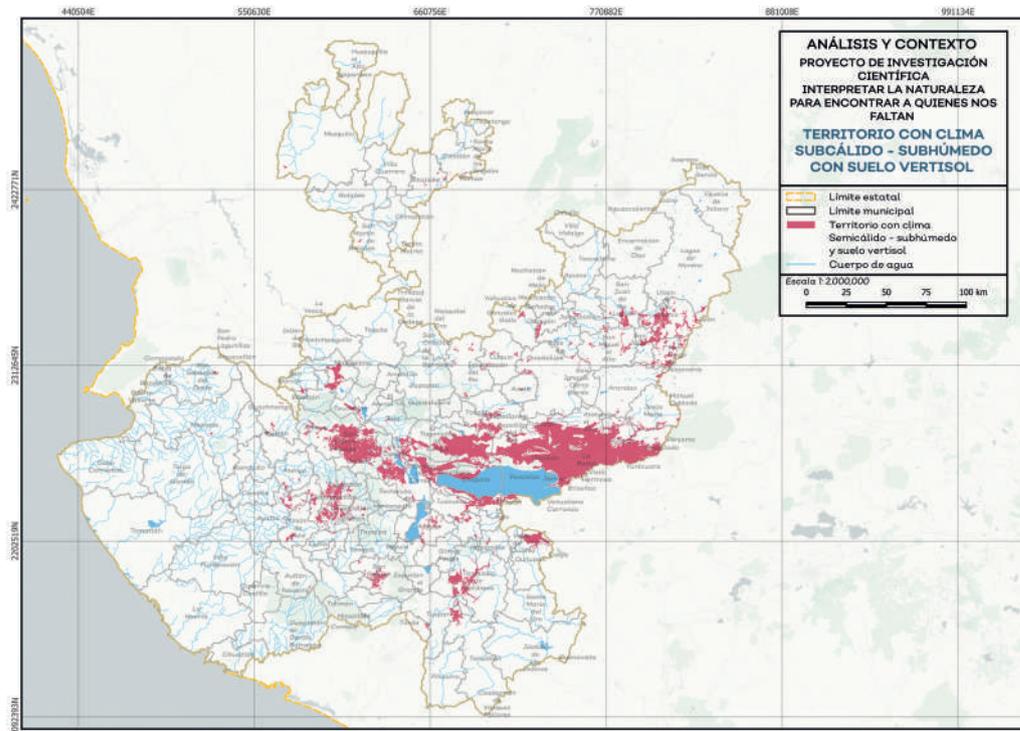
- El tipo de clima existente, acorde al Sistema Köppen con las adaptaciones y modificaciones propuestas por Enriqueta García, y sus rangos asociados de magnitudes meteorológicas.
- El tipo de suelo existente, acorde al Sistema de Clasificación World Reference Base for Soil Resources (WRB).
- La presencia y calidad de cuerpos de agua cercanos.

De los 80 mil 222 kilómetros cuadrados que componen el territorio de Jalisco (IIEG, 2024), 5 mil 886.60 de ellos (el 7.70 por ciento del estado) comparten las mismas características presentes en los Polígonos 1 y 2. Como se observa en la Figura 10, estos se extienden mayormente por las regiones Ciénega y Valles del estado, así como amplias zonas del sur y el oriente del área metropolitana de Guadalajara.

Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra:

La lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

Figura 8. Mapa de Jalisco y sus cuerpos de agua con identificación de territorios coincidentes con las características de clasificación climática y de taxonomía de suelos presentes en los sitios de experimentación



Fuente: elaboración de la Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco, con datos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), el Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco (IIEG) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Este paralelismo implica que algunos planteamientos hechos que ciñen su validez a las características particulares de los Polígonos 1 y 2, como es el caso de los cambios en la estructura de los suelos en función de las condiciones de humedad propiciadas por la temporalidad de las lluvias, son susceptibles de extrapolarse específicamente a estos sitios; no obstante, a grandes rasgos la mayoría de las proposiciones pueden adaptarse para una aplicación más general.

A modo de ejemplo puede mencionarse que, en el caso de regiones con clima tipo cálido subhúmedo, el segundo con mayor presencia en la entidad (ver Figura 10), abarcando prácticamente la totalidad de la costa jalisciense, la principal diferencia con las condiciones de los sitios de experimentación radicaría en la presencia de una temperatura media anual más alta, siendo por regla general mayor de 22 °C, lo que para los propósitos identificación genética, implicaría una carrera más apretada contra el reloj.

Figura 9. Superficie del estado de Jalisco por tipo o subtipo de clima y régimen de lluvia

Tipo o subtipo, régimen de lluvia	Clave	Total
		100.00
Cálido subhúmedo con lluvia de verano	A(w)	23.11
Semicálido subhúmedo con lluvia de verano	ACw	44.66
Templado subhúmedo con lluvia de verano	C(w)	18.61
Semiseco muy cálido y cálido con lluvia de verano	BS1(h')	3.64
Semiseco semicálido con lluvia de verano	BS1h	5.56
Semiseco templado con lluvia de verano	BS1k	4.42

Fuente: Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta de Climas. INEGI.

Al final, dentro de un entramado de relaciones aparentemente sin fin entre fenómenos naturales y actividades humanas, siempre habrá tantos granos en la arcilla como nubes en el cielo y tantas maneras de interpretar la naturaleza como posibilidades de que un viento a favor permita un encuentro que termine con la búsqueda.

Conclusiones

- El contar con la mayor cantidad de información posible sobre factores propios del entorno natural como las condiciones climato-meteorológicas de la zona, sus particularidades hidrológicas, la taxonomía de los suelos predominantes, los compuestos químicos presentes en éstos y en cuerpos de agua cercanos y los niveles de acidez o alcalinidad del terreno se configura como una herramienta útil para lograr despliegues óptimos durante acciones de búsqueda y localización *post mortem* de personas desaparecidas y para alcanzar una mayor eficiencia de las innovaciones tecnológicas tendientes a facilitar estas labores que se encuentran en desarrollo.
- Mediciones de fenómenos meteorológicos como la temperatura media, los niveles de precipitación y la humedad relativa pueden ser usados para estimar el estado de plasticidad o contracción de los suelos y su facilidad o dificultad asociada para cavar en ellos.
- Estos mismos aspectos meteorológicos, además de la composición de los suelos y sus valores de pH, impactan en los procesos de conservación o descomposición de cuerpos y restos humanos y del material genético presente en ellos (indispensable para los procesos de identificación genética; siendo las temperaturas altas una de las condiciones más desfavorables que puede presentarse dentro de este entramado de relaciones.
- Resulta necesario considerar la existencia de cuerpos de agua cercanos a lugares de inhumaciones y el estado de conservación de los mismos, haciendo particular énfasis en la presencia de valores de pH fuera de norma o de contaminantes como metales pesados.
- Las exhumaciones que se realicen en un futuro en los sitios de experimentación brindarán una oportunidad poco frecuente para ahondar en líneas de investigación como los niveles de presencia en suelos de metales pesados como el arsénico, el cadmio, el mercurio y el plomo, y su potencial para degradar el ADN necesario para realizar procedimientos efectivos de identificación humana.

- En sentido contrario, las mismas exhumaciones permitirían analizar la capacidad de protección del material genético requerido para procesos de identificación brindado por minerales como la montmorillonita y la caolinita, de presencia frecuente en las unidades de suelo tipo Vertisol.
- Climas de alta prevalencia en el territorio jalisciense, como el cálido subhúmedo y el semicálido subhúmedo son poco favorables para la ralentización de los procesos de descomposición orgánica y la óptima conservación de material genético.
- El 7.70 por ciento del territorio de Jalisco, equivalente a 5 mil 886.60 kilómetros cuadrados, comparte las mismas condiciones de clasificación climática y taxonomía de suelos que los presentes en los sitios de experimentación Polígono 1 y Polígono 2, por lo que algunos aspectos de su entorno natural pueden extrapolarse.

En resumen, en los párrafos anteriores encontramos la importancia de las caracterizaciones de polígonos con base en humedad, pH y temperatura como un área de oportunidad que puede ayudar a eficientar los procesos de búsqueda de personas desaparecidas. Hacer este tipo de ejercicios, también, ayuda a mapear los polígonos prioritarios para la búsqueda y tener referencias de mediciones a lo largo del tiempo, lo cual, a su vez, permitirá contar con datos más precisos sobre el estado de conservación de ADN que se pueden encontrar en el territorio a intervenir. Todo esto esperando que la ciencia, la teoría y los datos sirvan para dar un poco de certeza a la búsqueda.

Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra:

La lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

Referencias

- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. (2015). *Public Health Statement for Arsenic* <https://wwwn.cdc.gov/TSP/PHS/PHS.aspx?phsid=18&toxid=3>
- CENTRO NACIONAL DE METEOROLOGÍA. (s.f.). *Dirección de metrología de fuerza y presión*. Consultado el 30 de mayo de 2024. Disponible en: <https://www.cenam.mx/FYP/Atraccion/magnitud6.aspx#/FYP/Principal/Principal.aspx/Divisi%C3%B3n%20de%20Metrolog%C3%ADa%20de%20Fuerza%20y%20Presi%C3%B3n>
- COMISIÓN INTERNACIONAL SOBRE PERSONAS DESAPARECIDAS. (2022). *Programa de capacitación y mentoría en identificación humana con la Fiscalía General de la República. Manual sobre Métodos de Extracción de ADN de Restos Óseos Humanos No Identificados*. <https://www.icmp.int/wp-content/uploads/2022/08/Handbook-Mexico.pdf>
- DIRECCIÓN DE ANÁLISIS Y CONTEXTO DE LA COMISIÓN DE BÚSQUEDA DE PERSONAS DEL ESTADO DE JALISCO. (2024). *Parámetros de polígonos de experimentación*. [Base de datos]. (Material no publicado).
- DIRECCIÓN DE ANÁLISIS Y CONTEXTO DE LA COMISIÓN DE BÚSQUEDA DE PERSONAS DEL ESTADO DE JALISCO. (2024b). *Matriz ambiental de Cajititlán*. [Base de datos]. (Material no publicado).
- DIRECCIÓN DE ANÁLISIS Y CONTEXTO DE LA COMISIÓN DE BÚSQUEDA DE PERSONAS DEL ESTADO DE JALISCO. (2024c). *Matriz ambiental de Tonalá*. [Base de datos]. (Material no publicado).
- FRÍAS-ESPIRICUETA, M., AGUILAR-JUÁREZ, M., ROSS-MUÑOZ, S., OSUNA-MARTÍNEZ, C., DELGADO-ÁLVAREZ, C., BOJÓRQUEZ, C., BAUTISTA-COVARRUBIAS, J., OSUNA-LÓPEZ, I. & NIEVES-SOTO, M. (2022). *El mercurio y su efecto en el material genético*. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 30(86), mayo-agosto 2022, e3437 -Revisiones Científicas.
- GONZÁLEZ-TORRES, M. C., BETANCOURT-RULE, M., & ORTIZ-MUÑOZ, R. (2000). *Daño Oxidativo y Antioxidantes*. *Bioquímica*, 25(1), 3-9.
- INSTITUTO DE ASTRONOMÍA Y METEOROLOGÍA. (s.f.). *Perspectiva meteorológica para Jalisco de septiembre 2023*. <http://iam.cucei.udg.mx/noticia/perspectiva-meteorologica-para-jalisco-de-septiembre-2023>
- INSTITUTO DE ASTRONOMÍA Y METEOROLOGÍA. (s.f.). *Perspectiva meteorológica de Jalisco para mayo 2024*. <http://iam.cucei.udg.mx/noticia/perspectiva-meteorologica-de-jalisco-para-mayo-2024>



- INSTITUTO DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA Y GEOGRÁFICA DE JALISCO. (2021). *Edafología*. https://iieg.gob.mx/ns/?page_id=1227
- INSTITUTO DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA Y GEOGRÁFICA DE JALISCO. (2023a). *Tlajomulco de Zúñiga*. Diagnostico municipal. Agosto 2023. <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2023/08/Tlajomulco-de-Z%C3%BA%C3%B1iga.pdf>
- INSTITUTO DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA Y GEOGRÁFICA DE JALISCO. (2023b). *Tonalá*. Diagnostico municipal. Agosto 2023. <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2023/08/Tonal%C3%A1.pdf>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. (2021). *Aspectos geográficos*. Jalisco. https://en.www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_14.pdf
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. (2021b). *Diccionario de datos de climas*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825199258.pdf
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. (s.f.). *Espacio y datos de México* [Mapa online]. 1:10.000. Consultado el 21 de mayo de 2024. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espaciodydatos/default.aspx>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. (2005). *Guía para la interpretación de cartografía Climatológica*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825231781/702825231781_1.pdf
- MARTÍN, F. (2018, 10 de diciembre). *El radical hidroxilo (OH) se recicla en la atmósfera*. *Meteored*. <https://www.tiempo.com/ram/486041/el-radical-hidroxilo-oh-se-recicla-en-la-atmosfera/>
- MORALES-AMAYA, C., GARIBAY-ALONSO, R., GUZMÁN C. & ASTUDILLO-SÁNCHEZ, P. (2016). *El deterioro de los cuerpos de agua en Jalisco y los posibles riesgos en la salud: El caso de la presa las Rucias en el municipio de Tonalá*. *Revista Acta de Ciencia en Salud*, 2016; 1(1): p. 33-36.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. (2017). *Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas*. https://library.wmo.int/viewer/60338?medianame=1203_es_#page=1&viewer=picture&o=bookmark&n=0&q=



Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra:

La lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

- SÁNCHEZ, J. (Coord.). *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL*. Libros de la CEPAL, N° 158 (LC/PUB.2019/18-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2019.
- SISTEMA INTERMUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO. (2014). *Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades. Infiltración pluvial*. https://siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_5_infiltracion_pluvial.pdf
- SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA DE LA GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. (2024). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cajititlán (1403), Estado de Jalisco*. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/jalisco/DR_1403.pdf
- SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA DE LA GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. (2024). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Toluquilla (1402), Estado de Jalisco*. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/jalisco/DR_1402.pdf
- ZOTARELLI, L., DUKES, D. & MORGAN, T. (2010). *Interpretation of Soil Moisture Content to Determine Soil FieldCapacity and Avoid Over-Irrigating Sandy Soils Using Soil Moisture Sensors: AE460/AE460, 2/2010*. EDIS. University of Florida.



Geofísica







Capítulo 6



Observación forense experimental utilizando técnicas de prospección geofísica de alta resolución

Ana Luz Caccavari Garza¹, Martín Cárdenas Soto², Gerardo Cifuentes Nava¹, David Escobedo Zenil²,
José Antonio Martínez González² y Jesús Sánchez González²

Contribución arbitrada

Resumen

En este capítulo se presenta un estudio geofísico en el que se utilizaron la Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) y la Tomografía de Interferometría de Ruido Sísmico Ambiental (TIRSA) para identificar la presencia de suelos perturbados en 16 puntos en los que se simuló experimentalmente la existencia de sitios de inhumación clandestina. El empleo de estos dos métodos de alta resolución en un sitio controlado se dio con el fin de entender mejor su funcionamiento y posibilidades de aplicación en contextos de búsqueda forense.

El método TRE mide la resistividad eléctrica del terreno y se ha comprobado que resulta eficiente para la detección de fosas, pese a que los tiempos de adquisición de datos no son tan cortos. El método TIRSA mide la velocidad de las ondas sísmicas S (Vs) a partir del ruido sísmico, pero no existen referencias en la literatura sobre su uso en las ciencias forenses. Con la integración de ambos métodos se buscó eliminar ambigüedades generadas por medir una sola propiedad física.

1 Instituto de Geofísica, UNAM

2 Facultad de Ingeniería, UNAM

RIIF (Red Iberoamericana de Investigadores Forenses, CYTED)

Las mediciones hechas con TRE presentaron rasgos de baja resistividad (alta conductividad), mientras que dos de las tres distintas configuraciones de medición probadas en el caso de la TIRSA mostraron anomalías de baja velocidad. Toda vez que ambos parámetros se asocian a la presencia de suelos perturbados, se concluye que la aplicación conjunta de estos dos métodos propios de la geofísica puede utilizarse para la detección de fosas clandestinas. Los hallazgos motivan a mejorar las técnicas de adquisición y procesamiento de datos para fines de búsqueda forense.

Palabras clave: resistividad eléctrica, geofísica de alta resolución, interferometría sísmica, tomografía de ruido ambiental, tomografía de resistividad eléctrica, ruido sísmico.

La geofísica en las ciencias forenses

La geofísica se puede definir como “la aplicación de métodos geofísicos no invasivos para estudiar, localizar y mapear objetos no visibles que suelen estar debajo del suelo, del agua, de los muros, etc.” (Barone, 2017; Dick et al., 2015; Khaldouy et al., 2017; Larson et al., 2011; Pringle et al., 2016). Dicho en otras palabras, la geofísica consiste en medir desde la superficie alguna propiedad física del subsuelo para obtener información de éste y de lo que ahí se encuentre. Existen diferentes métodos geofísicos que se distinguen porque cada uno mide una propiedad física diferente, como puede ser la densidad, la resistividad eléctrica, la velocidad de las ondas sísmicas (Reynolds, 2011; Telford et al., 1990), y se elige uno según el caso de estudio.

Cuando el subsuelo es perfectamente homogéneo, la propiedad física medida se mantendrá igual, mientras que si en el subsuelo se encuentra “algo” cuyas propiedades físicas son diferentes a las del entorno, los instrumentos registran variaciones o contrastes de propiedades (Leucci, 2020). A estas variaciones se les llama “anomalías” y se pueden asociar con diversas características de la zona estudiada, tales como cortes en las capas del subsuelo, material que ha sido removido, presencia de agua, cambios en los materiales o la presencia de objetos enterrados (López-Hidalgo et al., 2002).



Aunque existen más, los métodos geofísicos utilizados con fines forenses se pueden dividir en magnetometría, gravimetría, métodos sísmicos, métodos de resistividad eléctrica y métodos electromagnéticos (Fenning & Donnelly, 2004; Ruffell & McKinley, 2008). Sin embargo, hay que considerar que esto ha ido cambiando con el tiempo, ya que algunos métodos no han sido suficientemente probados para fines forenses como para evaluar su eficiencia (Reynolds, 2011). Actualmente, con el desarrollo tecnológico se han construido instrumentos geofísicos que adquieren datos de forma más versátil y con mayor resolución. Por ello, el método sísmico, escasamente promovido para fines forenses, podría ser uno de los más prometedores en este campo, en especial, si se utiliza el ruido sísmico en vez de fuentes sísmicas o percusiones en el subsuelo.

En la Tabla 1 se mencionan los métodos geofísicos utilizados en las ciencias forenses, qué propiedad física miden, para qué tipo de estudio son recomendables y cuáles son sus principales limitantes. Una descripción más amplia del potencial de cada método relacionado con este tema puede ser encontrada en Caccavari et al. (2022).

Tabla 1. Métodos geofísicos utilizados en las ciencias forenses

Método geofísico	Propiedad física medida	Recomendable para	Limitantes
Gravimetría	Densidad	Cavidades, diferentes compactaciones de materiales, grandes cuerpos rocosos.	Costo, tiempo de adquisición alto.
Magnetometría	Susceptibilidad magnética	Objetos magnéticos.	Presencia de objetos magnéticos y eléctricos en el medio causa ruido.
Métodos sísmicos	Módulo elástico, densidad, velocidad ondas	Estructuras de diferente densidad y velocidad. Identificar distintas capas del subsuelo y calcular su espesor.	No tiene tan buena resolución en el primer metro.
Resistividad	Resistividad	Estratos, contenido de agua, cavidades, diferentes compactaciones de materiales, grandes cuerpos rocosos.	Concreto armado, líneas de corriente eléctricas (subterráneas y aéreas), rocas masivas.
Electromagnéticos GPR	Permitividad, conductividad	Método con la mejor resolución para definir rasgos en el subsuelo. La profundidad y tamaño de los rasgos del subsuelo pueden determinarse con cierta precisión.	Concreto armado, líneas de corriente eléctricas, suelos saturados de humedad, vegetación abundante.

Fuente: elaboración propia.

A pesar de que durante los últimos 30 años se han realizado estudios superficiales de alta resolución (Leucci et al., 2016; Ruffell & McKinley, 2008; Watters & Hunter, 2004), aún se puede considerar que algunos aspectos de este campo están subutilizados y que las técnicas comúnmente usadas en estos esfuerzos pueden ser inadecuadas para la búsqueda de algunos objetivos o sitios específicos (Leucci, 2020).

De igual forma, aún existe un vacío significativo sobre los mejores métodos de adquisición, análisis e interpretación de los datos geofísicos con aplicación forense (Leucci, 2020). Es por esto que conducir investigaciones en sitios controlados, como el que se presenta en este libro, resulta necesario para entender mejor el uso de estas metodologías en la búsqueda forense. Además, es necesario que todo estudio considere diferentes contextos, materiales, ambientes, tipos de suelo y demás factores, como la resolución, ya que los resultados que se obtienen pueden ser distintos.

La geofísica de exploración surge, y ha sido utilizada principalmente, para la localización de objetos de origen geológico de gran magnitud, por esto, su implementación para la búsqueda de objetos de menores dimensiones requiere de un proceso de reajuste de técnicas. Tal es el caso del método sísmico de fuente activa, cuya limitante es la resolución tanto lateral como vertical para definir la geometría de una anomalía o perturbación de la velocidad del subsuelo en los primeros dos metros de profundidad. Para obtener una mayor resolución, se requiere diseñar un arreglo o tendido con detectores (geófonos) con separaciones menores a un metro y generar ondas sísmicas de alta frecuencia mediante golpes contra el suelo. En este caso, el diseño y adquisición de datos se convierte en un proceso invasivo y destructivo que no es recomendable en la búsqueda forense.

¿Qué método geofísico ayuda a resaltar mejor el objeto buscado?

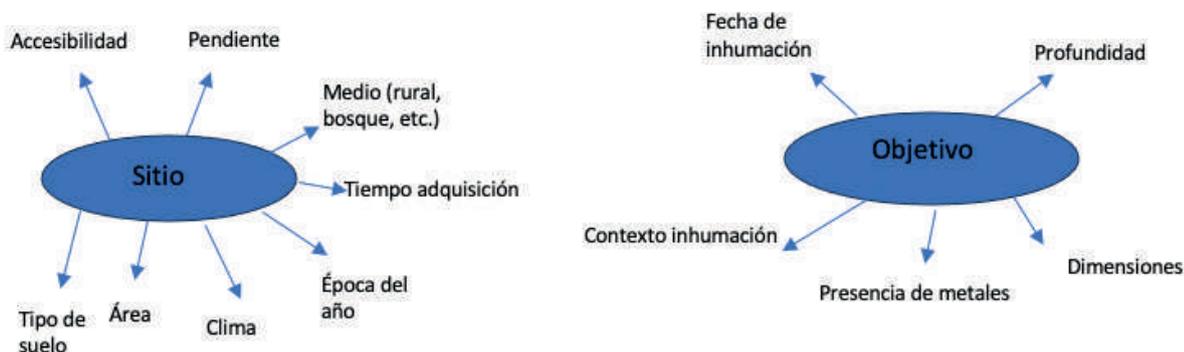
Debe tomarse en cuenta que, para que sea posible encontrar un objetivo en el subsuelo, es necesario que exista un contraste entre éste y el medio (Leucci, 2019) y que el método geofísico que se utilice sea capaz de medir esta diferencia, de lo contrario resultará “ciego” al objeto buscado. Por ejemplo, si hay presencia de agua, la resistividad eléctrica de los materiales se verá alterada o al existir remoción de material, la densidad se verá modificada. Por el contrario, existen diferentes características de los materiales en las que cierta propiedad física no se verá modificada, por ejemplo, la susceptibilidad magnética de los materiales no se altera por la presencia de agua.

Considerando esto, es importante seleccionar adecuadamente el método o métodos geofísicos a utilizar. Es necesario evaluar si la propiedad física que se mide se modificará por la presencia del objeto que se busca en el subsuelo del sitio en particular, es decir, se necesita tener información del objetivo buscado y del sitio en el que se busca.

En la siguiente figura se enlistan algunas de las características que son necesarias tomar en cuenta (Figura 1). Entre mayor información se tenga, la selección del método empleado será mejor, se tendrá una planeación y procesamiento más adecuados y una interpretación más completa. Debido a esto, también es extremadamente difícil producir directrices específicas que puedan ayudar en todas las búsquedas forenses.



Figura 1. Esquema de información a considerar para realizar estudios con métodos geofísicos con fines forenses



Es importante mencionar también que pueden existir respuestas iguales de los parámetros físicos a características distintas; por ejemplo, al medir resistividad eléctrica y tener valores altos, estos pueden estar asociados tanto a cavidades como a rocas muy compactas. Esto es conocido como principio de la No Unicidad. Para evitar la ambigüedad que generan estas respuestas al momento de interpretar los resultados, es recomendable utilizar más de un método geofísico, es decir, medir más de una propiedad física para realizar la interpretación tomando en cuenta la respuesta a cada una de las propiedades medidas. Asimismo, considerar que al realizar búsquedas en campo, el tiempo de adquisición de los levantamientos puede ser un factor que influya en la selección del método.

Una vez seleccionado el o los métodos geofísicos a utilizar, se debe realizar la planeación de los levantamientos considerando las características del sitio y del objetivo, en particular la profundidad a la que se encuentra, el tamaño del objetivo a buscar y el tamaño del área que se investigará. De esto dependerá la configuración que se utilizará al realizar la adquisición de los datos. Los datos adquiridos en campo serán procesados en gabinete y, por último, con base en los resultados obtenidos y con la información que se tiene del objetivo y sitio de estudio, se realizará la interpretación de los resultados (Figura 2). Sobra decir que cada una de estas etapas resultará importante en la obtención de buenos resultados.

Figura 2. Etapas en un estudio geofísico



Una de las ventajas que tiene la geofísica consiste en ser no invasiva, ya que como se mencionó, todas las mediciones se realizan desde la superficie, sin necesidad de excavar o perforar. De manera general, se considera también como ventaja que se pueden cubrir áreas grandes en tiempos relativamente cortos; sin embargo, esto dependerá del método geofísico que se emplee y del detalle que se requiera para encontrar el objetivo deseado.

Como ya se ha dicho, existen diversos métodos geofísicos, para este experimento los métodos utilizados fueron la Tomografía de Resistividad Eléctrica y Estudios de Ruido Sísmico de alta frecuencia. A continuación, se realizará una breve descripción del funcionamiento de cada uno de estos métodos.

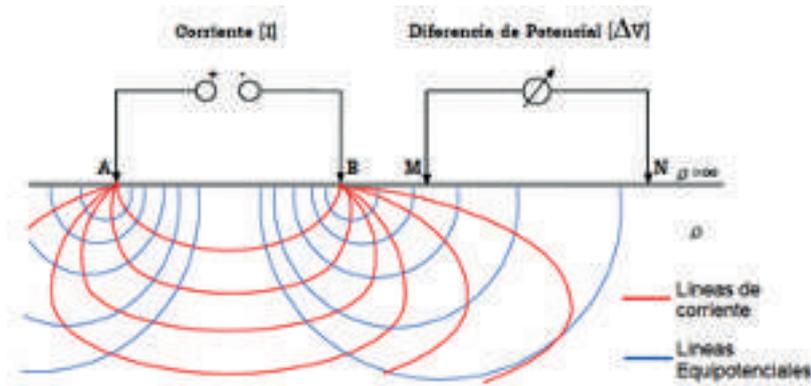
Tomografía de Resistividad Eléctrica

La Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) no siempre fue considerada una herramienta que pudiera dar buenos resultados en las ciencias forenses (Reynolds, 2011); sin embargo, a

pesar de ser un método lento, con el tiempo ha mostrado tener una respuesta mucho mejor a la esperada en ciertos contextos (El-Qady et al., 2019; Leucci, 2020).

El método de resistividad eléctrica estudia las propiedades eléctricas del subsuelo. Se utiliza para resaltar las discontinuidades horizontales y verticales en términos de los parámetros eléctricos: la resistividad eléctrica y la conductividad (Leucci, 2020). La resistividad eléctrica es la medida de cómo los materiales permiten o no el paso de la corriente eléctrica y la conductividad es su inverso. Emplea una fuente artificial que introduce corriente eléctrica al subsuelo a través de un par de electrodos A y B (electrodos de corriente). Mientras que otro par de electrodos M y N (electrodos de potencial) miden el potencial eléctrico (Koefoed, 1979) (Figura 3). La corriente eléctrica se acumulará en las capas o materiales más conductoras y disminuirá en las capas más resistivas. El potencial medido en la superficie refleja estas diferencias de trayectoria y proporcionará una distribución de la resistividad eléctrica en los materiales investigados.

Figura 3. Esquema del principio de funcionamiento de la Tomografía de Resistividad Eléctrica, dos electrodos (A y B) inyectan corriente al subsuelo y dos electrodos miden la diferencia de potencial (M y N)



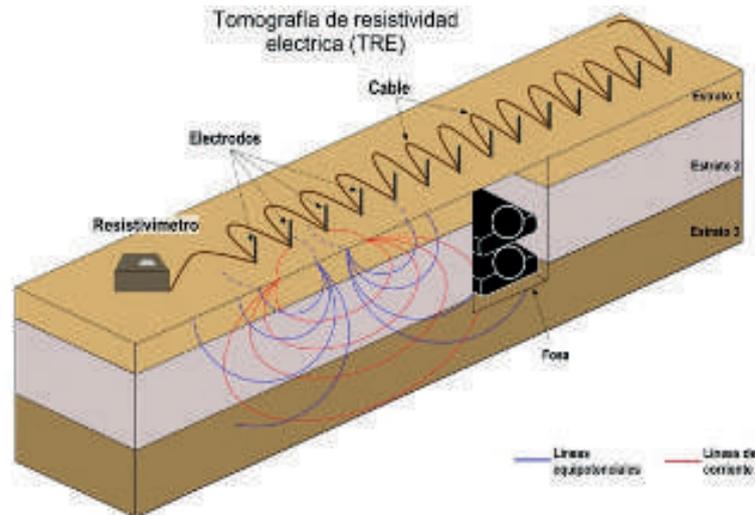
Fuente: adaptado de Quiroz (2020).

La resistividad es un concepto derivado de la ley de Ohm, que es la relación de la respuesta de la resistencia (R) ohm de un medio al flujo de una corriente eléctrica (I) ampere produciendo una diferencia de potencial (ΔV) volt, donde $\Delta V = R \cdot I$ y $R = \Delta V / I$.

El concepto de resistividad eléctrica (ρ) es un parámetro normalizado que se enuncia como la resistencia eléctrica que cruza un área por una unidad de distancia, es por esto que su unidad es ohm·m. Entonces, la ley de Ohm se modifica como $\rho = k \cdot \Delta V / I$ donde (k) es llamado factor geométrico, que es la relación entre el área que cruza la corriente por unidad de longitud, y estará determinada por la geometría del llamado arreglo electrodico. Entonces se entiende que al inyectar una corriente eléctrica (I) al terreno, midiendo su respuesta de la diferencia de potencial (ΔV) y conociendo la posición de estos puntos (k), se puede conocer el valor de la resistividad eléctrica (ρ) (Cifuentes-Nava et al., 2024).

El desarrollo en campo de este método consiste en expandir una línea de electrodos (Figura 4) con una separación entre ellos de (a), como un valor constante, donde la profundidad de investigación se incrementa al separar los electrodos en múltiplos ($n \times a$) (Figura 5).

Figura 4. Esquema de la adquisición de datos de la Tomografía de Resistividad Eléctrica

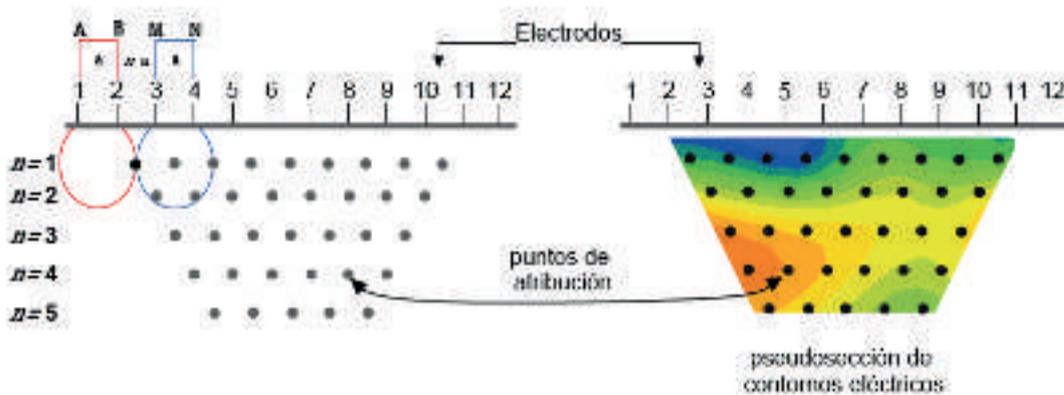


Fuente: adaptado de Quiroz (2020).

Cada valor de n representa un nivel de investigación y corresponde a una profundidad. Cada uno de los electrodos colocados puede funcionar como fuente (donde se inyecta la corriente) o de recepción (donde se lee la caída de potencial), y dependiendo de qué electrodos inyectan y miden, la lectura se irá recorriendo. La lectura que se genera con cada cuatro electrodos (cuadripolos) se conoce como punto de atribución o de medición (Figura 5).

Con los valores de resistividad se construye la sección de isorresistividades aparentes que muestran, en una primera aproximación, los cambios de resistividad presentes en el subsuelo (Figura 5, imagen derecha). Dichos cambios se representan en color, donde los colores mínimos indican bajos resistivos (altos conductivos) y los máximos, altos resistivos (bajos conductivos). Los resultados obtenidos deben someterse a un proceso numérico, llamado inversión, para obtener un modelo real. (Cifuentes-Nava et al., 2024)

Figura 5. Esquema de distribución de las mediciones. Izquierda: Posición de los electrodos y puntos de atribución generados. Así como los niveles de medición. Del lado derecho se construye una primera aproximación de los resultados asignando un color a los valores medidos



Fuente: adaptado de Quiroz (2020).

Para la interpretación, los valores de resistividad obtenidos se pueden asociar a los materiales al conocer el valor que corresponde a este material. Sin embargo, ya que las propiedades físicas de un mismo material pueden cambiar por otros factores, como la porosidad o saturación de líquidos, los valores asociados no corresponden a un valor puntual, sino que abarcan distintos rangos de valores de resistividad, como se puede ver en la Tabla 2.

Tabla 2. Rango de valores de resistividad eléctrica para los materiales y tipos de suelo más comunes

Materiales	Resistividad ohm-m	Conductividad mS/m
<i>Rocas Ígneas y Metamórficas</i>		
Granito	5x10 ³ a 10 ⁶	0.001 a 0.2
Basalto	10 ³ a 10 ⁶	0.001 a 1
Pizarra	6x10 ² a 4x10 ⁷	2.5x10 ⁻⁵ a 1.7
Mármol	10 ² a 2.5x10 ⁸	4x10 ⁻⁶ a 10
Cuarcita	10 ² a 2x10 ⁸	5x10 ⁻⁶ a 10
<i>Rocas Sedimentarias</i>		
Arenisca	8 a 4x10 ³	0.25 a 125
Esquisto	20 a 2x10 ³	0.5 a 50
Caliza	50 a 4x10 ²	2.5 a 20
<i>Suelos y Agua</i>		
Arcilla	1 a 1000	1 a 1000
Aluvión	10 a 800	1.25 a 100
Agua Subterránea (fresca)	10 a 100	10 a 100
Agua de Mar	0.2	5000

Fuente: elaboración propia con información de Loke (2001).

Métodos sísmicos

Los métodos sísmicos de prospección se dividen en: métodos sísmicos activos, aquellos que requieren una fuente para la generación de ondas, y métodos sísmicos pasivos, aquellos que utilizan ruido sísmico. A continuación se hará un breve descripción del funcionamiento de ambos y en particular del método de Tomografía de Interferometría de Ruido Sísmico Ambiental (TIRSA), qué corresponde al método sísmico empleado en este estudio.

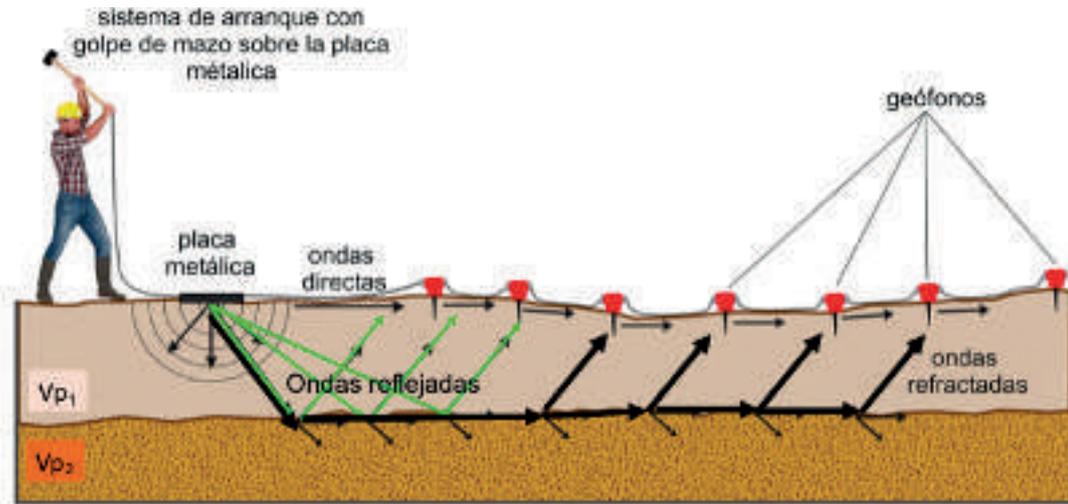
Métodos sísmicos activos

La prospección sísmica es un método geofísico de fuente artificial donde se producen ondas sísmicas que son registradas por medio de receptores sísmicos o geófonos. En el método se miden los tiempos de llegada de las ondas sísmicas que viajan de forma directa a los receptores o que son reflejadas y refractadas por la estructura geológica (Figura 6). Las ondas sísmicas se clasifican de acuerdo con la velocidad en la que se propagan en el subsuelo. Una vez que las ondas son producidas, en el registro sísmico o sismograma aparecen los desplazamientos producidos por las ondas que viajan con mayor velocidad (ondas P o primarias), y posteriormente las ondas con menor velocidad (ondas S o secundarias). El valor de la velocidad con la que se propagan estas ondas está relacionado con la velocidad de los materiales que conforman el subsuelo (Sheehan et al., 2005; Zelt et al., 2013). Una característica importante de las ondas secundarias es que éstas no se propagan en líquidos, o bien en medios saturados su velocidad puede decrecer considerablemente. Un tipo de ondas secundarias son las ondas superficiales, cuya característica principal es que la velocidad varía en función de la frecuencia, y durante su propagación la energía está concentrada cerca de la superficie (método SASW: Xia et al., 1999; método MASW: Miller et al., 1999; Park et al., 1999).

Las características de propagación de las ondas son aprovechados por los métodos de prospección sísmica de reflexión y refracción. El método de reflexión es generalmente utilizado para la búsqueda de hidrocarburos, y el método de refracción es ampliamente aplicado para determinar sitios ideales para la construcción de obras de ingeniería civil. Los estudios de ondas superficiales son un complemento de los estudios de refracción ya que permiten determinar la velocidad de corte de materiales, la cual es de gran uso en estudios de geotecnia. La resolución vertical u horizontal de estos métodos (la capacidad de detectar variaciones de

velocidad), depende de la energía sísmica inyectada al subsuelo, del diseño de arreglo de detectores, y de las características de fabricación de éstos (Jokar et al., 2019).

Figura 6. Esquema que muestra un experimento de generación de ondas sísmicas



Fuente: adaptado de Caccavari et al. (2021).

Métodos sísmicos pasivos

Recientemente, los métodos de prospección sísmica incluyen las técnicas de ruido sísmico, o también denominada sísmica pasiva. La sísmica pasiva hace uso de las ondas superficiales contenidas en el ruido sísmico. El uso de ruido sísmico para fines de exploración del subsuelo está asociado al concepto de microtemores, los cuales se definen como vibraciones en el subsuelo generadas por una variedad de fuentes en un amplio rango de frecuencias. En frecuencias menores de un hertzio las fuentes son, por ejemplo, debido al oleaje oceánico, y en frecuencias mayores de un hertzio éstas se deben a la actividad humana o antropogénica (Bard, 1988; Bonnefoy-Claudet, 2006).

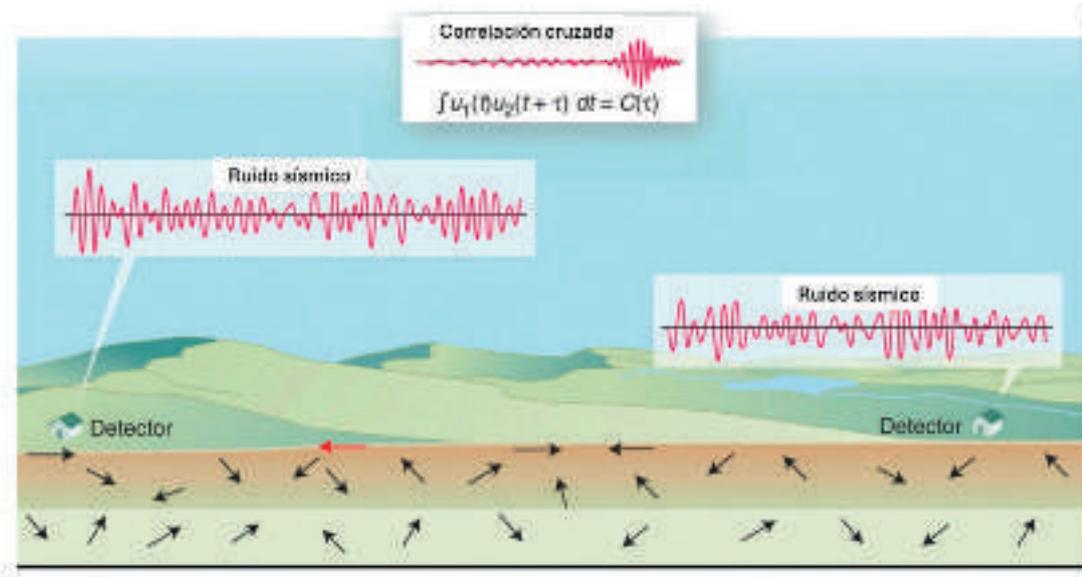
El énfasis de los métodos de ruido es la caracterización de la estructura del subsuelo a fin contar con ventajas de reconocimiento del subsuelo más allá de lo que pueden brindar las técnicas geotécnicas. La utilización del ruido de fondo presenta ventajas con respecto a aquellas que utilizan fuentes activas, por ejemplo, los estudios se pueden realizar en ambientes urbanos y se puede alcanzar mayor profundidad de penetración debido al ruido sísmico de baja frecuencia. En el dominio de la frecuencia, el método ha sido ampliamente utilizado tanto con arreglos regulares como irregulares (Louie, 2001; Wathelet et al., 2008), incluso utilizando solo un par de estaciones (Chávez-García et al., 2006). En el dominio del tiempo, el método de Interferometría Sísmica (IS), hace uso de la correlación cruzada del ruido no solo para obtener las velocidades del subsuelo (Figura 7), sino también para generar secciones sísmicas (fuente virtual) sin necesidad de contar con una fuente para la generación mecánica de ondas (Draganov et al., 2007).

La Tomografía de Interferometría de Ruido Sísmico Ambiental (TIRSA) puede crear una representación 3D de la estructura del subsuelo a partir de los tiempos de llegada de las formas de onda de las correlaciones cruzadas entre pares de estaciones. Tal correlación captura la respuesta del subsuelo (Función de Green Empírica; FGE), es decir, contiene el campo de ondas que prevalece en el ruido sísmico (Campillo & Paul, 2003). La FGE está principalmente conformada por ondas superficiales cuyas características de dispersión pueden ser medidas en un amplio rango de frecuencias (Gouedard et al., 2008; Shapiro, 2004). Un resumen de los antecedentes históricos y una variedad de aplicaciones en diversos campos de la ciencia pueden ser encontrados en Schuster (2014), Larose et al. (2015).

La aplicación de métodos sísmicos, activos o pasivos, para fines forenses promete ser un área de oportunidad debido a los avances en el procesamiento de datos y el uso de técnicas emergentes para la visualización e interpretación de datos. Aunque aún no se cuenta una amplia variedad de estudios a escalas menores de cinco metros, algunos resultados en escalas de uno a dos decenas de metros han sido exitosamente publicados. En el caso de México, la línea de trabajo ha sido realizada por la Facultad de Ingeniería de la UNAM para la exploración de cavidades, geotécnica y fines arqueológicos (Argote et al., 2020; Cárdenas-Soto et al., 2016; 2020; 2021; Chávez-García et al., 2020; Piña-Flores et al., 2020). El uso de esas técnicas puede ser perfectamente adaptado para escalas menores siguiendo apropiados experimentos controlados.



Figura 7. Esquema de la obtención de la función de correlación cruzada o Función de Green Empírica mediante el método de Interferometría Sísmica



Fuente: modificada de Weaver (2005).

Campo Experimental Polígono 2

El área de estudio se encuentra dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara, campus Cajititlán, Jalisco (Figura 8). Se trata de un polígono de aproximadamente 20 x 30 m en el que se encuentran 16 fosas experimentales con profundidades entre 0.7 a 1.0 m, separadas aproximadamente dos metros en la dirección NS, y cuatro metros en la dirección EO, cuyas características fueron descritas en capítulos previos.

I. Planeación

Para realizar la selección de los métodos geofísicos y planear la configuración de adquisición de datos, se tomaron en cuenta los siguientes factores: las dimensiones del terreno son de aproximadamente 20 x 30 m (un área mayor requeriría varios días de adquisición y procesamiento), es posible acceder con el equipo en vehículo, tiene poca pendiente, el clima es seco, la adquisición de datos se realizó en temporada de estiaje, las inhumaciones son recientes (lo que genera contrastes con el medio por la remoción de material, además de la posible presencia de humedad derivada de los cuerpos), son fosas individuales, de metro por metro y medio, someras.

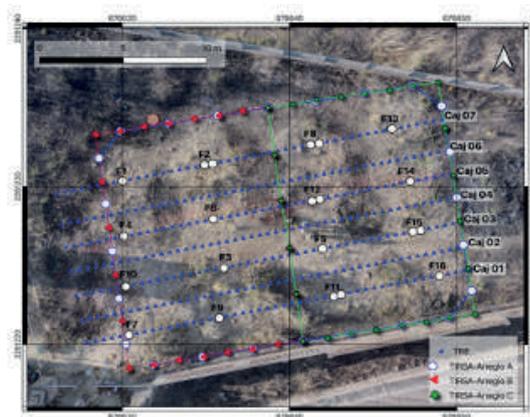
Con base en esto, para este experimento se decidió utilizar Tomografía de Resistividad Eléctrica y Estudios de Ruido Sísmico de Alta Frecuencia. La magnetometría no era viable debido a la presencia de una barda metálica que rodea el área, además de que no se reportó la presencia de objetos magnéticos en las fosas, y por otro lado, ya se contaba con estudios de GPR, que se describen en otro capítulo de este libro. Como se mencionó previamente, el objetivo de este trabajo también consiste en evaluar la respuesta de estos dos métodos en el contexto de este campo experimental.

La configuración de la adquisición de datos se diseñó considerando esta información en el caso de la TRE: realizar siete líneas paralelas con una separación entre electrodos de 0.5 m para que tuviera la resolución necesario. En el caso de la TIRSA: se realizaron tres arreglos diferentes para conocer la estructura de velocidad del subsuelo, y en especial, verificar los alcances del método TIRSA para ubicar la presencia de dichas fosas (Figura 8).



II. Adquisición de datos

Figura 8 . Esquema de adquisición de datos de la TRE y Ruido Sísmico. Los puntos blancos corresponden a la posición de las fosas observadas en campo



Fuente: elaboración propia.

Figura 9 . Fotos de la adquisición de datos A) TRE y B)TIRSA



Fuente: elaboración propia.

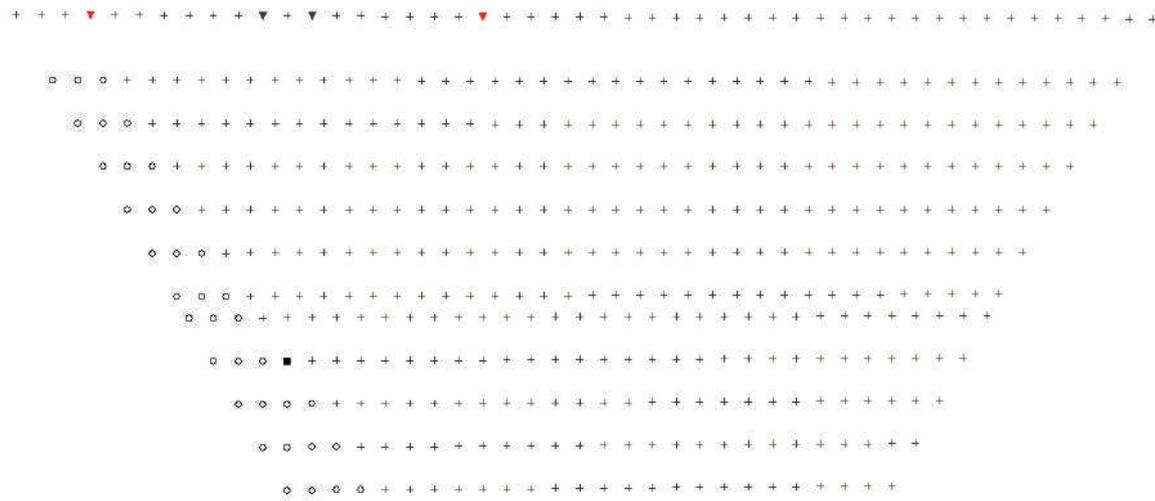
TRE

Para el método de TRE se levantaron siete perfiles 2D con una separación entre ellos de 1.5 m (salvo en la última de dos metros). En ese caso se conocía la ubicación de las fosas, por lo que se consideró que un perfil pasara sobre las fosas y otro en un terreno no modificado que pudiera servir de control, y así consecutivamente. También se consideró que la distancia entre ellas permitiera que las líneas se integraran para generar un modelo 3D.

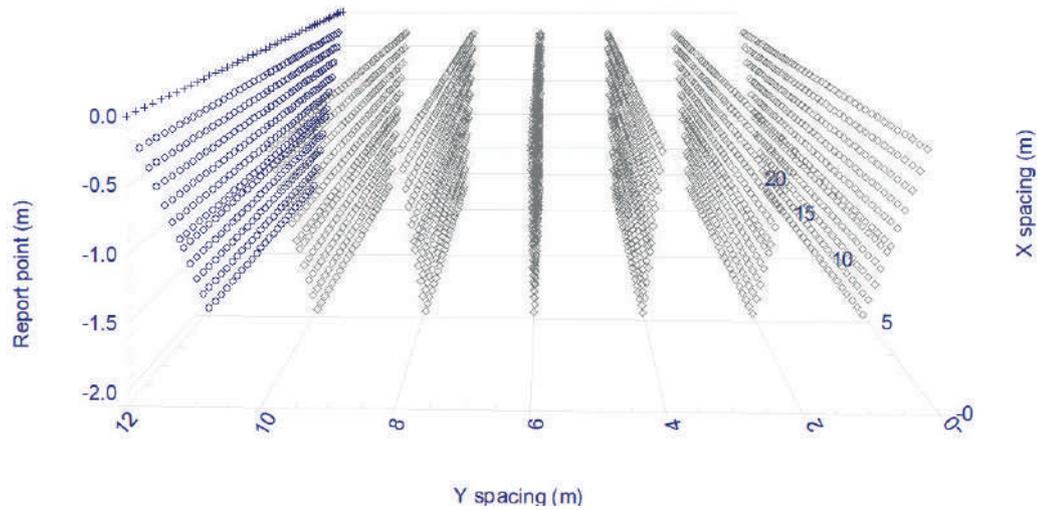
Se optó por una separación entre electrodos de 0.5 m, para tener la resolución que permitiera detectar las fosas de 1 m de ancho. Se utilizaron 48 electrodos, por lo que el largo de las líneas fue de 23.5 m (Figura 10). El equipo utilizado para este método se conoce como resistivímetro.

En esta ocasión se utilizó un resistivímetro de la marca IRIS Instruments modelo Syscal Junior con 48 electrodos de acero de 0.30 m de largo.

Figura 10. A) Esquema de medición de un perfil 2D. Se observan en rojo los electrodos de corriente A y B, en azul los electrodos de potencial MN y el punto negro corresponde al punto de atribución o de lectura de ese cuadrípolo. B) Esquema de la distribución de los puntos de atribución de los siete perfiles



Fuente: elaboración propia.

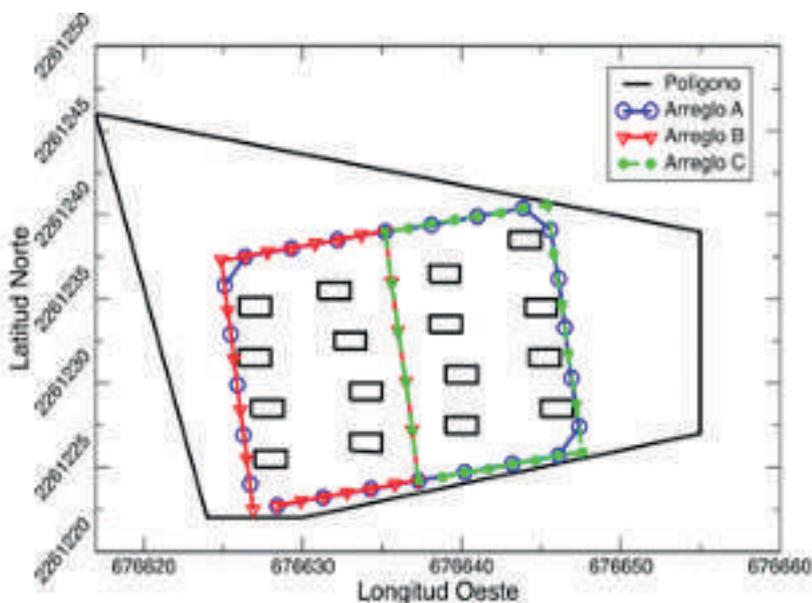


Fuente: elaboración propia.

TIRSA

Para este método se realizaron tres arreglos diferentes. La Figura 11 muestra la forma geométrica de cada uno de los arreglos, los cuales estuvieron conformados por 24 geófonos verticales con una respuesta en frecuencia de 100 Hz conectados a un sismógrafo Geode de manufactura Geometrics. La elección de geófonos de alta frecuencia se debió a que el objetivo es resolver los primeros tres metros de profundidad.

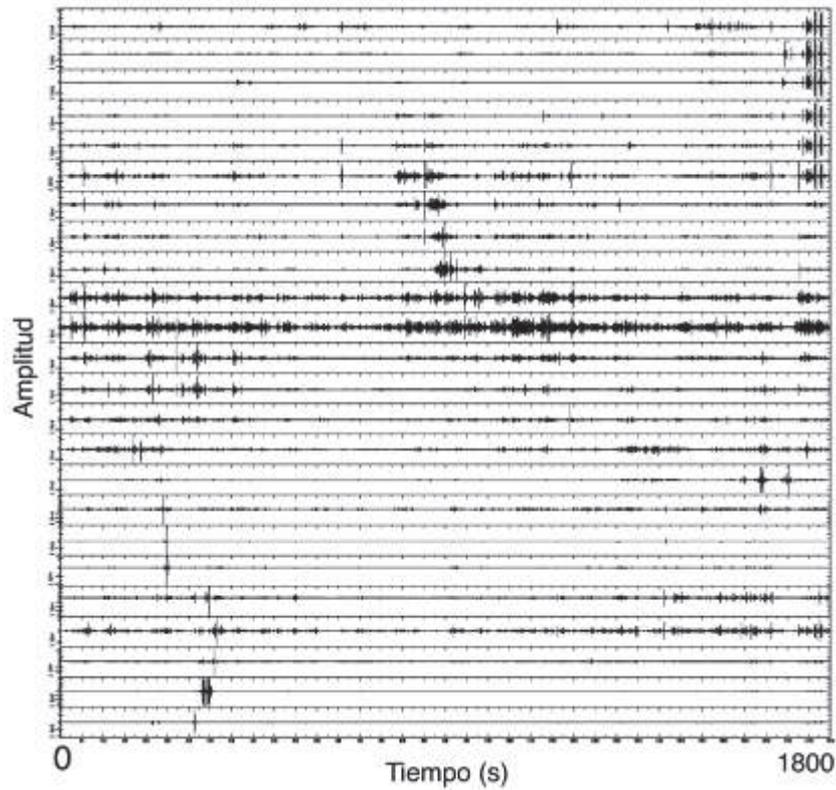
Figura 11. Diseño de arreglos para el registro de ruido sísmico. Los rectángulos indican la posición de las fosas



Fuente: elaboración propia.

Los arreglos fueron denominados A1, A2 y A3, y fueron realizados el 25 de abril de 2024. El arreglo A1 cubrió las 16 fosas y los arreglos A2 y A3 ocho fosas cada uno. La separación de geófonos fue aproximadamente de dos metros para el arreglo A1, y de uno y dos metros para los arreglos A2 y A3. En cada arreglo se registró ruido sísmico ambiental a razón de 500 muestras por segundo durante 30 minutos. La Figura 12 muestra un ejemplo del ruido registrado en el arreglo A1, al igual que en los otros arreglos, se observa que el ruido de fondo tiene la contribución de varios eventos indeseados (eventos transitorios) como es el caminar de peatones, tránsito de vehículos y posiblemente maquinaria industrial.

Figura 12. Ejemplo de registro de ruido sísmico en los 24 geófonos del arreglo A1. El orden de las trazas es de arriba hacia abajo, siendo la primera la que corresponde al registro en el geófono 01, y la última al 24. Las trazas han sido filtradas con un filtro pasa altas de 100 Hz



Fuente: elaboración propia.

III. Procesamiento

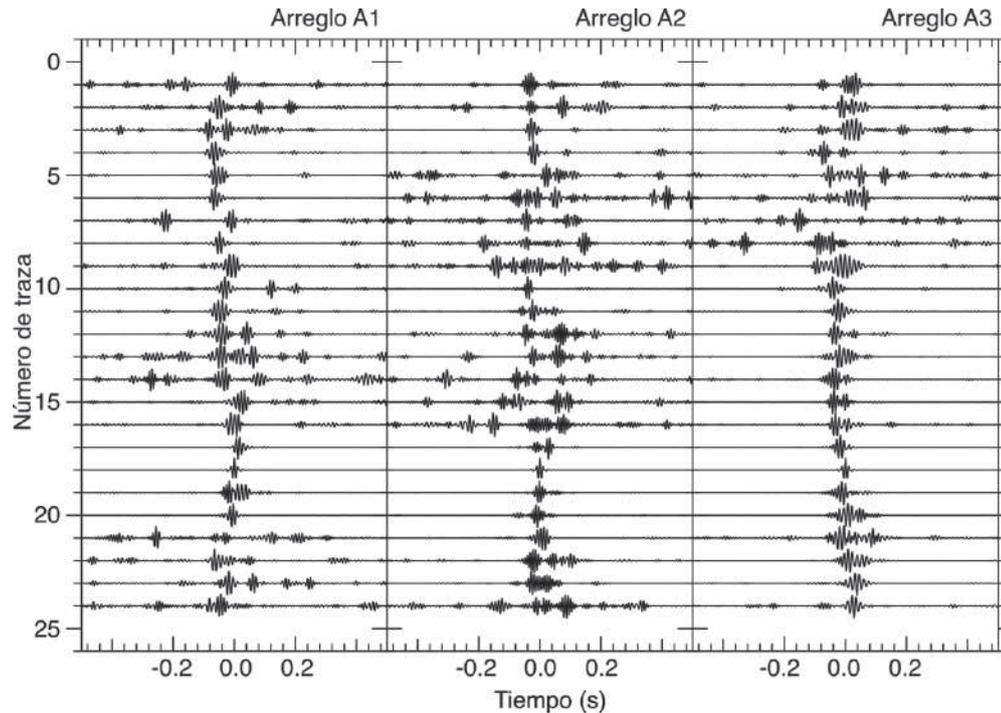
TRE

Los datos se descargan del resistivímetro en un formato *.bin*, que se abre en el programa Prosys II (v.3.14, IRIS Instruments). En este programa se pueden eliminar mediciones repetidas y exportar los datos necesarios a una hoja Excel, para posteriormente crear un formato universal *.urf* de información que se usará en el proceso de inversión, en el que se describe la geometría o posición de todos los electrodos, los cuadripolos medidos y sus valores de diferencia de potencial (ΔV), corriente (I) y desviación estándar. Posteriormente, el archivo *.urf* se utiliza en el programa AGI EarthImager 3D (AGI, 2008) para la inversión, en el que se configuran diferentes parámetros para obtener los modelos de resistividad verdaderos. Los datos se analizaron perfil por perfil y se integraron también en un modelo 3D, en que los siete perfiles se invirtieron de manera conjunta.

TIRSA

La adecuación de los datos de ruido sísmico, antes de realizar las correlaciones cruzadas, consiste en reducir los eventos transitorios y ecualizar los registros para conservar la parte estacionaria del ruido de fondo (Bensen et al., 2007). Posteriormente, se realizan las correlaciones cruzadas entre todos los pares de receptores. Para el caso de 30 min de registro de ruido en el experimento de esta zona, la correlación final es el apilamiento de 900 correlaciones cruzadas derivadas de ventanas de tiempo de ocho segundos de registro de ruido entre cada par de receptores. La Figura 13 muestra la correlación cruzada del receptor 18 con respecto a los 23 receptores restantes. En ella se observan pulsos bien definidos para algunos pares de receptores con tiempos de retraso entre -0.2 a 0.2 s. En algunas correlaciones el pulso es acausal (tiempos menores de cero) y en otra causal (tiempos mayores de cero). El caso ideal es cuando la función de correlación cruzada está compuesta por ambas partes, tanto acausal como causal, sin embargo, se observa que para el sitio de estudio la distribución de fuentes de ruido tiene una dirección predominante que puede ser el tráfico vehicular de alguna avenida.

Figura 13. Correlaciones cruzadas del receptor 18 (traza 18) con respecto a los receptores restantes



Fuente: elaboración propia.

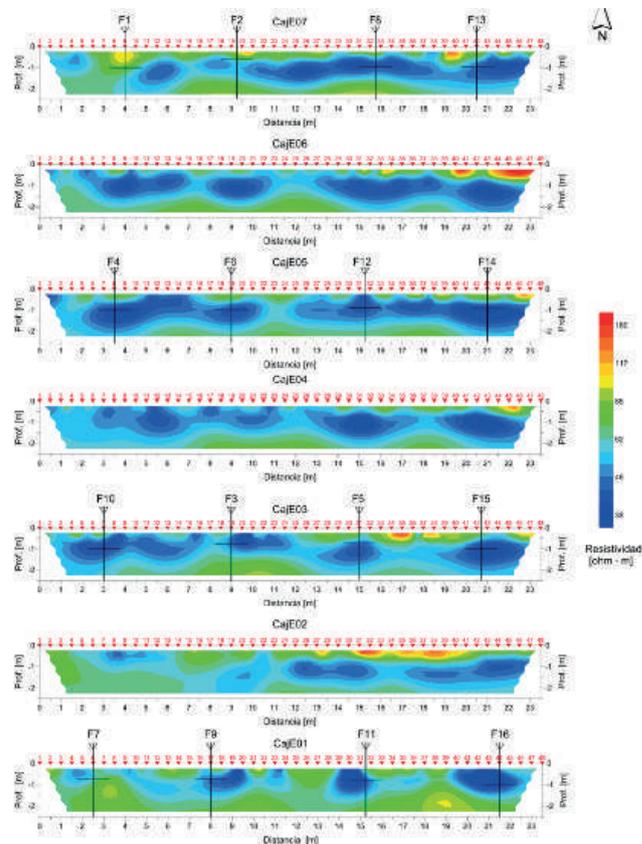
Mediante los tiempos de retraso de los pulsos de correlación filtrados en diferentes frecuencias, se construyeron 16 tomografías de tiempo de viaje en el rango de 100 a 250 Hz. El procedimiento para la creación de tomografías siguió una discretización del área de estudio en celdas con tamaño proporcional a la separación de receptores. En cada celda se resuelve un sistema de ecuaciones que involucra el número de trayectorias entre cada par de receptores y los tiempos de retraso. La solución de este sistema proporciona la velocidad de onda S (V_s) la cual se interpola para generar una imagen de tomografía. El uso y aplicación de esta técnica se ha aplicado a diferentes problemas y puede consultarse en Cárdenas-Soto et al. (2016), Cárdenas-Soto et al. (2020), Argote et al. (2020) y Cárdenas-Soto et al. (2021a).

IV. Visualización e interpretación

A continuación se muestran los resultados obtenidos en cada uno de los dos métodos:

TRE

Figura 14. Perfiles de resistividad eléctrica. Los colores azules corresponden a valores bajos de resistividad (alta conductividad) y los colores rojos a valores de resistividad altos (baja conductividad). Las líneas negras verticales corresponden a la posición de las fosas observada en campo, y las líneas negras horizontales a la profundidad estimada de cada fosa

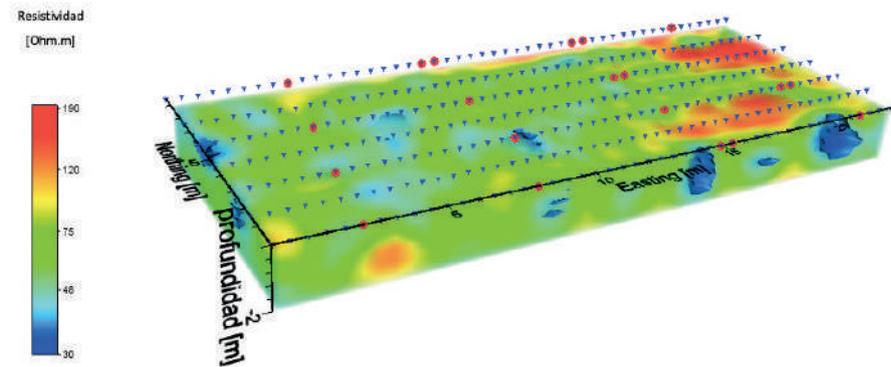


Fuente: elaboración propia.

TRE 2D: se muestran los perfiles de resistividad obtenidos en cada una de las siete líneas levantadas. Los rasgos azules corresponden a materiales conductores, mientras que los rasgos en colores rojos corresponden a valores resistivos. La profundidad que se alcanzó con estos perfiles es de aproximadamente 2.5 m. Las líneas negras corresponden a la ubicación de las fosas observada en campo. No fue posible detectar todas las fosas, pero como se puede observar en la Figura 14, la ubicación de las fosas se puede asociar con anomalías conductoras (azul).

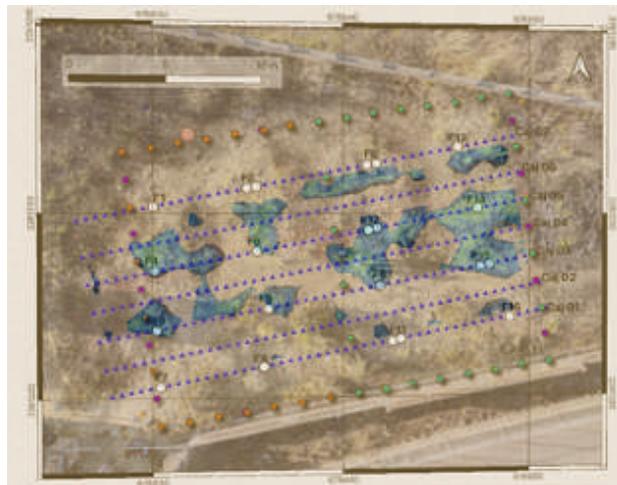
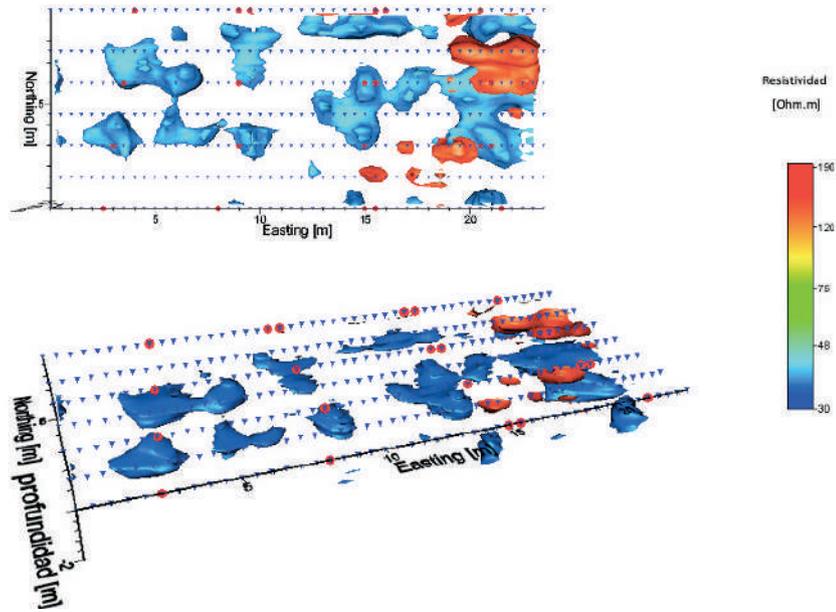
TRE 3D: en las siguientes imágenes se muestran los resultados obtenidos de la inversión 3D de los siete perfiles, lo que genera un modelo en tres dimensiones del área estudiada.

Figura 15. Modelo de resistividades. Los triángulos azules corresponden a la posición de los electrodos. Los puntos rojos corresponden a la ubicación de las fosas observada en campo. Se observan tres unidades geoelectricas en rojo los valores resistivos altos, en verde, los valores intermedios y que corresponden a suelo del sitio, y en azul, los valores resistivos bajos, que se asocian a las fosas



Fuente: elaboración propia.

Figura 16. En las tres figuras se muestran los valores de iso-resistividad altos (en rojo) y bajos (azul), en diferentes perspectivas y representados en el área de estudio. Los valores de resistividad bajos (conductividad alta) están asociados a la presencia de las fosas



Fuente: elaboración propia.

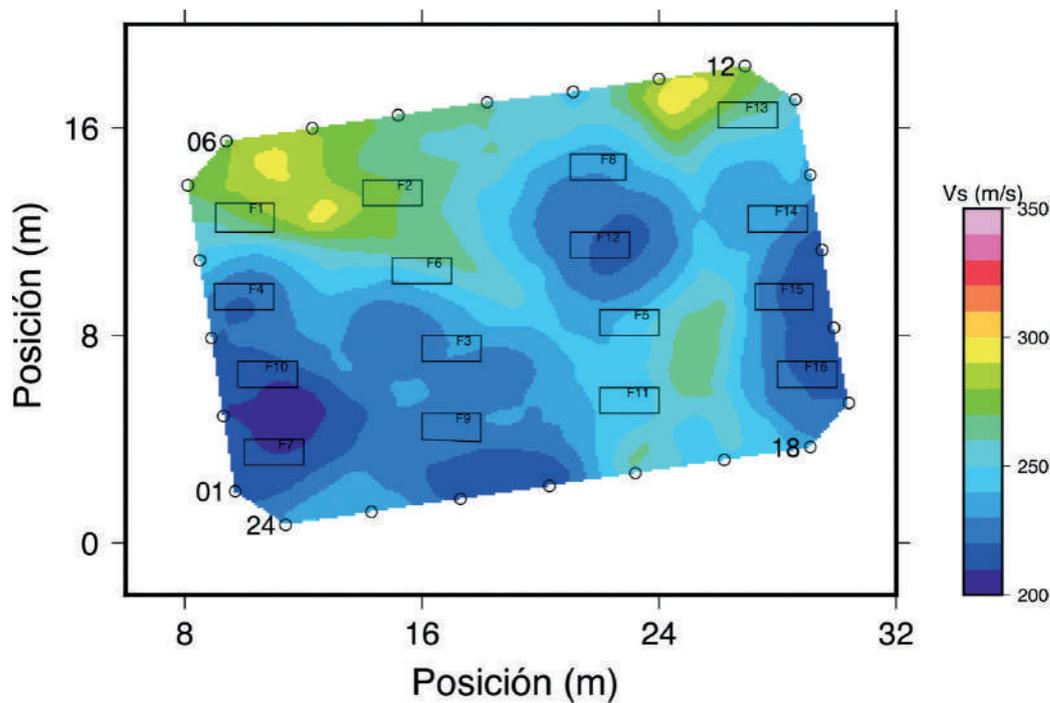
Tanto en la TRE2D (Figura 14) como en la TRE3D (Figura 15 y 16) se pueden observar, lo que se conoce como tres unidades geoelectricas, de acuerdo a los rangos de valores de resistividad eléctrica. La primera unidad de bajos resistivos con tonos de falso color azul; la unidad de valores intermedios con tonos cercanos al verde y que representan el entorno general del subsuelo; y la tercera unidad de altos resistivos con tonos cercanos al rojo. La unidad geoelectrica de bajos resistivos concuerda con la localización de las fosas, observable en la Figura 14 y en la Figuras 15 y 16 aunque si bien no se define la geometría de las mismas perfectamente, si se pueden establecer la correspondencia tanto en la posición horizontal como vertical en la mayoría de los casos. Existe corroboración de los resultados, ya que durante la exhumación llevada a cabo (ver capítulo correspondiente) se pudo observar que las fosas tenían alto contenido de humedad y que representa el comportamiento de bajos resistivos por su alta conductividad eléctrica. En la TRE3D (Figuras 15 y 16) se puede apreciar con mejor distribución espacial, al eliminar la segunda unidad geoelectrica, la localización y volumen del efecto de las fosas a profundidad y extensión horizontal. Si bien no se detectaron las 16 fosas, sí aquellas en donde se localizaron los cuerpos de los cerdos que al descomponerse generan el exceso de humedad que se detectó en el estudio de TRE. Lo anterior se aprecia claramente en la TRE2D (Figura 14) donde el perfil CajE07 en las fosas 1 y 2 no hay una firma conductora sino resistiva y medio resistiva. Otra fosa que no se detecta claramente es la número 7 que corresponde a un cuerpo segmentado (Figura 14, CajE01).

TIRSA

La Figura 17 muestra la tomografía a 217 Hz para el arreglo A1. Los valores de distribución de velocidad V_s están comprendidos entre 200 y 300 m/s. Se observa una ligera dependencia de valores de baja velocidad con la posición de las fosas F4, F7, F10, F12, F15 y F16. Sin embargo, la resolución que proporciona la separación de receptores no permite resolver con mayor detalle la presencia de las fosas. En esta frecuencia ($f=217$ Hz), si se considera una velocidad promedio de $V_s=200$ m/s, la longitud de onda horizontal ($l=V_s/f$) es de 1.15 m, lo cual corresponde a una profundidad promedio de 40 cm ($z= l /3$). Es claro que no es posible distinguir entre materiales duros y blandos con los cuales están rellenas las fosas; sin embargo, los valores de baja velocidad parecen indicar que éstas contienen materiales saturados que se diferencian debido a mayores velocidades que contiene el suelo no perturbado. La inspección

de las imágenes de tomografía en otras frecuencias no muestra una mejoría en el resultado esperado. Se cree que esto se debe a la contaminación del ruido de fondo por los eventos antropogénicos mencionados.

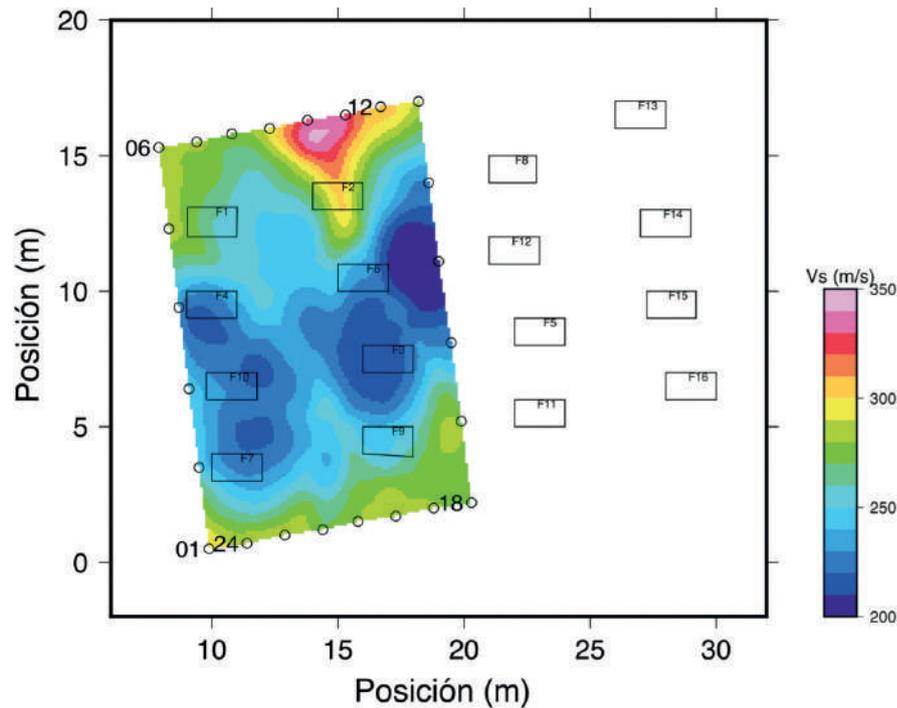
Figura 17. Tomografía de tiempo de viaje a la frecuencia de 217 Hz para el arreglo A1. La posición de las fosas es indicada por los rectángulos. Los círculos abiertos indican la posición de los geófonos, de los cuales algunos están numerados



Fuente: elaboración propia.

La Figura 18 muestra el resultado del arreglo A2 a la misma frecuencia. En este caso se tiene que la separación de receptores en la dirección horizontal es menor que en la dirección vertical. Se observan mínimos de velocidad cercanos a las fosas F4, F7, F8 y F10, lo cual permite adelantar que los contrastes de velocidad del área de estudio son debido a la saturación o infiltración de agua en materiales removidos con respecto a zonas más compactas. La zona de menor velocidad se observa entre las fosas F6 y F12, donde no se encuentra ninguna fosa particular. Y se observa una zona de alta velocidad arriba de la fosa F2. Se cree que estos valores extremos son producto de errores numéricos en la selección de los tiempos de retraso.

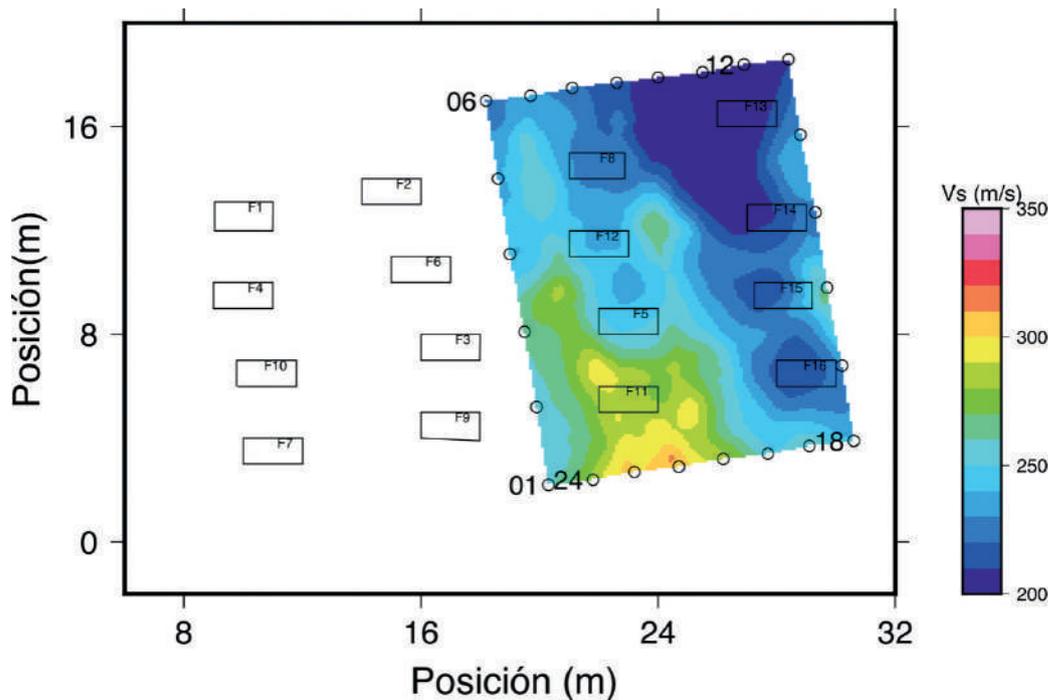
Figura 18. Tomografía de tiempo de viaje a la frecuencia de 217 Hz para el arreglo A2. La posición de las fosas es indicada por los rectángulos. Los círculos abiertos indican la posición de los geófonos, de los cuales algunos están numerados



Fuente: elaboración propia.

Resultados similares se observan en el arreglo A3 para la frecuencia de 217 Hz (Figura 19). En este caso, las zonas de baja velocidad con alguna geometría impuesta por el suelo perturbado se pueden asociar a las fosas F7, F8, F12, F15 y F16. En este caso ya no se observa la zona de baja velocidad descrita en el arreglo A2, pero se presenta otra en la parte NE del arreglo la cual incluye la fosa F13. Nuevamente, se cree que esa zona de baja velocidad es producto de la dispersión en la selección de los tiempos de retraso dada la contaminación del ruido de fondo por eventos antropogénicos.

Figura 19. Tomografía de tiempo de viaje a la frecuencia de 217 Hz para el arreglo A3. La posición de las fosas es indicada por los rectángulos. Los círculos abiertos indican la posición de los geófonos, de los cuales algunos están numerados



Fuente: elaboración propia.

La geometría de los arreglos en el método TIRSA fue diseñada para “observar” de afuera hacia dentro del área de exploración. Con ello se buscó que el experimento no fuera ni invasivo ni destructivo. Los resultados muestran que se requiere de separaciones menores entre los geófonos (0.5 a 1.0 m) para poder mejorar la resolución horizontal de los contrastes de velocidad entre el suelo perturbado y el suelo original. La profundidad de investigación para la zona de estudio (V_s promedio de 250 m/s) permite resolver fosas con profundidades mayores de 0.5 m. Sin embargo, se observa que los registros de ruido fueron contaminados por eventos antropogénicos ajenos al control de adquisición, lo cual condiciona los resultados de este estudio. Así, desde el punto de vista geofísico, una zona de materiales perturbados se puede identificar por los cambios de propiedades que impone el nivel de saturación o infiltración de líquidos que provienen de la superficie, del subsuelo, o de los cuerpos en descomposición.

Conclusiones

En este estudio se aplicaron dos métodos geofísicos (TRE y TIRSA) para determinar la distribución de un suelo perturbado a profundidad, siempre con la ventaja de ser métodos no invasivos. Los resultados muestran que no es posible obtener con precisión la geometría de las fosas, pero si es posible detectar la posición de acuerdo con el cambio de las propiedades físicas asociadas a ambos métodos geofísicos. Para ganar resolución es necesario aumentar el número de detectores (ya sea geófonos o electrodos) y por consecuencia reducir la separación entre ellos con el costo de aumentar los tiempos de adquisición.

Los métodos geofísicos, como el TRE y TIRSA, podrían integrarse en protocolos forenses estándar para la búsqueda y recuperación de víctimas de desapariciones forzadas o crímenes violentos. Esto podría implicar la inclusión de técnicas geofísicas en la formación de equipos forenses y la elaboración de guías específicas para la aplicación de estos métodos en contextos forenses. Este estudio sienta las bases para la aplicación práctica de métodos geofísicos en casos reales de búsqueda forense.

Los resultados de este estudio corresponden a un campo experimental. En condiciones reales, las condiciones del medio y los objetivos a caracterizar probablemente dificulten la



identificación de fosas. Por ello, se recomienda que siempre se apliquen dos o más técnicas para tener mayor certeza de la efectividad en aplicaciones forenses.

Estos resultados no solo tienen implicaciones prácticas inmediatas en la detección de fosas, sino que también abren nuevas oportunidades para la aplicación de métodos geofísicos en el ámbito forense. Se espera que este estudio inspire futuras investigaciones y contribuya a mejorar las herramientas y técnicas disponibles para abordar este importante problema social y humanitario.

Agradecimientos

Este proyecto ha sido apoyado por los proyectos UNAM-DGAPA: PAPIIT IN108124 y PAPIME PE111524. A los estudiantes de la licenciatura de Ingeniería Geofísica que participaron en el trabajo de campo: Nagibe Maroun González, David Alejandro Flores Ramírez, Cristobal Cifuentes Ramos.



Referencias

- ARGOTE D.L., A. TEJERO-ANDRADE, M. CÁRDENAS-SOTO, G. CIFUENTES-NAVA, R.E. CHÁVEZ, E. HERNÁNDEZ-QUINTERO, A. GARCÍA-SERRANO AND V. ORTEGA (2020). *Designing the underworld in Teotihuacan: Cave detection beneath the moon pyramid by ERT and ANT surveys*, Journal of Archaeological Science Volume 118, June 2020, 105141.
- BARD, P.-Y. (1988). *Microtremor Measurements: A tool for site effect estimation? The effects of surface Geology on Seismic Motion*. In Irikura, K., editor, Balkema. Rotterdam, Netherlands.
- BARONE, P. M. (2017). *Forensic geophysics*. In R. M. Di Maggio & P. M. Barone (Eds.), *Geoscientists at crime scenes: A companion to forensic geoscience* (pp. 175–190). Springer International Publishing.
- BONNEFOY-CLAUDET, S., COTTON, F., AND BARD, P.Y., (2006). *The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies: A literature review*. Earth-Science Reviews, 79(3-4), 205–227.
- CACCAVARI-GARZA, A., QUIROZ-SUÁREZ, D., CIFUENTES-NAVA, G., CÁRDENAS-SOTO, M., & ESCOBEDO-ZENIL D. (2020). *Prospección geofísica somera aplicada en búsqueda forense* (pp. 125-156). *En Protocolos basados en evidencia para la búsqueda de personas desaparecidas*. M. Quinto (Coord.), (Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN 9786073060530
- CAMPILLO, M., PAUL, A., (2003). *Long range correlations in the diffuse seismic coda*. Science 299, 547–549
- CÁRDENAS-SOTO, M., H. RAMOS-SALDAÑA Y M.C. VIDAL-GARCÍA (2016). *Interferometría de ruido sísmico para la caracterización de la estructura de velocidad 3D de un talud en la 3ª Sección del Bosque de Chapultepec, Ciudad de México*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, V68, No 2, p. 173-186.
- CÁRDENAS-SOTO M., D. ESCOBEDO-ZENIL, A. TEJERO-ANDRADE, M. NAVA-FLORES, M. VIDAL-GARCÍA AND T. NATARAJAN (2020). *Exploring a near-surface subsidence over a rehabilitated underground mine through ambient seismic noise tomography in combination with other geophysical methods*. Near Surface Geophysics, 1569-4445.



- CÁRDENAS-SOTO M., J. PIÑA-FLORES, D. ESCOBEDO-ZENIL, J. SÁNCHEZ-GONZÁLEZ AND J.A. MARTÍNEZ-GONZÁLEZ (2021). *Ambient seismic noise tomography to build up a 3D shear-wave velocity model*. Revista de Ingeniería, UNAM (In press)
- CIFUENTES-NAVA, G., CACCAVARI-GARZA, A., QUIROZ-SUAREZ, D. & RIVERA-FERNANDEZ, C. (s.f.). *Tomografía de Resistividad Eléctrica: Una Alternativa de Búsqueda*. Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- CHAVEZ-GARCIA, F. J., RODRÍGUEZ, M., AND STEPHENSON, W. R. (2006). *Subsoil Structure Using SPAC Measurements along a Line*. Bull. Seismol. Soc. Am., 96(2):729–736
- CHÁVEZ-GARCÍA F.J., T. NATARAJAN, M. CÁRDENAS-SOTO, AND K. RAJENDRAN (2020). *Landslide characterization using active and passive seismic imaging techniques: a case study from Kerala, India*. Nat Hazards.
- DICK, H. C., PRINGLE, J. K., SLOANE, B., CARVER, J., WISNEIWSKI, K. D., HAFFENDEN, A., et al. (2015). *Detection and characterisation of Black Death burials by multi-proxy geophysical methods*. *Journal of Archaeological Science*, 59, 132–141. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.04.010>.
- DRAGANOV, D. S., WAPENAAR, K., MULDER, W., SINGER, J., AND VERDEL, A. (2007). *Retrieval of reflections from seismic background-noise measurements*. Geophys. Res. Lett., 34(4):2–5.
- EL-QADY, GAD, & MOHAMED MERWALY. (2019). *Archaeogeophysics - State of the Art and Case Studies*. Springer.
- Fenning, P. J., & Donnelly, L. J. (2004). *Geophysical techniques for forensic investigation*. In K. Pye & D. J. Croft (Eds.), *Forensic geoscience: Principles, techniques and applications*. Special Publications of the Geological Society of London (vol. 232, pp. 11–20).
- GOUEDARD, P., STEHLY, L., BRENGUIER, F., CAMPILLO, M., DE VERDIÈRE, Y. C., LAROSE, E., MARGERIN, L., ROUX, P., SÁNCHEZ-SESMA, F., SHAPIRO N. & WEAVER, R. (2008). *Cross-correlation of random fields: Mathematical approach and applications*. Geophysical prospecting, 56(3), 375–393.
- JOKAR, M. H., BOAGA, J., PETRONIO, L., PERRI, M. T., STROBBIA, C., AFFATATO, A., ROMEO, R., & CASSIANI, G. (2019). *Detection of lateral discontinuities via surface waves analysis: A case study at a derelict industrial site*. Journal of Applied Geophysics, 164, 65-74.
- KHALDAOUI, F., DJEDDI, M., ZAGH, A., & NAA, A. (2017). *Use of near-surface geophysical methods for forensic investigations*. In Proceedings of International Conference on Engineering



- Geophysics, Al Ain, United Arab Emirates, Oct 9–12, 2017. <https://doi.org/10.1190/iceg2017-037>.
- KOEFOD, O. (1979). *Geosounding Principles, 1 - Resistivity Sounding Measurements*. Elsevier Science.
- LAROSE, E., CARRIÈRE, S., VOISIN, C., BOTTELIN, P., BAILLET, L., GUÉGUEN, P., WALTER, F., JONGMANS, D., GUILLER, B., GARAMBOIS, S., GIMBERT, F. & MASSEY, C. (2015). *Environmental seismology: What can we learn on earth surface processes with ambient noise?* Journal of Applied Geophysics, 116, 62–74.
- LARSON, D. O., VASS, A. A., & WISE, M. (2011). *Advanced scientific methods and procedures in the forensic investigation of clandestine graves*. Journal of Contemporary Criminal Justice, 27(2), 149–182. <https://doi.org/10.1177/1043986211405885>.
- LEUCCI, G., DE GIORGI, L., GIZZI, F., & PERSICO, R. (2016). *Integrated geo-scientific surveys in the historical centre of Mesagne (Brindisi, Southern Italy)*. Natural Hazard, 3, 1–21. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2645-x>.
- LEUCCI, G. (2019). *Nondestructive testing for archaeology and cultural heritage: A practical guide and new perspective*. Springer.
- LEUCCI, G. (2020). *Advances in Geophysical Methods Applied to Forensic Investigations -New Developments in Acquisition and Data Analysis Methodologies*. Springer.
- LOKE, M. H. (2001). *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies. A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys*. RES2DINV Manual, IRIS Instruments. www.iris-instruments.com
- LÓPEZ HIDALGO, A., LOKE, M., FANTON, G. & CARA, E. (2002). TÉCNICAS PRÁCTICAS PARA INVESTIGACIÓN DE RESISTIVIDAD EN DOS Y TRES DIMENSIONES (TOMOGRFÍA ELÉCTRICA 2D Y 3D). 36.
- LOUIE, J. N. (2001). Faster, better: *Shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays*. Bull. Seismol. Soc. Am., 91(2):347–364.
- MILLER, R.D., XIA, J., PARK, C.B. & IVANOV J. (1999). *Multichannel analysis of surface waves to map Bedrocks*. The Leading Edge, 18, 12, 1392-1396.
- PARK C., MILLER R. & XIA, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. Geophysics 64(3):800–808.
- PIÑA-FLORES, J., CÁRDENAS-SOTO, M., SARABIA-GONZÁLEZ, A., GARCÍA-JEREZ, A., SIERRA-ÁLVAREZ, C., SÁENZ, M., LUZÓN, F. & SÁNCHEZ-SESMA, F. (2021). *Imaging the structure of the Sun Pyramid*



- (Teotihuacán, Mexico) from passive seismic methods. *Engineering Geology*, 281(105969).
- PRINGLE, J. K., JERVIS, J. R., ROBERTS, D., DICK, H. C., WISNIEWSKI, K. D., CASSIDY, N. J., & CASSELLA, J. P. (2016). *Long-term geophysical monitoring of simulated clandestine graves using electrical and ground penetrating radar methods: 4–6 years after burial*. *Journal of Forensic Sciences*, 61 (2), 309–321. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13009>.
- QUIROZ, D. (2020). *Métodos de exploración geofísica somera aplicados a la caracterización de inhumaciones: caso experimental y real*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional de la UNAM.
- SHAPIRO, N. & CAMPILLO, M. (2004). *Emergence of broadband Rayleigh waves from correlations of the ambient seismic noise*. *Geophys Res. Lett.*, 31, L07614
- SHEEHAN, J. R., DOLL, W. E. & MANDELL, W. A. (2005). *An Evaluation of Methods and Available Software for Seismic Refraction Tomography Analysis*. *J. Environ. Eng. Geophys.*, 10(1):21–34
- WATHELET, M. (2008). *An improved neighborhood algorithm: Parameter conditions and dynamic scaling*. *Geophys. Res. Lett.*, 35(9):L09301
- REYNOLDS, J. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Wiley-Blackwell
- RUFFELL, A. & MCKINLEY, J. (2008). *Geoforensics*. Wiley.
- TELFORD, W. M., SHERIFF, R. E. & GELDART, L. P. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge University Press.
- WATTERS, M., & HUNTER, J. R. (2004). *Geophysics and burial: Field experience and software development*. In K. Pye & D. J. Croft (Eds.), *Forensic geoscience: Principles, techniques and applications* (vol. 232, pp. 21–33). Special Publications of the Geological Society of London.
- WATHELET, M. (2008). *An improved neighborhood algorithm: Parameter conditions and dynamic scaling*. *Geophys. Res. Lett.*, 35(9): L09301
- WEAVER, R. L. (2005). *Geophysics. Information from seismic noise*. *Science*, 307(5715), 1568-1569.
- XIA, J., MILLER, R.D. & PARK C.B. (1999). *Estimation of near-surface shear wave velocity by inversion of Rayleigh waves*. *Geophysics*, 64, 691-700



ZELT, C., HAINES, S., POWERS, M. H., SHEEHAN, J., ROHDEWALD, S., LINK, C., HAYASHI, K., ZHAO, D., ZHOU, H., BURTON, B. L., PETERSEN, U. K., BONAL, N. D. & DOLL, W. E. (2013). *Blind Test of Methods for Obtaining 2-D Near-Surface Seismic Velocity Models from First-Arrival Traveltimes*. *J. Environ. Eng. Geophys.*, 18(3):183–194.





Capítulo 7

Una descarga eléctrica te puede revivir, creemos que también te puede encontrar. Geofísica aplicada

Uriel Gutiérrez Mendiola, Adán González Nisino y Ciclos GIP

Resumen

La aplicación geofísica ha facilitado el entendimiento del entorno por debajo de la superficie, lo cual representa una valiosa posibilidad para la localización de víctimas de desaparición inhumadas clandestinamente.

Con esta premisa como marco, en el Polígono 1 de experimentación forense — de la investigación multidisciplinaria coordinada por la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco —, en fosas controladas donde se colocaron cuerpos de cerdos domésticos, se efectuó la técnica de prospección eléctrica, en su variante de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE).

A través del método se definió la existencia de una variación en los rangos resistivos, previos y posteriores a la deposición de los porcinos y su evolución en el tiempo.

Se concluyó que la técnica utilizada sí establece cambios y/o alteraciones en el manejo del subsuelo por la construcción de las fosas, permitiendo establecer y/o descartar sectores que fueron vulnerados por este tipo de prácticas clandestinas a partir de anomalías geoeléctrico-resistivas cuya unidad de medida es el ohm por metro ($\Omega \cdot m$).

En el área de estudio se presentó un incremento en la resistividad posiblemente asociada a una compactación desigual en el relleno de las fosas. El aumento fue más evidente en la medición a corto plazo (10 días) que a largo plazo (ocho meses después); tal comportamiento es atribuible a que, con el tiempo, el subsuelo recupera su homogeneidad y las variaciones comienzan a ser mínimas.

Palabras clave: prospección eléctrica, tomografía de resistividad eléctrica, anomalía geoeléctrico-resistiva, inhumación, fosas clandestinas, ohm^*m .

I. Prospección eléctrica-tomografía de resistividad eléctrica

La prospección eléctrica ha permitido, de manera indirecta, escudriñar el subsuelo terrestre (Avilés et al., 2020; Molina, 2014; Sagripanti et al., 2013; Sagripanti et al., 2017; Jakubovskii et al., 1980) con la finalidad de establecer el comportamiento litoestratigráfico y sus alteraciones y/o anomalías a poca profundidad (decenas de metros), así como a profundidades considerables (varios cientos de metros), de manera horizontal y vertical, a partir de la medición de resistividad eléctrica: el opuesto de la propiedad de conductividad.

La conductividad eléctrica de cualquier medio es una combinación de dos parámetros distintos: la conductibilidad iónica — donde los flujos actuales son la vía del movimiento del ion libre en un estado fluido — y la conductibilidad electrónica — en la que los flujos actúan por el intercambio del electrón en un estado sólido —. Excepto en la presencia de grandes porcentajes de minerales conductivos vinculados, como los depósitos del sulfuro macizos, la conducción iónica es dominante.

La litología (es decir, la roca) controla la conductividad en virtud de la permeabilidad (no simplemente la porosidad). Una excepción parcial es la presencia de minerales de arcilla saturados, donde la conducción iónica es importante. Esto es particularmente importante en la exploración de los recursos geotérmicos ya que, en la práctica, el objetivo es el (conductivo) de la alteración arcillosa.



Dado que existe cierta permeabilidad, la conductividad del fluido en los poros controla la resistividad volumétrica del medio. En el caso ideal la relación es simple, como está descrito en la Ley de Archie (Figura 1).

Figura 1. Fórmula en Ley de Archie

$$\rho = \alpha \phi^{-m} \rho_w \quad \Omega m$$

Nota. ρ es la resistividad volumétrica, ϕ la porosidad, ρ_w la resistividad del fluido en los poros y “ α ” y “ m ” son constantes relacionadas a la composición de la roca.

En los sitios en los que la litología es simple, se esperaría detectar el contraste de resistividad debido al límite no saturado/saturado en el nivel freático, a los cambios grandes en la permeabilidad, o a la conductividad del fluido y el volumen de arcilla. Por consiguiente, una interpretación útil sólo es posible si se dispone de medios independientes de evaluar la importancia relativa de cada uno de estos factores.

II. El proceso

Se realizaron tres levantamientos de TRE distribuidos en dos campañas materializadas en el Polígono 1, ubicado en el municipio de Tonalá, Jalisco — en donde se distribuyeron 16 fosas (cuatro filas y cuatro columnas) en las cuales se sepultaron porcinos con diferentes tratamientos y profundidades —.

La primera campaña se desarrolló el 9 de junio del 2023; 10 días después de la inhumación de los ejemplares.

Se efectuaron seis tendidos de TRE con arreglo dipolo-dipolo de 28.2 metros de longitud, con 48 electrodos 0.6 metros. Dos tendidos se realizaron en zona sin fosas para establecer el comportamiento del subsuelo sin alteraciones¹, hasta una profundidad de cinco metros. Los

1 Es decir, el propósito de este levantamiento fue obtener parámetros de “control”.

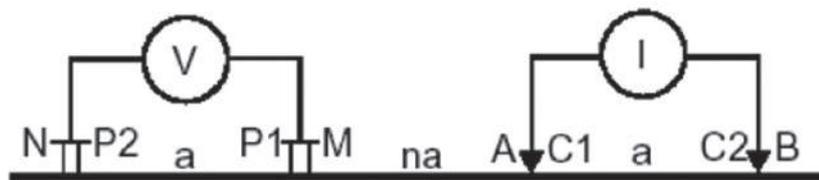
otros cuatro tendidos TRE (con las mismas características de arreglo en campo) se hicieron sobre las cuatro líneas de fosas, en orientación sur-norte.

Ocho meses después, el 13 de febrero de 2024, se llevó a cabo una segunda campaña. En ésta se realizaron cuatro tendidos TRE sobre las líneas de fosas, pero perpendiculares al primer levantamiento. Esto, con la finalidad de compactar la separación de electrodos a una equidistancia de 0.25 metros y así tener una mayor resolución en el comportamiento resistivo del subsuelo, obteniendo información a detalle hasta una profundidad de dos metros.

Para la tomografía eléctrica se aplicó el arreglo dipolo-dipolo (Figura 2) toda vez que entrega información 2D del terreno y es muy utilizada en la exploración hidrológica, geológica, estratigráfica y mineralógica. Y ahora, también, como herramienta de ayuda en las ciencias forenses.

Además el arreglo presenta una alta resolución para los contrastes laterales de resistividad, tiene una resolución mayor en niveles cercanos a la superficie y muestra un mayor número de mediciones, por lo tanto, es pertinente para encontrar estructuras verticales (como cavidades) u horizontales (como diques o capas sedimentarias).

Figura 2. Arreglo dipolo-dipolo



Fuente: Iakubovskii & Liajov (1980).

Nota. I= Inyección y medición de corriente eléctrica, V = Medición de la diferencia de potencial, A y B= electrodos de corriente, M y N=electrodos de potencial.

Una vez que se inyecta la corriente en el subsuelo, se genera un casquete semiesférico de radio, igual a la separación de los electrodos con el dispositivo. Con la corriente aplicada y el diferencial de potencial se calcula la resistividad aparente, que es igual a la diferencia de potencial medido entre la corriente inyectada multiplicando el residuo por K (coeficiente geométrico del dispositivo), la cual se obtiene dependiendo del arreglo utilizado, quedando de la siguiente manera:

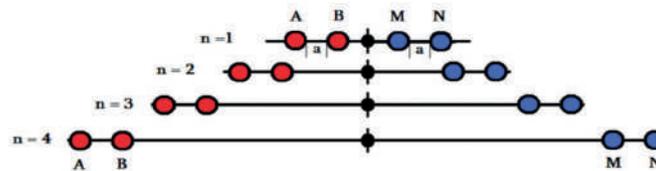
$$\rho = \frac{\Delta V}{I} K$$

Para el arreglo dipolo-dipolo el factor geométrico K se despeja a partir de la siguiente fórmula:

$$k = \pi n(n+1)(n+2)a$$

Es de resaltar que, la sección 2D del subsuelo, se obtiene a partir de la adquisición de mediciones de resistividad, realizadas con un cuadrípulo de electrodos. En una geometría determinada, posteriormente se aplica un algoritmo de inversión, con el programa RES2DINV ver. 4.02 (GEOTOMO SOFTWARE, 2013), para obtener una imagen eléctrica (un modelo de resistividad verdadera). Una desventaja de este arreglo es la pérdida de señal a valores grandes del factor “n”.

Figura 3. Esquema simplificado de una tomografía eléctrica con arreglo dipolo-dipolo



Fuente: Geotomo Software (2013).

Una descarga eléctrica te puede revivir, creemos que también te puede encontrar:
aplicación geofísica

El equipo utilizado es marca Iris Instruments, Prosys II, v.3.14, modelo SYSCAL PRO, fabricado en Francia (Figura 4). Las especificaciones del transmisor son las siguientes:

- Rango de inyección automática.
- Intensidad de corriente hasta 2.5 A.
- Voltaje de hasta 1000 V (1500 V con un convertidor externo DC/DC).
- Hasta 250 W (500 W con un convertidor externo DC/DC).
- Duración pulsos: 0.2, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, u 8 s.

Figura 4. Equipo de resistividad utilizado



Fuente: elaboración propia.

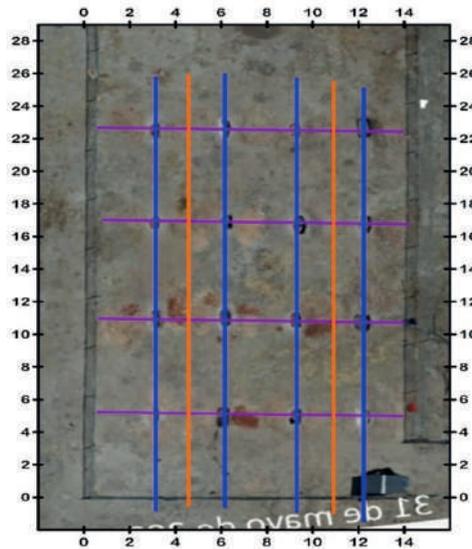
III. Interpretación

Los resultados adquiridos, posterior a su procesado e inversión, permitieron generar una imagen en dos dimensiones de la configuración resistiva del terreno, la cual está directamente relacionada con las propiedades de cohesión y saturación de los materiales del Polígono 1.

Asimismo, al correlacionar las líneas realizadas en cada una de las etapas (Figura 5) se construyó un modelo en tres dimensiones.

Para la interpretación se asignó una escala de colores que permite observar de una mejor manera los sitios en donde se obtuvieron valores de mayor o menor orden de acuerdo con los rangos adquiridos y respaldado con la configuración geológica de la zona, que establece la presencia de materiales pumítico-arenosos (jal) y sedimentos limo-arcillosos.

Figura 5. Distribución de los tendidos de tomografía eléctrica realizados en el Polígono 1



Fuente: elaboración propia.

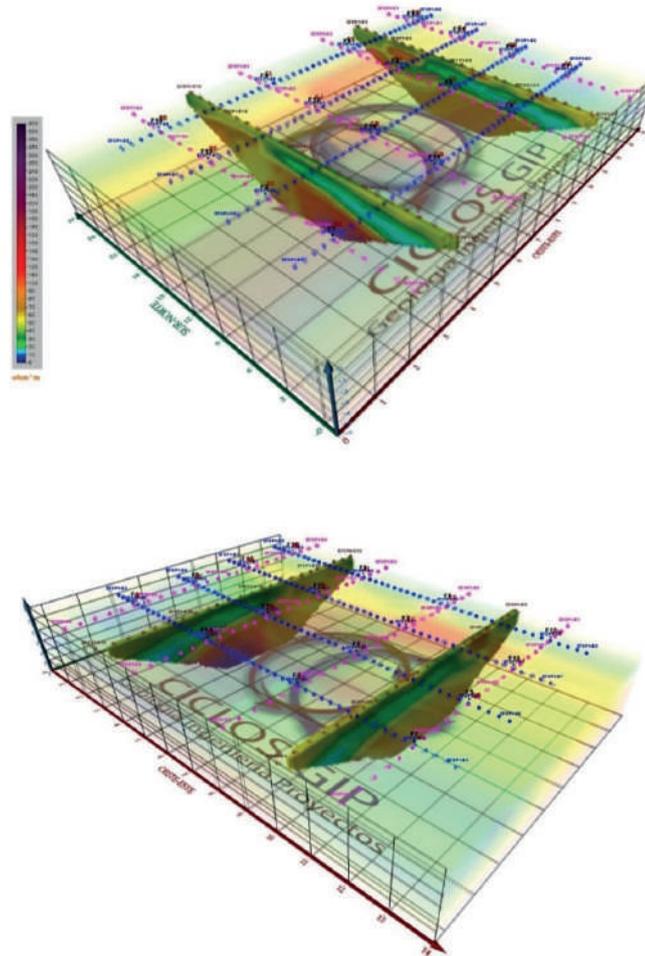
Nota. En color azul el primer levantamiento post construcción de fosas (10 días después). En color púrpura el segundo levantamiento post construcción (8 meses después).

Como anteriormente se describió, en el primer levantamiento se realizaron dos líneas TRE de control sobre terreno natural (sin haber sido afectado por la construcción de las fosas) obteniendo información hasta cinco metros por debajo del suelo. En una profundidad de 1-1.5 metros, aproximadamente, se precisó un comportamiento resistivo homogéneo con rangos del orden de los 30-60 $\Omega \cdot m$ (coloración verde-amarilla). En este sector es en el que quedaron instaladas las 16 fosas: ocho con una profundidad de 0.75 metros y ocho más con 1.25 metros profundidad.

Hacia los sectores centro y sur se observó el decaimiento en los rangos resistivos, promediando valores menores a los 30 $\Omega \cdot m$ (impresos en color azul). Inferior a esta capa bajo resistiva, hacia el sector sur y por debajo de la capa superficial en el sector norte, se identificó el incremento progresivo en los rangos geoelectrónico resistivos, promediando principalmente valores por encima de los 60 $\Omega \cdot m$ (coloración amarilla-café-roja).

Así, quedaron establecidos los valores que se tomaron para dimensionar el comportamiento inicial del Polígono 1. A partir de éstos, se buscaron anomalías bajo y/o alto resistivas; en otras palabras, variaciones en los valores de resistividad asociadas a la presencia de las fosas clandestinas (Avilés et al., 2020; Molina, 2014; Quiroz, 2020).

Figura 6. Distribución espacial y comportamiento de las líneas de control con orientación sur-norte previo a la construcción de las fosas



Fuente: elaboración propia.

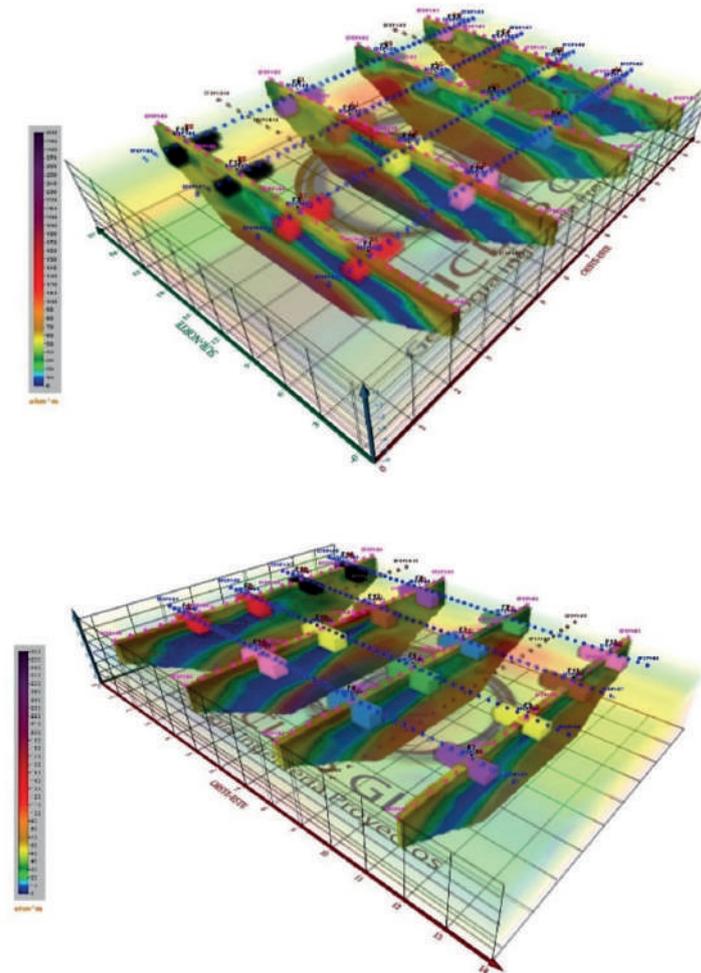
Nota. La escala horizontal fue exagerada 3 a 1 para una mejor visualización de los tendidos TRE.

En el levantamiento TRE representativo del subsuelo ya afectado por la construcción de fosas e inhumación de porcinos, por debajo de los 1-1.5 metros de profundidad se reconoció un comportamiento geoelectrico-resistivo similar al identificado en los tendidos de control previamente descritos: con el sector centro-sur con rangos resistivos de bajo orden (materiales conductivos en tonalidades azules), y por debajo de esta capa y hacia el norte, se continuó imprimiendo el incremento en los rangos resistivos con coloración amarilla, café, roja y morada.

Esta correlación resistiva, entre el levantamiento previo y el posterior a la excavación de las fosas permitió definir que el terreno virgen (sin manipular) del Polígono 1 no ha recibido afectación por lixiviados o cualquier otro residuo producto de la descomposición de los porcinos.



Figura 7. Distribución espacial y comportamiento de los tendidos TRE con orientación sur-norte tras 10 días de las inhumaciones (10 de junio de 2023)



Nota. En prismas se muestran las ubicaciones de las fosas por código de colores: rojo, sin cuerpo; negro, reducción esquelética; rosa, cuerpo quemado; amarillo, cuerpo dentro de bolsa; morado, cuerpo con cal; verde, cuerpo seccionado; azul, cuerpo completo y café, cuerpo con cobija.

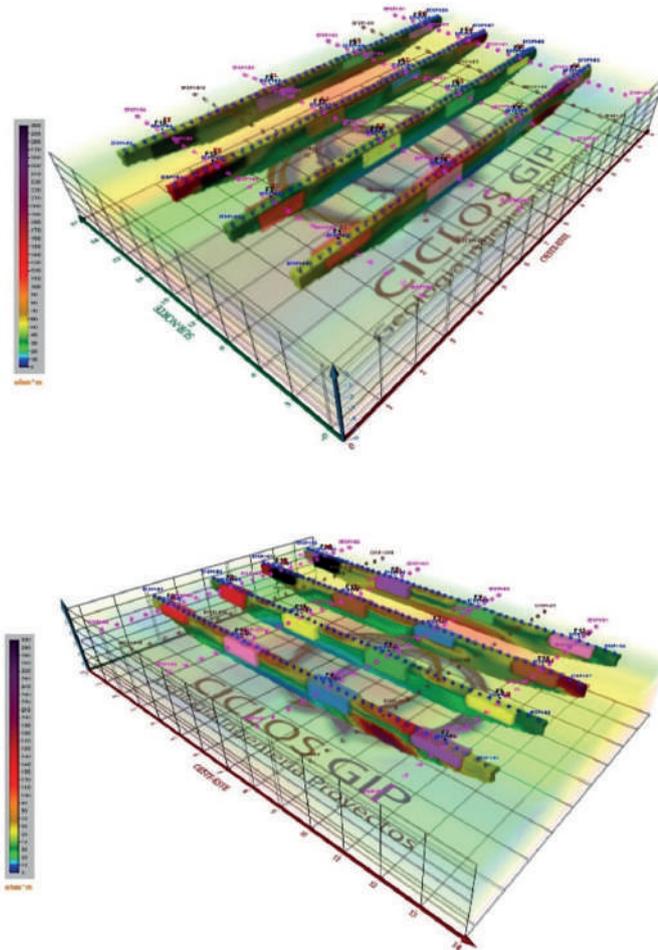
En comparación con el levantamiento en el sector superficial, hasta los 1-1.5 metros de profundidad se apreció un ligero incremento en los rangos resistivos adquiridos, previo, alcanzando valores por encima de los $60 \Omega \cdot m$ (en tonalidades amarillas a rojas). Este crecimiento se adjudicó a una mayor porosidad en los materiales arenosos, producto de la remoción, inhumación y relleno de las fosas con el mismo material, pero con otro nivel de compactación; es decir, al generarse más huecos por material suelto, la corriente eléctrica inyectada al subsuelo sufre mayor resistencia a su paso debido a que ésta no se transmite por el aire.

Finalmente, con el levantamiento realizado el día 13 de febrero del 2024², se identificó en todo el sector superficial un ligero decremento en los rangos geoeléctrico-resistivos, promediando valores por encima de los $30 \Omega \cdot m$ (coloraciones verdes a moradas).

Este ligero decremento se explica por el continuo tránsito peatonal que se tuvo en el Polígono 1, el cual funge como apisonador, compactando el material de relleno de las fosas.

2 Como se describió, el segundo levantamiento TRE se efectuó 8 meses después de la inhumación porcina y, en éste, se decidió cerrar el espaciamiento de los electrodos a 0.25 metros, sacrificando profundidad (2 metros de profundidad de investigación, específicamente), pero obteniendo mayor detalle del sector comprendido por las fosas construidas en un rango de 0.75-1.25 metros.

Figura 8. Distribución espacial y comportamiento de los tendidos TRE con orientación oeste-este a ocho meses de las inhumaciones (13 de febrero del 2024)



Nota. En prismas de colores se muestran las ubicaciones de las fosas por código de colores: rojo, sin cuerpo; negro, reducción esquelética; rosa, cuerpo quemado; amarillo, cuerpo dentro de bolsa; morado, cuerpo con cal; verde, cuerpo seccionado; azul, cuerpo completo y café, cuerpo con cobija.

V. Conclusiones

Los métodos geofísicos, como la prospección eléctrica, son técnicas indirectas que, a partir de parámetros físicos obtenidos desde superficie, buscan dar solución al problema requerido. El procesamiento e interpretación tiene la capacidad de modelarse (de forma unidimensional, bidimensional, tridimensional e incluso 4D) para explicar el comportamiento del subsuelo, como terreno natural o con afectaciones.

En la presente investigación se aplicó la técnica de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) como herramienta complementaria en la búsqueda y localización de sectores con presencia de fosas clandestinas. Específicamente, el método se utilizó en el espacio experimental denominado como Polígono 1, donde —controladamente— se inhumaron porcinos.

Con los rangos geoelectrónico resistivos adquiridos y agrupados, se pudieron establecer tres principales sectores: el primero, de corte superficial, se prolongó hasta una profundidad de 1-1.5 metros, considerándose como el de principal interés, debido a que ahí se ubicaron las 16 fosas para el experimento.

Con los tres levantamientos realizados (en dos campañas) se identificaron cambios en los rangos geoelectrónicos adquiridos, obteniendo datos representativos de las condiciones previas a las inhumaciones, posteriores a las mismas (diez días después de la deposición de los cerdos) y ocho meses después de las sepulturas. Así, se logró un modelo 4D del Polígono 1³.

La comparativa entre los primeros dos levantamientos establece un incremento en los rangos resistivos adquiridos en el sector 1. Esto se adjudicó, principalmente, a la remoción de material arenosos (presente en la zona de estudio) y a la mala compactación del suelo, una vez que fueron depositados los porcinos y rellenas las fosas.

En el tercer levantamiento se presentó una ligera disminución en los rangos resistivos adquiridos, en comparación con el segundo. Lo anterior se vinculó al constante paso peatonal que propició la investigación multidisciplinaria, ayudando a la compactación, evidenciada por un ligero hundimiento en superficie.

Este comportamiento permite definir un mayor contraste en los rangos resistivos adquiridos a poco tiempo de haber sido realizadas las excavaciones, sobre todo si éstas se



realizan en materiales porosos, como arenas, y no se efectúa una compactación similar al terreno proximal no vulnerado.

Otro dato relevante evidenciado fue el comportamiento de la resistividad, en el transcurso del tiempo. Este estudio permitió definir un regreso al comportamiento original (previo a las inhumaciones) del subsuelo, lo cual sugiere que el terreno busca su homogeneidad, o bien, que los cambios en los valores resistivos ya no son tan evidentes como en una medición relativamente cercana a la fecha de excavación.

Esta premisa de homogenización del subsuelo es coincidente con la investigación realizada por Berezowsky et al. (2013): en el seguimiento prolongado a una inhumación, entre los meses 58 y 69, se encontraron comportamientos resistivos similares a los originales; sin embargo, a los 78, una anomalía identificada en un inicio se redujo drásticamente en tamaño.

En casos no simulados, la medición de terreno previo a la construcción de una fosa clandestina es prácticamente imposible. Sin embargo, se puede solventar haciendo levantamientos de control sobre sectores cercanos libres de alguna perturbación.

La aplicación geofísica no es definitiva ni definitiva en la búsqueda e identificación de fosas clandestinas, pero, en conjunto con otras disciplinas, u otros métodos geofísicos (no solo la TRE), sí permiten determinar perturbaciones y/o anomalías en el subsuelo que represente la existencia de una fosa y/o un cuerpo ajeno al terreno.

Referencias

- AVILÉS, L., CAÑAR, M., REYES, M. & MULLO, C. (2020). *Geofísica aplicada a la búsqueda de restos óseos en el Ecuador*. Pro Sciences: Revista De Producción, Ciencias E Investigación, 4(34), 42–49. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss34.2020pp42-49>
- BEREZOWSKY, V., MOFFAT, I., SECKINER, D., CREBERT, I., ELLI, J. & MALLETT, X. (2024). *The suitability of using domestic pigs (Sus spp.) as hua proxies in the geophysical detection of clandestine graves*. Journal of Forensic Sciences 69, 316-328 <https://doi.org/10.1111/1556-4029.15419>
- GEOTOMO SOFTWARE (2013). “RES2DINV” v. 4.02. *Procesing software*. Malasya
- IAKUBOVSKII, V. & LIAJOV, L. (1980). *Exploración Eléctrica*. Editorial Reverté.
- MOLINA, C. (2014). *Aportes de la geología forense en la investigación criminal en Colombia*. Geología Colombiana, 37, 171-178.
- O’ NEILL, D. (1975). *Improved linear filter coeficients for applications in apparent resistivity computations*. Bull. of the Australian Society of Exploration Geophysicist. V. 6.
- QUIROZ, D. (2020). *Métodos de exploración geofísica somera aplicados a la caracterización de inhumaciones: caso experimental y real*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional de la UNAM.
- 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, 70 (1), 150-160.
- SAGRIPANTI, G., VILLALBA, D., AGUILERA, D. & GIACCARDI, A. (2017). *Avances de la geología forense en Argentina: búsqueda con métodos no invasivos de personas víctimas de desaparición forzada*. Boletín de Geología, 39 (3), 55-69. <https://www.redalyc.org/journal/3496/349653053004/html/>









Capítulo 8



Reflejos de una búsqueda: el uso del Radar de Penetración Terrestre (GPR) para la detección de inhumaciones clandestinas

Melina Gil Meza, Uriel Gutiérrez Mendiola y Dorian Quezada Esparza
Contribución arbitrada

Resumen

El análisis de las ondas electromagnéticas representa la posibilidad de aplicar la geofísica para la localización de víctimas de desaparición, que se encuentran ilegalmente inhumadas.

Con este objetivo, en el municipio de Tonalá, Jalisco, en el área denominada como Polígono 1 del proyecto de investigación forense interinstitucional, coordinado por la Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas Desaparecidas del Estado de Jalisco (COBUPEJ), se efectuó un levantamiento con un georradar o Radar de Penetración Terrestre (GPR, por sus siglas en inglés) en un espacio con fosas controladas realizadas a dos profundidades: 0.75 y 1.25 metros.

El análisis se aplicó 10 meses después del depósito de cuerpos (porcinos), sepultados con diferentes tratamientos (cubiertos con cal, bolsas plásticas negras, cobijas de algodón y poliéster; también se incluyeron cuerpos incinerados y en reducción esquelética).

A partir del estudio, de alcance exploratorio, se observó la existencia de tres estratos de degradación manifestados con el comportamiento electromagnético y la coincidencia de la ubicación de más del 80 % de los límites de las fosas con la existencia de reflejos.

Igualmente se aporta que, 56 % de las reflexiones, mostraron una sutil curvatura a manera de hipérbola. Dicha situación se asocia con la excavación para la realización de fosas, más que al proceso propio de descomposición.

Palabras clave: electromagnetismo, georadar, Radar de Penetración Terrestre (GPR), geofísica forense, inhumación, fosa clandestina.

I. Introducción

Las aplicaciones de la geofísica, ciencia natural que estudia la dinámica interna y externa del planeta Tierra con todos sus procesos y transformaciones (Molina, 2014, p.172), se han trasladado al campo de investigaciones de contextos violentos. Criminales.

Entre las posibilidades de esta disciplina se encuentra la detección y reconocimiento de objetos o estructuras que se encuentran por debajo de la superficie, a través del uso de dispositivos como el georadar ó Radar de Penetración Terrestre (GPR): una tecnología que emite pulsos de energía electromagnética y registra las señales reflejadas de forma diferenciada, según los objetos que detecte.

Esta herramienta, bajo la visión de la geofísica forense, no ha sido ajena a diversos procesos de búsqueda y localización de restos humanos que se encuentran inhumados, implementados en Europa y América Latina.

En el proyecto de experimentación forense¹ se precisó entender cómo se comporta la reflexión de ondas electromagnéticas ante la presencia de cuerpos —de porcinos— enterrados con la réplica de las características más comunes detectadas en víctimas de desaparición, localizadas de forma post mortem en el estado de Jalisco.

Además de comprender la actividad por la presencia *per se*² del contenido de las inhumaciones, se asumió como objetivo el análisis de la propagación electromagnética en un espacio que conjuga tierras a nivel con suelos limoarcillosos, predominancia de roca toba

1 Es decir, el proyecto de investigación interinstitucional que da pie a la presente publicación.

2 Por sí misma. En este caso, la locución se refiere a que, naturalmente, el comportamiento de las ondas se vería afectado, en primera instancia, por la remoción de la tierra y los cuerpos inhumados. Sin embargo, la intención es analizar no sólo esta situación evidente, sino su combinación con las características físicas del entorno.



y clima templado subhúmedo (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, s.f.; Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2021c; Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2021d; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2023).

Es decir, la particularidad de esta investigación exploratoria es el acercamiento a condiciones más cercanas que las realizadas previamente en contextos internacionales. Esto, con la mira en potenciar el conocimiento del comportamiento de la naturaleza —aún de sus fenómenos complejamente perceptibles a simple vista, como es el electromagnetismo— en territorios del occidente de México donde exista la posibilidad de localizar y restituir a personas desaparecidas.

II. Los antecedentes

Electricidad y magnetismo conforman una vinculación indisoluble que se presenta y expresa de forma constante.

La electricidad tiene su origen en los átomos, las partes más pequeñas de la materia que son imposibles de descomponer químicamente. Se integran de partículas denominadas neutrones (sin carga), protones (carga positiva) y electrones (carga negativa). Cuando estos últimos se desplazan de un átomo a otro —ya sea de forma natural o inducida— producen corriente eléctrica. En ese movimiento se generan campos que pueden ser de atracción o repulsión.

Así, a la interacción entre las cargas eléctricas y las fuerzas de imantación se le denomina electromagnetismo.

La energía que conjugan se propaga a través del espacio en forma de oscilaciones, las cuales se mueven perpendiculares entre sí y hacia la dirección de la onda. Viajan a través del espectro electromagnético, transportando luz, ondas de radio, microondas, así como rayos X, ultravioleta y gamma.

La variación de las propiedades eléctricas resistividad, permitividad dieléctrica y permeabilidad magnética son las más relevantes y tienen un impacto directo en la medición de la emisión de ondas electromagnéticas y su reflejo (Annan, 2009, pp.6-8; Cassidy, 2009, pp. 43-55).



La resistividad es la capacidad con la que un material se opone al flujo de la corriente eléctrica, por lo que condensa las ondas electromagnéticas (su opuesto es la conductividad).

Entre los aislantes se encuentran los denominados *dieléctricos* que cuentan con el atributo de la permitividad: una constante que representa la interacción entre un campo eléctrico y un material no conductor (Olarte et al., 2010, p. 223). Para el uso del Radar de Penetración del Terreno (GPR, por sus siglas en inglés), utilizado en la presente investigación, resulta relevante dado que implica la velocidad con que las ondas penetran un terreno.

En lo que respecta a la permeabilidad magnética, que es un parámetro físico que mide la capacidad para conducir o transmitir un campo magnético, se considera como el factor que permite atenuar o acrecentar el comportamiento del reflejo que se registra con el método de GPR (Annan, 2009, pp. 6-8; Cassidy, 2009, pp. 43-55). La intención final con éste, es la identificación de cualquier anomalía en la reflexión, es decir, de una característica o patrón inusual que destaque del trazo homogéneo, y pueda indicar objetos, cavidades, estructuras, entre otros.

Ante la presencia de restos o cuerpos, se ha distinguido la expresión sutil de la actividad electromagnética en forma de una hipérbola³, de pequeñas dimensiones, pero que puede ser variable en función de la presencia de otros elementos (Áviles et al., 2020; Sagripanti et al., 2013; Rivera, 1994, párr. 5). La compactación que presenta el suelo también muestra formas susceptibles de cuantificarse (Rivera, 1994, párr. 5).

Molina (2016, p. 1-3, 11) distingue diferentes momentos de la aplicación geofísica para la búsqueda evidencia forense y fosas clandestinas; los más antiguos se remontan hasta la década de los setenta.

En esos intervalos se conocen diferentes ejemplos prácticos implementados en el mundo: en 1994, las autoridades británicas aplicaron el uso de una tecnología (privada) para, con la reflexión electromagnética, detectar cuerpos ocultos en un domicilio de Gloucester, en Reino Unido (Rivera, 1994, párr. 1-6). Asimismo, la herramienta ha sido utilizada para la búsqueda de víctimas de la Guerra Civil Española (Ferrer, 2020).

En Argentina, desde el año 2004, investigadores de las universidades nacionales de Río Cuarto y San Luis han trabajado en conjunto con autoridades públicas, organismos de derechos

3

Anomalía en forma de curva abierta que es simétrica respecto a dos ejes que se cruzan perpendicularmente entre sí.



humanos, el Equipo Argentino de Antropología Forense (EAAF) y familiares de personas desaparecidas para ubicar sitios de enterramientos clandestinos de víctimas de desaparición forzada (Sagripanti et al., 2017, párr. 10-11). La prospección se ha enfocado en profundidades menores a tres metros.

En una de las investigaciones desarrollada en Ecuador (Áviles et al., 2020), con el método geofísico georradar y una antena de 250 MHz⁴, se implementaron pruebas experimentales en una fosa de un metro de profundidad en suelos no homogéneos, donde se colocaron restos de un *Canis lupus familiaris* de 0.80 metros de largo, levantando análisis en tres temporalidades.

Según documentaron Avilés et al. (2020), la formación de las hipérbolas relacionadas a la descomposición fue en extremo sutil, con probabilidad de enmascarse en función de la existencia de objetos, como tuberías. No obstante, concluyó que la remoción de suelos y restos óseos se puede evidenciar con mayor facilidad en profundidades de 0.80 metros, hasta después de 38 semanas de la inhumación (Avilés et al., 2020, p. 47).

Uno de los estudios de métodos geofísicos más amplios se produjo en tierras colombianas (en las ciudades de Mosquera y Villavicencio), donde se simularon 12 fosas, a tres profundidades (0.50 metros, 0.80 metros y 1.20 metros). En las inhumaciones se colocaron tres cerdos con medio cuerpo cubierto por prendas, tres esqueletos humanos, tres huesos quemados y tres inhumaciones se dejaron vacías, como control⁵ (Molina, 2016, pp. 17-37). Para el uso del georradar se utilizaron antenas de frecuencias de 250 MHz y 500 MHz.

La investigación determinó una mayor complejidad de detección en los objetivos más alejados de la superficie, aunado a la identificación de la influencia de suelos arcillosos húmedos en la generación de pérdida de información (en contraste con las áreas secas, que proveyeron mejores datos). El registro de alteraciones en el terreno fue variado; las fosas vacías, esqueletos y cerdos mostraron mejores anomalías, a diferencia de los restos quemados y sus resultados mixtos. El porcino enterrado a medio metro fue el único que reflejó hipérbolas (Molina, 2016, pp. 39-100).

La factibilidad de utilizar cerdos domésticos como “sustitutos” de cuerpos humanos en la detección de fosas clandestinas, mediante métodos geofísicos, fue estudiada recientemente

4 MHz es la abreviatura de megahercios. Un megahercio es una unidad de medida de la frecuencia.

5 Se denomina “control” a aquellos sitios, sujetos, objetos que no reciben ningún tipo de impacto o tratamiento en una experimentación. Su consideración sirve para confrontar resultados respecto de los elementos que sí son intervenidos.



(Berezowski et al., 2024) Además de validar esta hipótesis, la investigación desarrollada en instalaciones australianas posibilitó el reconocimiento de que, las hipérbolas detectadas por el GPR muestran tanto el contenido de la tumba como las alteraciones del suelo asociadas a la excavación (Berezowski et al., 2024, p. 323).

En México, sostiene Quiroz, la exploración de técnicas de prospección geofísica en el campo forense es reciente, por lo que “las investigaciones de este tipo son escasas y poco estudiadas” (2020, p.7).

En este universo selecto, se identifica el trabajo pionero del antropólogo forense Talavera González quien, a inicios del siglo XXI, en los jardines de la Escuela Nacional de Antropología e Historia⁶, encabezó un estudio con fosas simuladas en las que se emplearon huesos humanos áridos y un cerdo “porque sus características bioquímicas y fisiológicas son parecidas a las de humanos”, (Talavera et al., 2000, p.13)⁷. Se colocaron los restos en seis cavidades a medio metro de profundidad, utilizando dos antenas, una de 300 MHz y otra de 900 MHz; se concluyó la pertinencia del radar como método de prospección con la capacidad añadida para distinguir tejidos blandos de restos esqueléticos (Talavera et al., 2000, pp. 13-15).

En la Ciudad de México, en la localidad de Milpa Alta, existe un antecedente más reciente, en el que se utilizaron porcinos en una inhumación experimental, para realizar exploración física somera, en investigación impulsada desde la Universidad Nacional Autónoma de México: en siete excavaciones, de hasta 1.5 metros de profundidad, se depositaron 6 cerdos domésticos. Simultáneamente se perfiló una fosa común de Morelia, Michoacán (Quiroz, 2020).

Entre los métodos aplicados, a lo largo de 15 meses, se hizo uso del GPR, logrando la delimitación del contorno de fosas (con la aparición de anomalías identificadas por líneas o cortes verticales en el subsuelo) y una eficiente resolución de reflejos producidos por las excavaciones (Quiroz, 2020, págs. 1, 102 y 105).

No obstante, para el uso del GPR — como uno de los diversos métodos existentes de Prospección Geofísica Somera —, Caccavari-Garza et al. (2020, pp. 3-4) advierten limitantes: un contraste insuficiente entre el objetivo y el suelo que rodea; que la respuesta en la propiedad física corresponda a una situación y no a un objeto; complicaciones técnicas y/o humanas; así

6 Ubicada en Tlalpan, Ciudad de México.

7 Talavera contaba con antecedentes de investigaciones previas, como una efectuada en la Universidad de Tennessee, en donde utilizaron cuerpos humanos y de cerdos.



como la presencia de “ruido”. En ese sentido, es recomendable medir más de una propiedad física y contar con “información sobre el contexto, el clima y la geología del lugar, de manera que pueda llevarse a cabo una mejor interpretación de las mediciones realizadas” (Caccavari-Garza et al., 2020, p. 4).

III. Trabajando el electromagnetismo

10 meses después de la inhumación realizada en el Polígono 1⁸ — ubicado en el municipio de Tonalá, Jalisco, sobre suelos Vertisoles, es decir, con alto contenido de arcilla—, se efectuó una medición geofísica de las 16 fosas distribuidas en el área. 14 de ellas, conteniendo el cuerpo de porcinos con características diferenciadas mientras que, las dos restantes, presentándose vacías, para control (Tabla 1).

Para el estudio del electromagnetismo se utilizó un Radar de Penetración del Terreno portátil (GPR, por sus siglas en inglés) (modelo *US Radar*) con una frecuencia de antena de 450 MHz, que permite una profundidad de 2.90 metros⁹. También se hizo uso de un el cable *Ethernet* ó RJ45 y una fuente de energía, manipulada por una persona operadora.

El GPR mide la frecuencia de los impulsos electromagnéticos desde la superficie al subsuelo y la respuesta de esos pulsos es detectada por una antena receptora, en caso de que exista una alteración (provocada por la diferencia entre las propiedades dieléctricas de los materiales), se obtiene información sobre la intensidad, tamaño y forma de la anomalía causada por la presencia de restos u objetos (Beres et al., 2001; Conyers, 2006; Ruffell & McKinley, 2008, en Molina, 2016, p. 11).

8 La fecha exacta de la medición con GPR fue el día 19 de abril de 2024. Los detalles de los polígonos de investigación se encuentran detallados en el capítulo de la obra denominado “Experimentación forense: la historia de un proyecto”.

9 Se menciona que la antena de 450 MHz profundiza a 2.9 metros. Sin embargo, esto no es una constante puesto que depende del tipo de suelo, en particular del valor de la constante dieléctrica. Así, vale la pena subrayar que el valor de 2.9 metros corresponde al tipo de suelo específico, en la fecha del sondeo.



La configuración de la antena fue la siguiente:

- Muestras por escaneo: 256.
- Promediando hardware: avg_8.
- Promediando software: 32.
- Compensación de deriva: habilitado.
- Intervalo del eje: mm_25.
- Periodo de tiempo: 51 ns.
- Tvg slope: 0.855 Db/ns.
- Tvg start: 12db.
- Desplazamiento de profundidad: #6.
- Posición de pulso 14.2.

El terreno fue limpiado de obstáculos en superficie y con los materiales descritos, en una dirección de oeste a este, se realizó una delimitación de nueve franjas ó transectos de 13.85 metros de largo (sobre los cuales se avanzó con el GPR): cuatro correspondieron a las líneas de fosas ubicadas a los 5.2, 11.3, 17.0 y 23.0 metros respecto del origen del barrido (ubicado hacia el sur) (Figura 1).

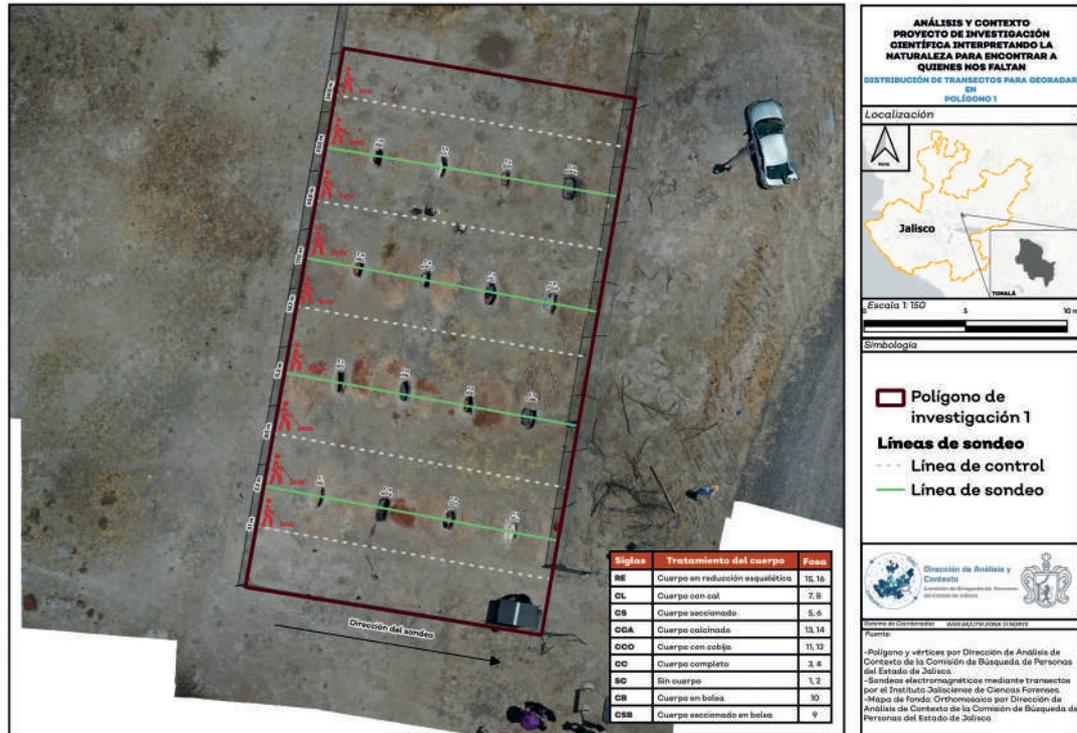
El resto del estudio se aplicó a un quinteto de franjas de control, localizadas a 3.1, 8.0, 14.7, 20.0 y 26.0 metros de distancia del punto de inicio.

Los transectos se definieron apoyados con cintas métricas fijadas con estacas, para tener un mayor control del sondeo.

Los resultados obtenidos se procesaron a través del software *US Radar Controller*, para obtener un radargrama por cada transecto: un registro gráfico en que se revela la forma de las ondulaciones.

En total, se generaron nueve radargramas. A las imágenes de los transectos que se hicieron se les aumentó el brillo y contraste en un 40 %, de forma que se percibieran mejor las posibles anomalías.

Figura 1. Distribución de transectos para georradar

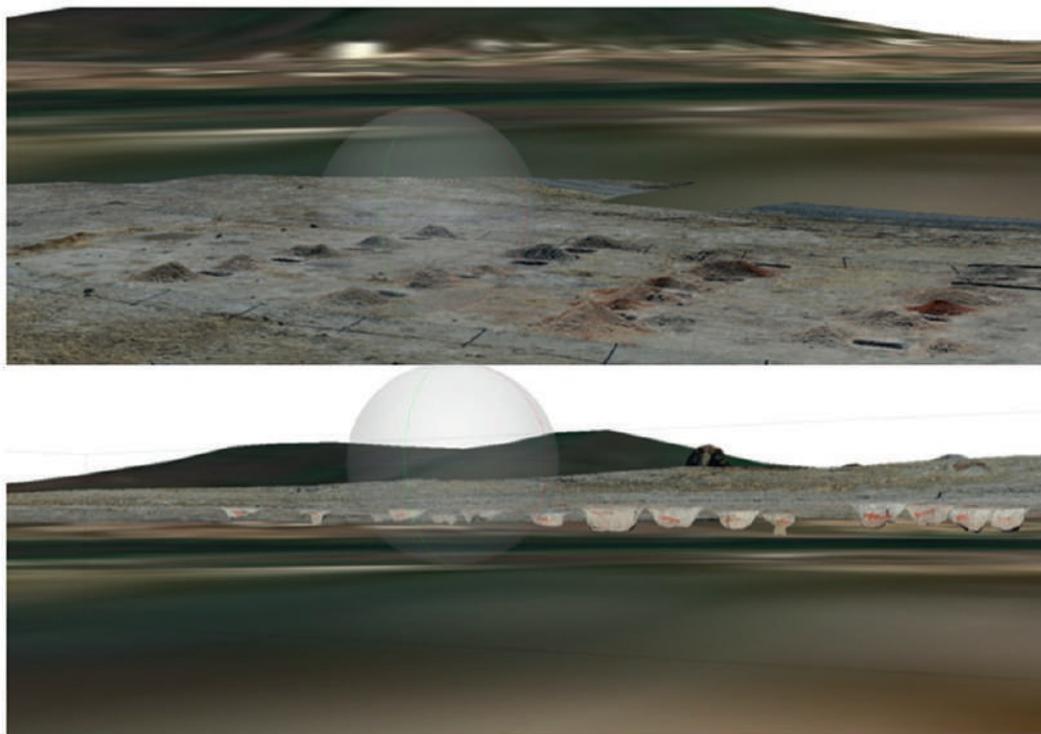


Fuente: elaboración de la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Reflejos de una búsqueda:

el uso del Radar de Penetración Terrestre (GPR) para la detección de inhumaciones clandestinas

Figura 2. Fotogrametría de superficie y profundidad de fosas



Fuente: elaboración de la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ. Las imágenes fueron tomadas con el dron Mavic 2.

IV. Los reflejos: información, resultados y hallazgos

Existen diversas técnicas de procesamiento que pueden ayudar a mejorar los resultados para tener una mejor interpretación. En ese sentido, y como parte de las limitaciones del método, es preciso manifestar que la información final no fue trabajada en el sentido de solventar la presencia de material heterogéneo en el subsuelo y conservar únicamente señales con sentido geológico (Quiroz, 2020, pp. 42-46).

No obstante, de manera exploratoria, el comportamiento electromagnético en las inhumaciones, y sus transectos de control, permitió la observación de tres niveles o estratos en los radargramas obtenidos (Figuras 3 -11):

- Estrato A, ubicado de los 0.00 a los 0.15 metros.
- Estrato B, de los 0.16 a los 0.96 metros.
- Estrato C, que abarca de los 0.97 a 2.90 metros.

Esta división se encontró de forma constante en los nueve transectos y es coincidente con la triada de tonalidades que presentan los suelos del Polígono 1.

El estrato A corresponde a la parte más superficial y, en consecuencia, representa el que ha sufrido mayor impacto por la remoción de tierra y actividad humana derivada de la propia investigación e, incluso, de labores previas realizadas en el sitio. Su condición (en el radargrama) se encuentra visiblemente expresada a través de la manifestación de una banda de color, que pierde definición al avanzar hacia los Estratos B y C, en donde se encuentran suelos limoarcillosos, mismos que complejizan el registro del comportamiento de las propiedades eléctricas.

Únicamente en el transecto ubicado a 8 metros del punto de origen, se aprecia una interrupción transversal de la definición de los tres estratos, justo a la mitad de la franja (Figura 8).

Para relacionar la ubicación de las inhumaciones y los reflejos mostrados en los radargramas, se confrontó la localización georreferenciada de las fosas y la aparición de las reflexiones (estimando su posición a partir de las distancias de los transectos).

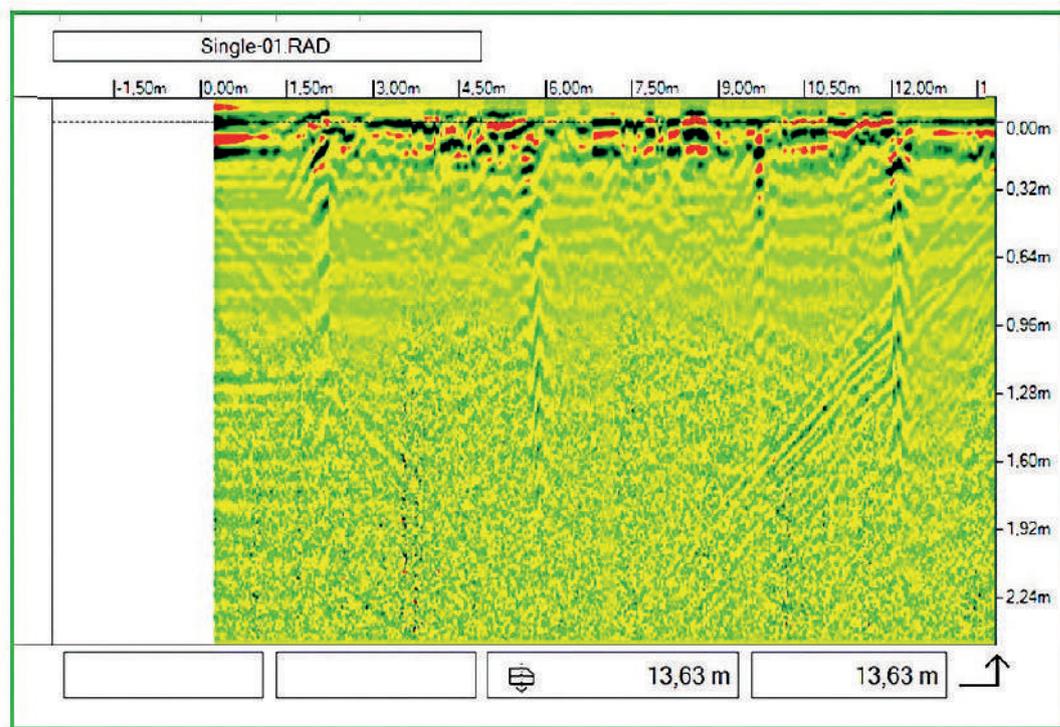
Cada radargrama con línea de fosas presentó sus propias especificidades:

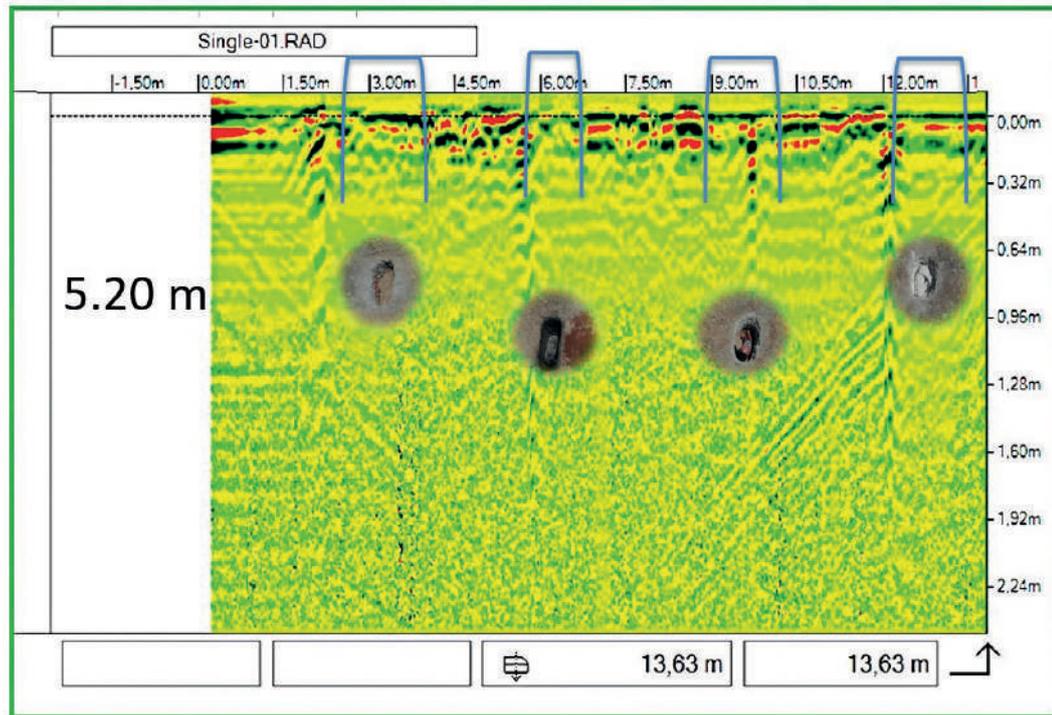
- El gráfico correspondiente al transecto, ubicado a 5.20 metros del punto de origen del sondeo, muestra reflexiones de los 0.64 a los 1.60 metros de profundidad. También se aprecian cuatro continuidades de reflejos que se extienden en un sentido coincidente a los límites de la ubicación de las excavaciones (Figura 3). Esta franja contiene dos fosas a 0.75 metros (a los extremos) y dos más a 1.25 metros (al centro de la línea). La



primera cavidad (de este a oeste) se encuentra vacía, al ser de control (F1). La contiguas contienen un porcino calcinado (F14), un cuerpo completo (F4) y un ejemplar con cal (F7).

Figura 3. Radargrama de transecto ubicado a 5.20 metros del punto de origen (F1, F14, F4 y F7, de izquierda a derecha)





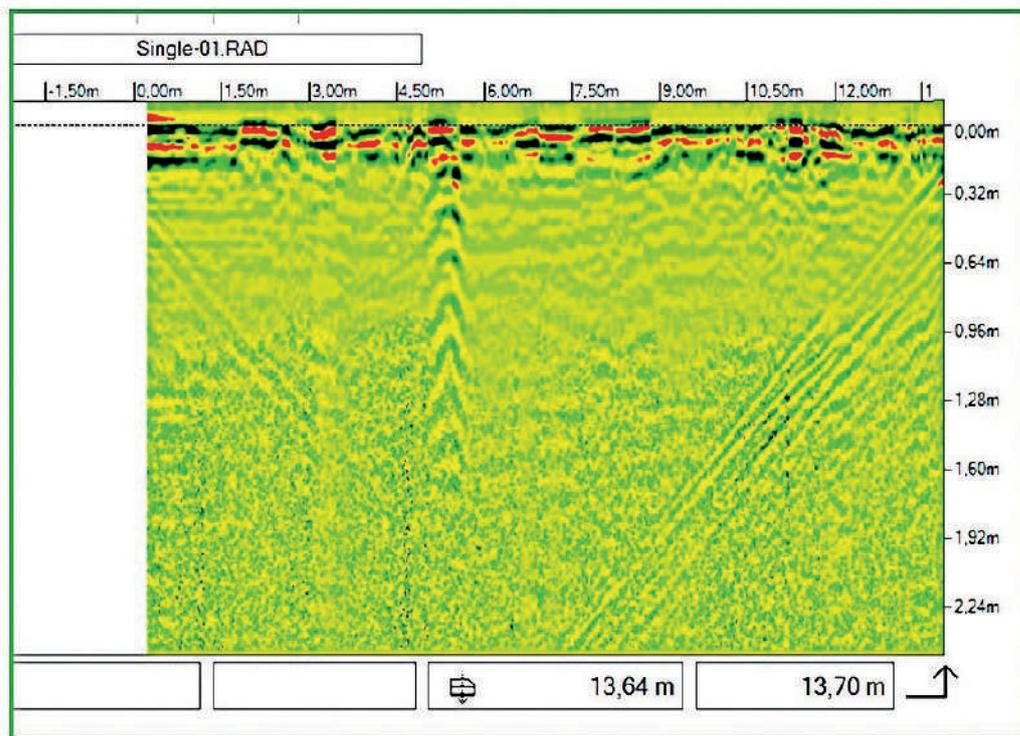
Fuente: elaboración de la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ y el Departamento de Búsqueda y Recuperación del Centro de Identificación Humana de Jalisco (CIHJ).

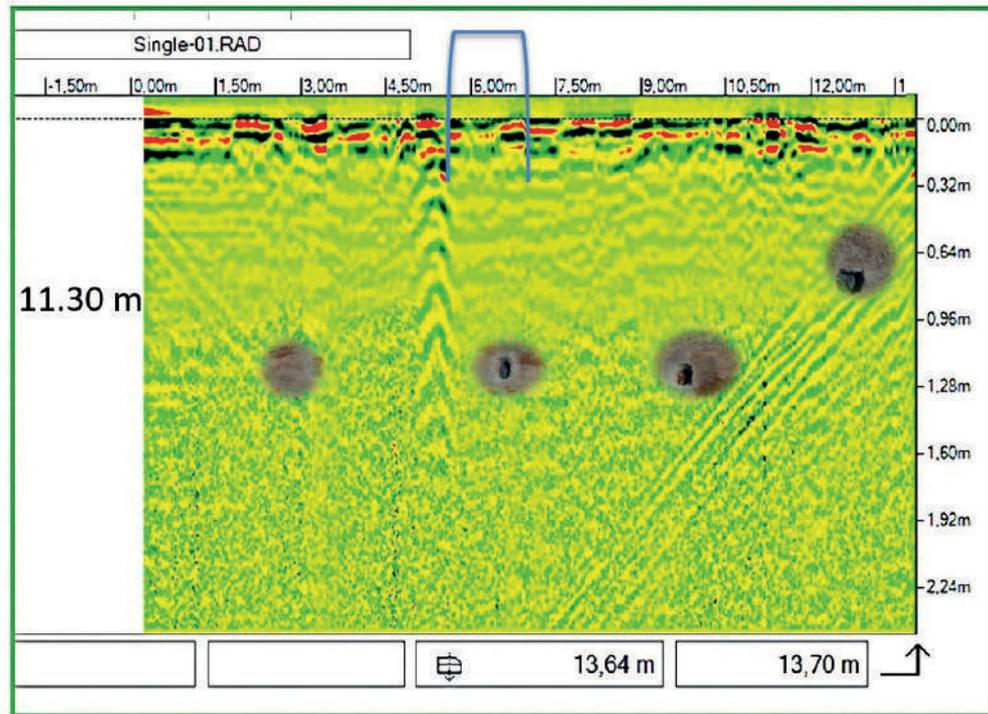
- El radargrama del transecto ubicado a 11.30 metros del punto de origen evidencia una reflexión más definida hacia la frontera de la segunda inhumación (donde se encuentra el porcino envuelto en una bolsa plástica, F10). El resto de los reflejos que coinciden con la dirección de las fosas se muestran más someros (Figura 4).

En esta franja también se encuentra una inhumación vacía (de control) (F2), un cuerpo seccionado (F6) y otro también contenido en un envoltorio plástico (F9). Las primeras tres excavaciones son a 1.25 metros, la última se ubica a 0.75 metros.

Reflejos de una búsqueda:
el uso del Radar de Penetración Terrestre (GPR) para la detección de inhumaciones clandestinas

Figura 4. Radargrama de transecto ubicado a 11.30 metros del punto de origen (F2, F10, F6 y F9)





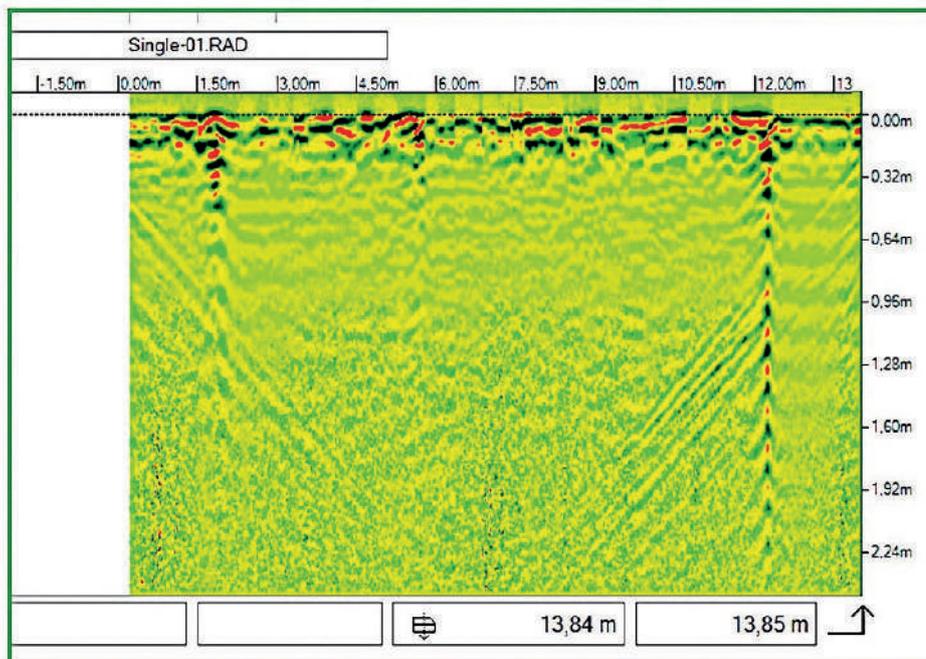
Fuente: elaboración de la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ y el Departamento de Búsqueda y Recuperación del Centro de Identificación Humana de Jalisco (CIHJ).

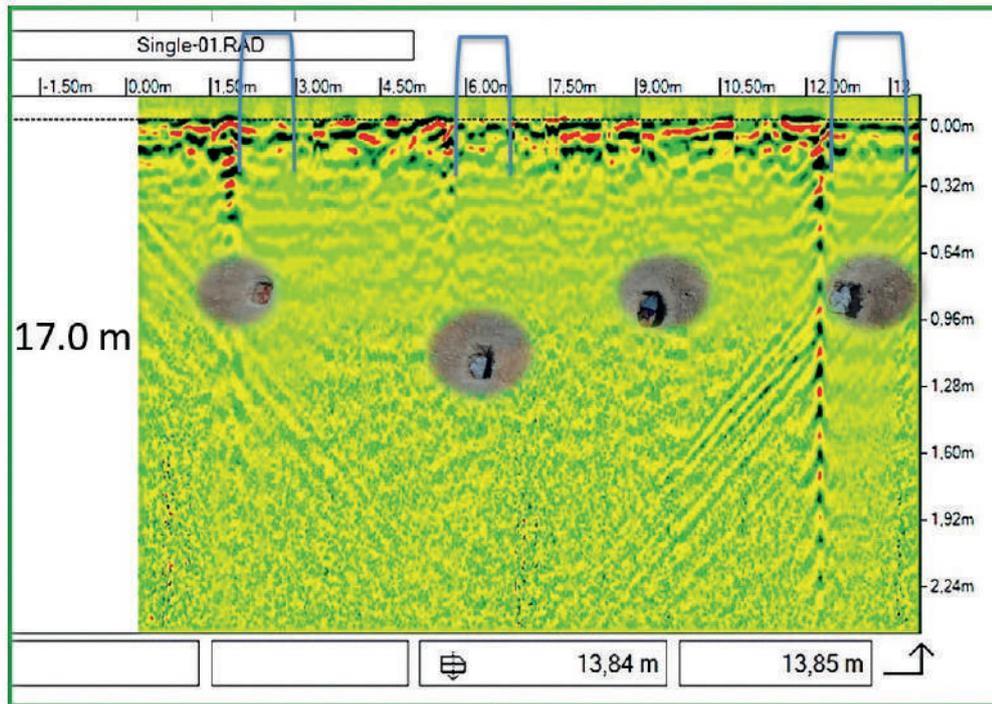
- El radargrama de la franja dispuesta a 17.00 metros del punto de origen exhibe reflejos continuos hacia los extremos, e incluso, se extienden más allá de la ubicación de los cuerpos (Figura 5).

El transecto implica, de oeste a este, las fosas en las que se depositaron un cerdo en reducción esquelética (F15), un cuerpo con cobija (F12), un porcino completo (F3) y uno más envuelto en una frazada (F11). Las excavaciones son superficiales, a 0.75 metros de profundidad, a excepción de la segunda inhumación, que se muestra a 1.25 metros.

Reflejos de una búsqueda:
el uso del Radar de Penetración Terrestre (GPR) para la detección de inhumaciones clandestinas

Figura 5. Radargrama de transecto ubicado a 17.00 metros del punto de origen
(F15, F12, F3 y F11)





Fuente: elaboración de la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ y el Departamento de Búsqueda y Recuperación del Centro de Identificación Humana de Jalisco (CIHJ).

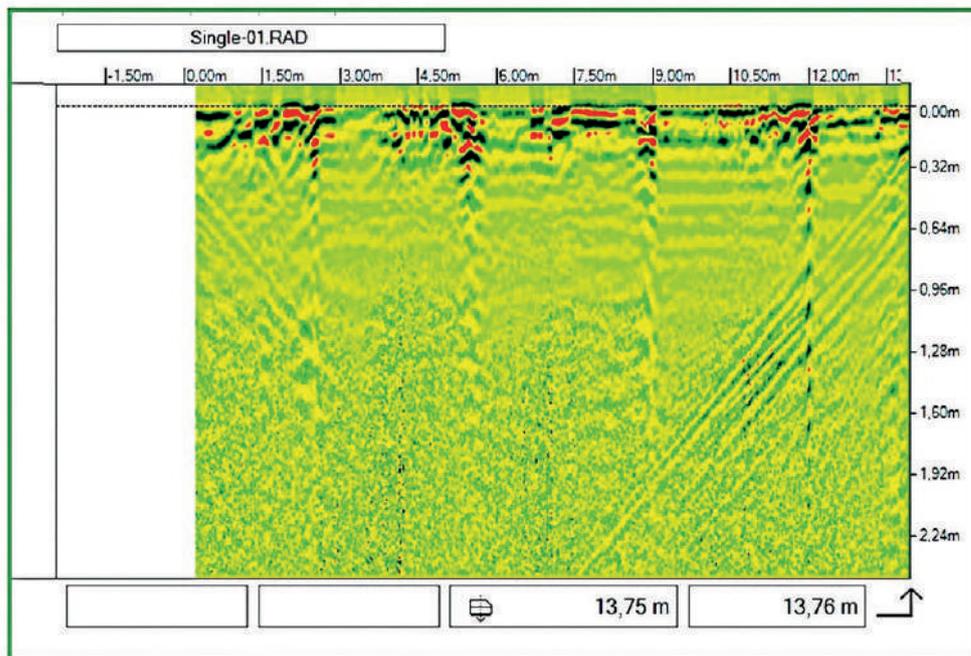
- En el gráfico de la franja asentada a 23.00 metros del punto de origen del sondeo se percibe un comportamiento seccionado de las reflexiones superficiales: dicha fragmentación se muestra de forma similar a la distribución de las excavaciones, sugiriendo una delimitación de los límites de las oquedades, captadas por el GPR (Figura 6).

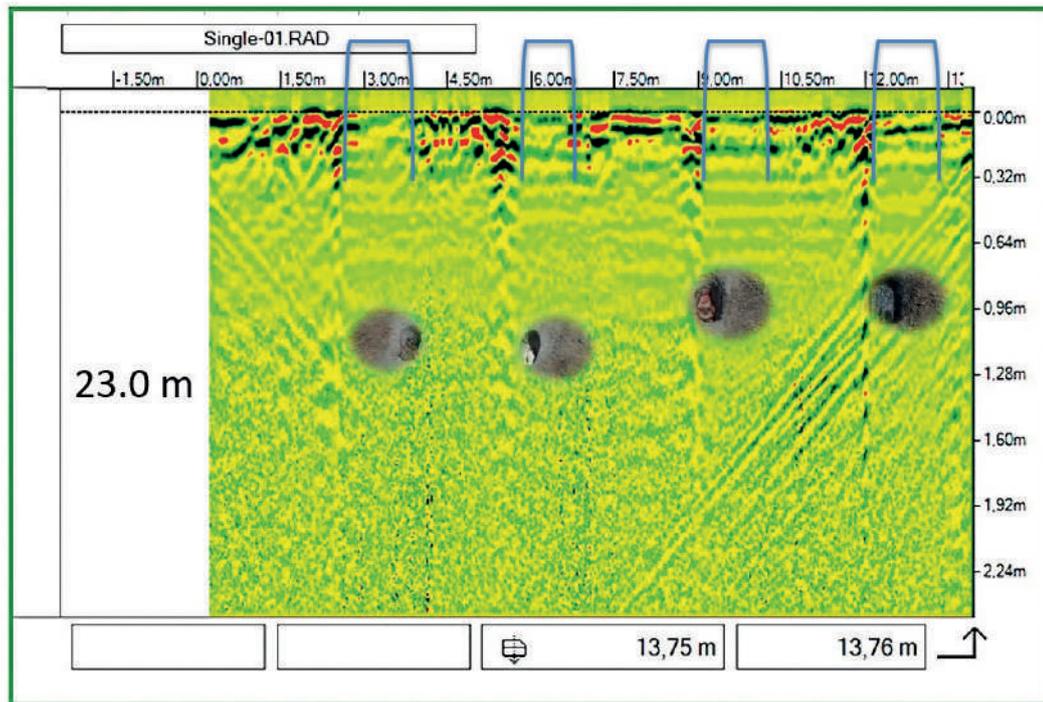
En este transecto se ubica un cuerpo en reducción esquelética (F16), un cerdo con cal (F8), un porcino seccionado (F5) y otro más calcinado (F13) (los dos primeros sepultados a 1.25 metros; los dos restantes, a 0.75 metros).

Reflejos de una búsqueda:

el uso del Radar de Penetración Terrestre (GPR) para la detección de inhumaciones clandestinas

Figura 6. Radargrama de transecto ubicado a 23.00 metros del punto de origen (F16, F8, F5 y F13)





Fuente: elaboración de la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ y Departamento de Búsqueda y Recuperación del Centro de Identificación Humana de Jalisco (CIHJ).

En total, 25 % de las reflexiones se extendieron hasta una profundidad de entre 0.32 a 0.64 metros, en dirección a las fronteras de las excavaciones. 18 % ahondaron desde 0.65 hasta 0.96 metros. Las fosas que presentaron la coincidencia de los reflejos más penetrantes fueron F13¹⁰, F11 y F10, es decir, cuerpos con cobija, quemado y envuelto en bolsa plástica, respectivamente.

10 La letra F corresponde al concepto fosa mientras que, la numeración, se refiere al número de inhumación realizada en el Polígono 1.

Reflejos de una búsqueda:

el uso del Radar de Penetración Terrestre (GPR) para la detección de inhumaciones clandestinas

Tabla 1. Fosas y profundidad de actividad electromagnética en Polígono 1

ID FOSA	UBICACIÓN DE TRANSECTO	TRATAMIENTO DE CUERPO EN FOSA	PROFUNDIDAD DE FOSA (METROS)	RELACIÓN DE REFLEXIÓN CON FOSA	PROFUNDIDAD DE REFLEXIÓN (METROS)	APROXIMACIÓN A FORMA DE REFLEXIÓN
F1	5.20	SIN CUERPO	0.75	LÍMITE INFERIOR DE FOSA	0.64 - 0.96	HIPÉRBOLA
F14	5.20	CUERPO QUEMADO	1.25	TRASCIENDE FOSA	1.60 - 1.92	HIPÉRBOLA
F4	5.20	CUERPO COMPLETO	1.25	LÍMITE SUPERIOR DE FOSA	0.64 - 0.96	ANOMALÍA
F7	5.20	CUERPO CON CAL	0.75	TRASCIENDE FOSA	1.28 - 1.60	HIPÉRBOLA
F2	11.30	SIN CUERPO	1.25	SUPERFICIAL	0.00 - 0.32	HIPÉRBOLA
F10	11.30	CUERPO DENTRO DE BOLSA	1.25	LÍMITE INFERIOR DE FOSA	1.28 - 1.60	HIPÉRBOLA
F6	11.30	CUERPO SECCIONADO	1.25	SUPERFICIAL	0.00 - 0.32	ANOMALÍA
F9	11.30	CUERPO DENTRO DE BOLSA	0.75	ANTES DE FOSA	0.32 - 0.64	ANOMALÍA
F15	17.00	REDUCCIÓN ESQUELÉTICA	0.75	LÍMITE INFERIOR DE FOSA	0.96 - 1.28	HIPÉRBOLA
F12	17.00	CUERPO CON COBIJA	1.25	ANTES DE FOSA	0.32 - 0.64	ANOMALÍA
F3	17.00	CUERPO COMPLETO	0.75	ANTES DE FOSA	00.00 - 0.32	ANOMALÍA
F11	17.00	CUERPO CON COBIJA	0.75	TRASCIENDE FOSA	2.24 - 2.90	HIPÉRBOLA
F16	23.00	REDUCCIÓN ESQUELÉTICA	1.25	ANTES DE FOSA	0.32 - 0.64	ANOMALÍA
F8	23.00	CUERPO CON CAL	1.25	ANTES DE FOSA	0.64 - 0.96	HIPÉRBOLA
F5	23.00	CUERPO SECCIONADO	0.75	ANTES DE FOSA	0.32 - 0.64	HIPÉRBOLA
F13	23.00	CUERPO QUEMADO	0.75	TRASCIENDE FOSA	1.60 - 1.92	ANOMALÍA

Nota: la columna “Relación de reflexión con fosa” describe cualitativamente la profundidad detectada en los radargramas.

Fuente: elaboración de la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En contraste, F2 y F6 (inhumación de control y fosa con porcino seccionado) no mostraron reflejos en correspondencia con la superficie.

En F1, F10 y F15 (inhumación de control, porcino con bolsa plástica y reducción esquelética), la reflexión se registró justo a los costados del límite inferior de las fosas, configurando una formación sutilmente aproximada a la hipérbola ó parábola.

F4 (cuerpo completo) evidenció un reflejo, tenuemente anómalo, que llegó al límite superior de la inhumación.

Los cuerpos contenidos en F9, F12, F3, F16, F8 y F5 (con bolsa plástica, cobija, completo, reducción esquelética, cal y seccionado, respectivamente) mostraron la formación de las ondas en dirección a su ubicación, pero su actividad concluyó antes de alcanzar la profundidad donde se depositaron los porcinos.

Por su parte, F14, F7, F11 y F13 (cuerpo quemado, con cal, cobija, quemado) exhibieron reflejos ligeramente hiperbólicos, pero que les trascendieron: es decir, que siguieron penetrando a una profundidad mayor al sitio de ubicación de los porcinos.

En suma, 56 % de los reflejos se apreciaron con una ligera aproximación a una forma hiperbólica — sin que se registre información significativa que permita afirmar la existencia de esta clase de anomalía en los resultados —.

Así, en los transectos de las inhumaciones se distinguieron formaciones que coinciden con la ubicación de los confines laterales de las fosas: específicamente, en 87.5 % de éstas, la reflexión tuvo continuidad más allá del suelo visible del Polígono 1.

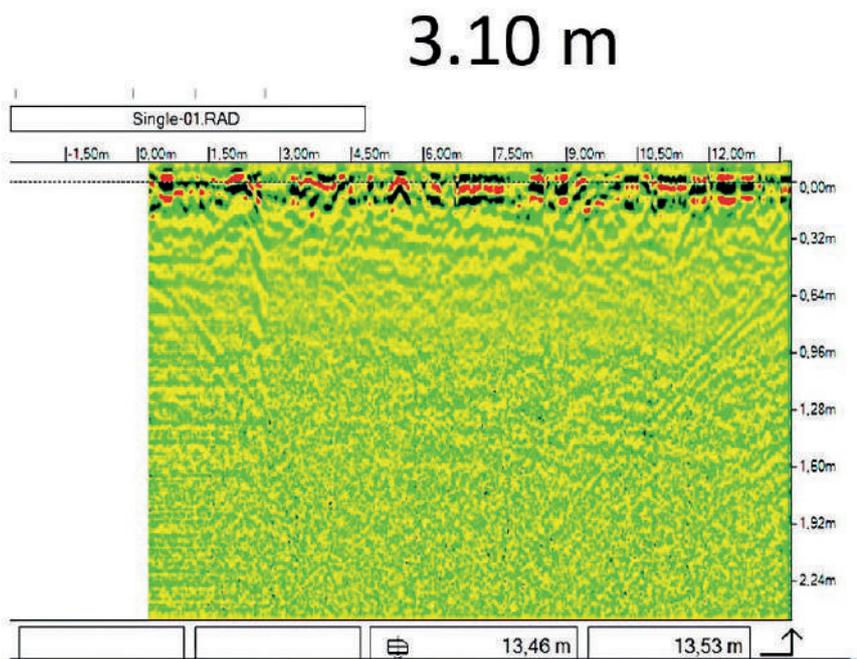
Sin embargo, se reconoce que son movimientos electromagnéticos desde la superficie, no anomalías producidas al nivel de los porcinos. Es decir, se encontrarían más relacionados con la presencia de porosidades ó materiales sueltos, derivados de las alteraciones realizadas en el terreno para elaborar las fosas.

A diferencia de los comportamientos descritos, en los transectos de control, los radargramas no expresaron reflexiones prolongadas de ondas. Únicamente se presentó un reflejo en la franja trazada a ocho metros de distancia del punto de origen, extendiéndose desde la superficie y hasta la máxima profundidad analizada (Figura 8).



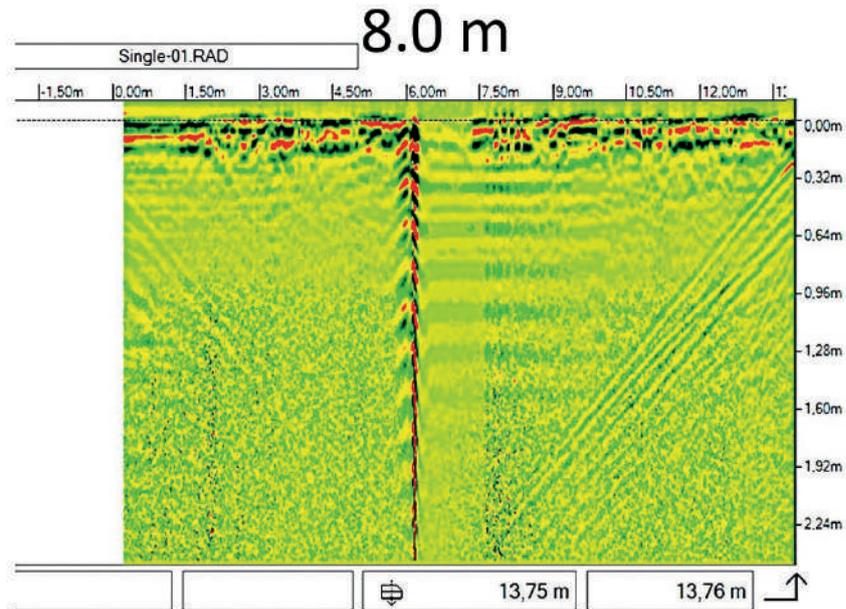
Reflejos de una búsqueda:
el uso del Radar de Penetración Terrestre (GPR) para la detección de inhumaciones clandestinas

Figura 7. Radargrama de transecto ubicado a 3.10 metros del punto de origen (control)



Fuente: elaboración del Departamento de Búsqueda y Recuperación del Centro de Identificación Humana de Jalisco (CIHJ).

Figura 8. Radargrama de transecto ubicado a 8.0 metros del punto de origen (control)

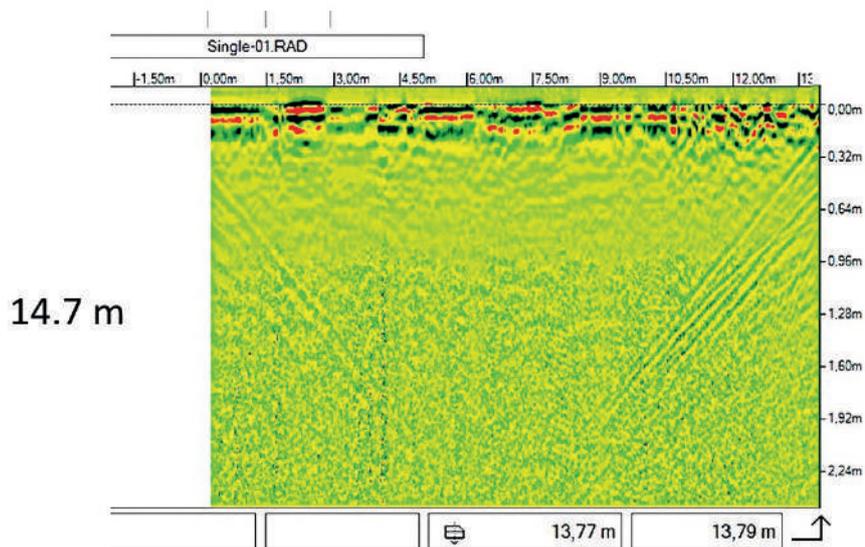


Fuente: elaboración del Departamento de Búsqueda y Recuperación del Centro de Identificación Humana de Jalisco (CIHJ).

Reflejos de una búsqueda:

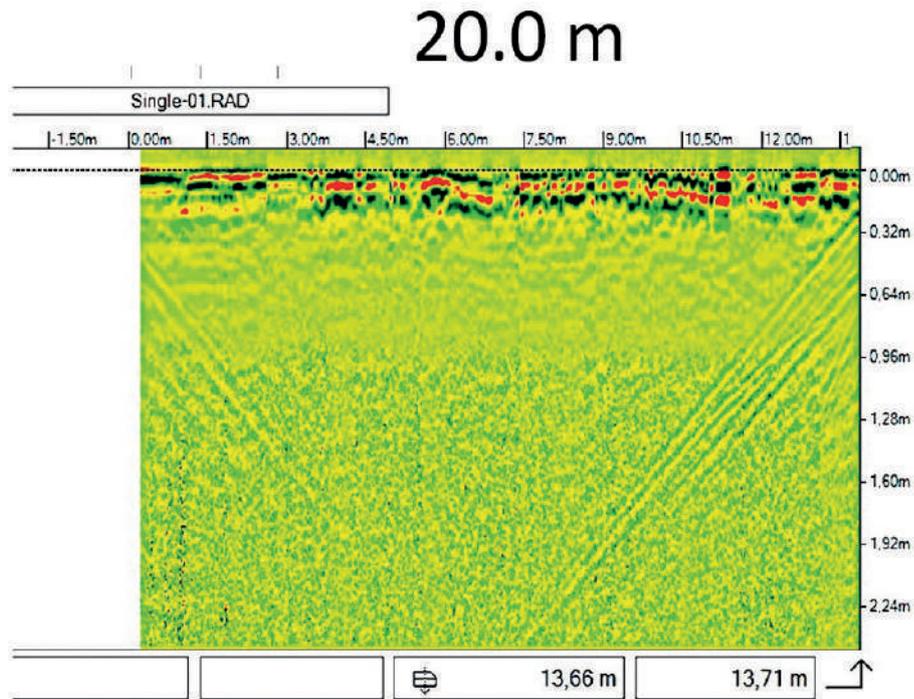
el uso del Radar de Penetración Terrestre (GPR) para la detección de inhumaciones clandestinas

Figura 9. Radargrama de transecto ubicado a 14.7 metros del punto de origen (control)



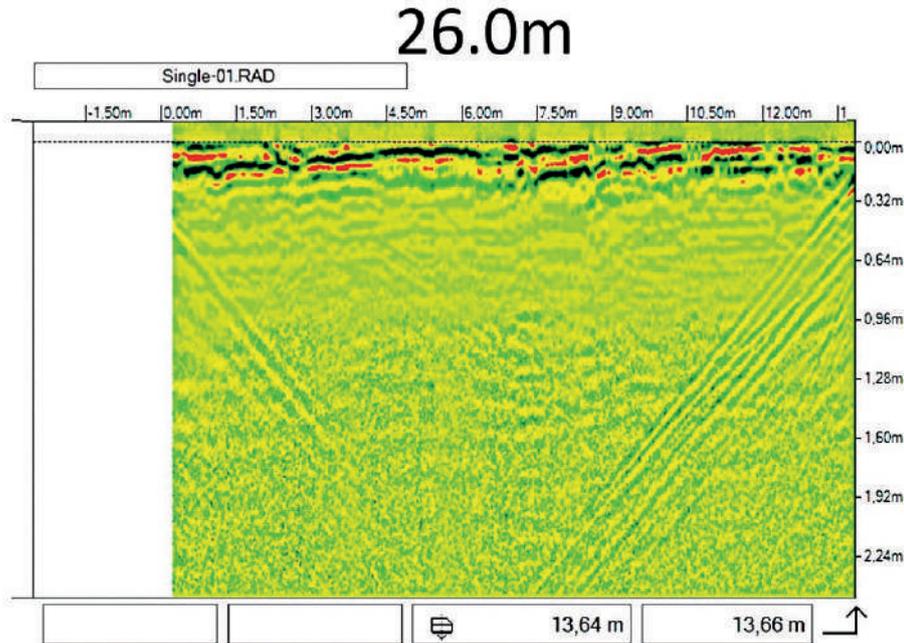
Fuente: elaboración del Departamento de Búsqueda y Recuperación del Centro de Identificación Humana de Jalisco (CIHJ)

Figura 10. Radargrama de transecto ubicado a 20.0 metros del punto de origen (control)



Fuente: imagen tomada del Departamento de Búsqueda y Recuperación del Centro de Identificación Humana de Jalisco (CIHJ).

Figura 11. Radargrama de transecto ubicado a 26.0 metros del punto de origen (control)



Fuente: elaboración del Departamento de Búsqueda y Recuperación del Centro de Identificación Humana de Jalisco (CIHJ).

V. Conclusiones

A partir del análisis del comportamiento electromagnético en el Polígono 1, a través del uso del Radar de Penetración Terrestre implementado en nueve transectos (correspondientes a cuatro líneas de fosas y cinco franjas de control), la experimentación con alcance exploratoria, mostró que la descomposición de los cuerpos se aprecia en tres profundidades:

- Estrato A, ubicado de los 0.00 a los 0.15 metros.
- Estrato B, de los 0.16 a los 0.96 metros.
- Estrato C, que abarca de los 0.97 a 2.90 metros.

Dichas divisiones se encuentran presentes, como una constante en los distintos transectos. Sólo en el caso de la línea situada a ocho metros del punto de origen se traza una interrupción transversal de la estratificación.

La definición de los estratos que presentan modificaciones en el comportamiento electromagnético del Polígono 1 es congruente, además, con los cambios en las tonalidades de los suelos del área, los cuales se alteran conforme avanza su profundidad.

En los estratos B y C se detectó insuficiencia de datos. En ese sentido, se registra la pertinencia de modificar la frecuencia de las antenas utilizadas en sondeo.

Ocho de cada 10 fosas simuladas presentaron una coincidencia entre los límites de su ubicación y la formación de un reflejo electromagnético que penetró por debajo de la superficie, aún con la predominancia de suelos limoarcillosos — que, históricamente, han representado un obstáculo para el registro de los sondeos en georradar —. Es decir, se encontró un comportamiento similar al descrito en investigaciones previas, que narran la factibilidad del método GPR para, principalmente, localizar la delimitación de oquedades.

No obstante, se reconoce que el grueso de las reflexiones se origina desde el suelo visible, por lo que se descartan como anomalías producidas al nivel de donde se encuentran inhumados los porcinos.

Si bien la actividad reflexiva no alcanza dimensiones significativas, a nivel exploratorio se aporta que, 56 % de los reflejos mostraron una sutil curvatura a manera de hipérbola, en coincidencia con la literatura existente que prevé esta distribución de la onda al detectar objetos de interés.

Al respecto es necesario acotar que esta forma también se manifestó en uno de los transectos de control, sin fosas, de manera que la tendencia debe tomarse con reserva.

Aunado, es de destacar, la presencia se apreció de manera indistinta en los diferentes tratamientos que tuvo cada uno de los porcinos utilizados, por lo que las variables que representan los cuerpos no se asumirían como factores de influencia.

Esta conclusión, sumada al lugar de origen de las reflexiones en el Polígono 1, sugiere que el comportamiento de las ondas se encuentra más relacionado a la detección de remociones de tierra que a la degradación de cuerpos, por lo menos, en el caso de inhumaciones pequeñas.

Sin embargo, se reitera la importancia de propiciar estudios a profundidad sobre la prospección geofísica con el método del GPR, en un escenario donde sea posible solventar



(con recursos humanos y materiales adecuados, en la etapa de procesamiento de datos), la concurrencia de materiales en el subsuelo que generan posibles distorsiones. Aunado a una mayor cantidad de sondeos, en periodos de investigación más prolongados, para alcanzar niveles correlacionales o hasta explicativos.

Al mismo tiempo, se detecta la necesidad de estudiar el comportamiento electromagnético con múltiples víctimas, debido a que, a mayor dimensión de cuerpos, podrían registrarse cambios geofísicos perceptibles y directamente relacionados a la descomposición.

Los métodos geofísicos de medición permiten la aplicación práctica de comportamientos naturales que, por su condición, son fácilmente desapercibidos.

El alcance de su éxito se construye con la confluencia de diversos factores, como una composición de suelos con poca presencia de arcilla húmeda, la búsqueda de probables cuerpos que cuenten con más de medio año de descomposición, así como el deseable conocimiento de las características del sitio a prospectar, de forma que se descarten objetos con propiedades de resistividad, permitividad dieléctrica y permeabilidad magnética que puedan afectar la precisión de la localización de fosas clandestinas.

La interpretación del electromagnetismo, y cómo se interrelaciona con otras áreas del conocimiento, así como técnicas de búsqueda, aún muestra amplios retos para su comprensión. Más aún, debido a la sutilidad en la que se expresa, en los casos donde se localizan cuerpos inhumados.

Cada comportamiento de la reflexión exige un exhaustivo análisis que, desde la mirada geológica, pero en compañía de la visión transdisciplinaria, acerque a la posibilidad de restituir a las víctimas que aún hacen falta.

El presente artículo fue dictaminado a doble ciego por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt). En el ejercicio se subrayó la importancia de describir el procesamiento de datos y la narración de tales etapas. No obstante, diferentes complejidades técnicas y humanas imposibilitaron solventar esta observación.

Se hace hincapié en el enfoque exploratorio del texto y, aunado, se resalta la importancia de, en futuras investigaciones, describir con claridad el tratamiento de la información que refleja la respuesta electromagnética del suelo.

Referencias

- ANNAN, A. P. (2009). *Electromagnetic Principles of Ground Penetrating Radar*. En H. M. Jol (Ed), *Ground Penetrating Radar Theory and Applications* (pp. 1-37). Elsevier.
- AVILÉS, L., CAÑAR, M., REYES, M. & MULLO, C. (2020). *Geofísica aplicada a la búsqueda de restos óseos en el Ecuador*. Pro Sciences: Revista De Producción, Ciencias E Investigación, 4(34), 42–49. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss34.2020pp42-49>
- BEREZOWSKI, V., MOFFAT, I., SECKINER, D., CREBERT, I., ELLIS, J. Y MALLETT, X. (2024). *The suitability of using domestic pigs (Sus spp.) as human proxies in the geophysical detection of clandestine graves*. *Journal of Forensic Sciences* 69, 316-328 <https://doi.org/10.1111/1556-4029.15419>
- CACCAVARI-GARZA, A., QUIROZ-SUÁREZ, D., CIFUENTES-NAVA, G., CÁRDENAS-SOTO, M., & ESCOBEDO-ZENIL D. (2020). *Prospección geofísica somera aplicada en búsqueda forense, en M. Quinto (Coord.), En Protocolos basados en evidencia para la búsqueda de personas desaparecidas*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- CASSIDY, N. (2009). *Electrical and magnetic properties of rocks, soils and fluids*. En H. M. Jol (Ed), *Ground Penetrating Radar Theory and Applications* (pp. 141-172). Elsevier.
- FERRER, M. (2020). *El georradar localiza cuatro posibles fosas de represaliados de la Guerra Civil*. Radio Gandia. https://cadenaser.com/emisora/2020/02/28/radio_gandia/1582897149_283567.html
- MOLINA, C. (2014). *Aportes de la geología forense en la investigación criminal en Colombia*. *Geología Colombiana*, 37, 171-178.
- MOLINA, C. (2016). *Metodología para la búsqueda de fosas a partir de la interpretación de anomalías en los datos obtenidos mediante la aplicación geofísica de alta resolución*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56319?show=full>
- OLARTE, W., BOTERO, M. & CAÑÓN B. (2010). *Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria*. *Scientia et Technica*, 2 (45), 223-226. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4546591>
- QUIROZ, D. (2020). *Métodos de explotación geofísica somera aplicados para la caracterización de inhumaciones: caso experimental y real*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional de la UNAM.



- RIVERA, A. (1994). *Un radar de cadáveres*. El País. https://elpais.com/diario/1994/03/09/internacional/763167608_850215.html?event_log=go
- 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, 70 (1), 150-160.
- SAGRIPANTI, G., VILLALBA, D., AGUILERA, D. & GIACCARDI, A. (2017). *Avances de la geología forense en Argentina: búsqueda con métodos no invasivos de personas víctimas de desaparición forzada*. Boletín de Geología, 39 (3), 55-69. <https://www.redalyc.org/journal/3496/349653053004/html/>
- TALAVERA, J., ROJAS, J. & ORTEGA, J. (2000). *Proyecto de antropología forense: el radar de penetración en contextos forenses: una herramienta geofísica para la investigación. intradisciplinaria*. <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/diariodecampo/article/view/8371/9152>



Percepción **remota**







Capítulo 9



Morfología del terreno mediante fotogrametría con drones: oportunidades y limitaciones para la detección de fosas clandestinas

Ana Josselinne Alegre Mondragón¹ y José Luis Silván Cárdenas²

Contribución arbitrada

Resumen

Uno de los obstáculos para realizar fotogrametría dirigida a la búsqueda de personas desaparecidas son los costos asociados a equipos y software para el procesamiento de los datos. En este capítulo se muestran los resultados del monitoreo para detectar los cambios en la morfología del terreno — como consecuencia de las inhumaciones en el sitio de experimentación forense Polígono 1 —, mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados comerciales equipados con una cámara RGB.

Además, se presenta una metodología para realizar el procesamiento de productos fotogramétricos con software libre. Este trabajo tiene dos objetivos: exponer alternativas para replicar el uso de fotogrametría a un bajo costo y mostrar los resultados de los cambios en este sitio de experimentación. Se presentan las etapas para obtener productos fotogramétricos y se

1 Profesora Investigadora Asociada A, Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial. Email: jalegre@centrogeo.edu.mx

2 Profesor Investigador Titular C, Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial. Email: jsilvan@centrogeo.edu.mx

concluye que el software libre tiene un gran potencial para hacer más accesible la observación de cambios asociados a la detección de fosas clandestinas.

Palabras clave: percepción remota, fotogrametría, drones, topografía, morfología, *OpenDroneMap*.

I. Percepción remota y fotogrametría

En este capítulo se presenta el potencial del uso de fotogrametría para la detección de las fosas simuladas en el campo de experimentación forense denominado Polígono 1. Pero, antes de comenzar definiremos algunos conceptos.

De acuerdo con la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Percepción Remota (ISPRS):

la fotogrametría y la percepción remota son el arte, ciencia y tecnología de obtener información fiable a partir de imágenes y otros sistemas de sensores acerca de la Tierra y su entorno, así como de otros objetos físicos y sus procesos a través del registro, la medición, el análisis y la representación (ISPRS, s.f., párr. 1).

Percepción Remota (Remote Sensing) o Teledetección puede definirse como la técnica que permite obtener información de un objeto, área o fenómeno, analizando los datos adquiridos mediante algún dispositivo o sensor que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo investigación (Chuvienco, 2019). Mientras que, la topografía, es una ciencia que se encarga del estudio de la superficie terrestre, así como de sus accidentes geográficos y otras características implícitas. Se puede decir, de otra manera, que estudia el conjunto de procedimientos que tienen como finalidad la representación gráfica de la superficie de la Tierra y también se encarga de establecer ciertos métodos para llevar a cabo las descripciones pertinentes (Ingeoexpert, 2021).

La fotogrametría es útil en tareas como el monitoreo de cultivos, producción de cartografía, elaboración de análisis hidrológicos, medición en proyectos de construcción, clasificación de la vegetación, análisis de volúmenes, inspección de tejados, entre otras muchas tareas, siempre que se requiera la observación de objetos y del terreno.



Las ventajas del uso de la fotogrametría son la obtención de representaciones completas de objetos, registros instantáneos y la posibilidad de guardarlos para su observación posterior en forma digital: materiales relativamente económicos, que nos brindan la opción de analizar objetos en movimiento y sin perturbarlos. De acuerdo con el tipo de fotografía, las podemos clasificar en terrestres (es decir, las que tomamos desde la superficie terrestre) o aéreas (obtenidas con alguna cámara o sensor instalado en una aeronave).

En pocas palabras, la percepción remota tiene un gran potencial como herramienta para la detección de fosas clandestinas, ya que se trata de estudiarlas sin alterar el sitio y prácticamente sin tener contacto directo con este objeto de estudio. El principal objetivo de este capítulo es mostrar como el uso de drones equipados con una cámara RGB y el procesamiento de imágenes nos pueden ayudar a la identificación de cambios en el terreno para la detección de fosas clandestinas.

¿Por qué sugerimos el uso de drones comerciales equipados con una cámara RGB? Actualmente, son más accesibles en cuanto a precio y manejo (a la hora de volar): incluso han comenzado a ser instrumentos básicos en las comisiones de búsqueda y en algunos colectivos de familiares.

Más allá del uso de drones para el acompañamiento y seguridad en el trabajo de campo, resulta muy útil procesar las imágenes y videos tomados para detectar cambios más finos en el territorio y “acceder” de forma digital a sitios en que no es posible hacerlo de forma física — y planificar las búsquedas siguientes, en su caso —. Por tal motivo, en este capítulo se muestran las etapas para el levantamiento de imágenes, su procesamiento y los resultados del monitoreo en el Polígono 1, durante un año.

En el primer apartado se realiza un recuento de los estudios previos, tanto en otras partes del mundo como en México, investigaciones en las que se ha utilizado la fotogrametría en aplicaciones forenses y, especialmente, para la detección de fosas clandestinas. Después, se detalla qué drones y cómo se usaron en la zona de experimentación forense Polígono 1. Posteriormente se muestran las opciones para realizar el procesamiento con el objetivo de que este ejercicio pueda replicarse en otros sitios y, finalmente, se exponen las conclusiones y las áreas de oportunidad para posteriores estudios.



II. Fotogrametría para la detección de fosas clandestinas

Algunas de las primeras aplicaciones de las fotografías aéreas fueron militares. Tradicionalmente estas imágenes han permanecido almacenadas en archivos gubernamentales y de agencias privadas para que, posteriormente, las personas usuarias las utilicen de acuerdo con sus necesidades (Ebert, 2015). Sin embargo, con el acceso comercial más generalizado y un menor costo de vehículos aéreos no tripulados (comúnmente llamados drones), la obtención de fotografías es más sencilla y tiene múltiples aplicaciones.

En arqueología forense, se han estudiado las modificaciones en la elevación de la superficie del terreno, ocasionadas por entierros, como resultado de la desintegración de los cuerpos y la compactación de la tierra (Corcoran et al., 2018).

Sin embargo, no siempre se observan dichos cambios — debido a que la cantidad de cuerpos depositados en una fosa influye en su detección —, además, éstos suelen ocurrir lentamente y pueden ser enmascarados por otros factores, como la regeneración de la vegetación, la acumulación de hojarasca, y las perturbaciones por animales, entre otros.

Es por ello que uno de los sensores más utilizados para la detección de cambios muy suaves en el terreno es el LiDAR: un sensor activo que trabaja con luz polarizada o láser. Es decir, que es capaz de emitir sus propias ondas electromagnéticas y grabar posteriormente el haz reflejado por el objeto bajo estudio (Chuvienco, 2019).

Por lo tanto, se cuenta con estudios que utilizan LiDAR para el monitoreo de los cambios en fosas clandestinas (Corcoran et al., 2018; Blau et al., 2018; Watson et al., 2021). No obstante, una de las grandes desventajas es que este sensor es muy costoso, en comparación con las cámaras RGB.

Por otro lado, el empleo de la fotogrametría para monitorear la forma del terreno es un área de oportunidad que ha sido poco explorada. Los drones comerciales equipados con cámaras RGB se han utilizado en tareas de búsqueda y rescate (Pensieri y Garau, 2020) y en escenas forenses simuladas (Parrot et al., 2019; Urbanova et al., 2017; Murray et al., 2018).

En Silván-Cárdenas et al. (2021), se reportó un primer intento por detectar fosas con fotogrametría y otras técnicas de percepción remota. Sin embargo, el ejercicio no fue muy exitoso debido, principalmente, a la incapacidad de un sensor pasivo de mapear la superficie del suelo en presencia de vegetación densa. En este sentido, la pregunta que nos hicimos

durante el monitoreo del Polígono 1 es si era posible detectar cambios, como hundimientos en las fosas a través del tiempo y los diferentes tratamientos asociados a los *modus operandi* observados en fosas reales en Jalisco.

En principio, a partir del procesamiento de las nubes de puntos y los Modelos Digitales de Terreno (MDT) se podrían observar y medir las variaciones, así que utilizamos dos softwares diferentes para detectar estos cambios por medio de la observación y mediciones.

III. El uso de los drones en la zona de experimentación

Para el monitoreo de la zona de experimentación en el Polígono 1, con cámaras RGB, se realizaron cinco vuelos con dos sistemas aéreos no tripulados o drones. El primero fue con un modelo *DJI Phantom 4P MS* (Figura 1). Este dron está equipado con una cámara multispectral y RGB de 2.12 megapíxeles, además cuenta con un Multifrecuencia multisistema RTK de alta precisión GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite), lo que permite obtener modelos cartográficos de alta precisión.

Lamentablemente este dron se averió después del primer levantamiento y no fue posible realizar el monitoreo subsecuente con este equipo.

Figura 1. Dron DJI Phantom 4P MS RTK (izq.) y levantamiento en el Polígono 1 con RTK en junio de 2023 (der.)



Fuente: imagen tomada de <https://www.dji.com/mx/p4-multispectral> (izq.) y fotografía tomada en el campo de experimentación Polígono 1 por los autores (der.).

Los siguientes cuatro levantamientos se realizaron con un dron modelo *DJI Phantom 4 Advanced* equipado con una cámara RGB de 20 megapíxeles. Si bien no cuenta con la misma precisión absoluta que el RTK, su cámara de alta resolución puede generar productos con alta precisión relativa, además es un equipo que permite realizar misiones, es decir, vuelos programados y levantamientos con calidad suficiente para los objetivos planteados en cuanto al monitoreo de los cambios de la morfología del terreno y obtener materiales óptimos para realizar procesos fotogramétricos (Figura 2).

Figura 2. Dron DJI Phantom 4 Advanced (izq.) y levantamiento en el campo de experimentación Polígono 1 en agosto 2023 (der.)



Fuente: imagen tomada de <https://www.dji.com/mx/p4-multispectral> (izq.) y fotografía tomada en el campo de experimentación Polígono 1 por los autores (der.).

¿Cuáles son los pasos para levantamientos fotogramétricos?

Ya que el objetivo no es solamente tomar fotografías o videos del Polígono 1, sino la obtención de productos fotogramétricos, se sugiere llevar a cabo el levantamiento en cinco etapas: planeación de vuelos, preparación y trabajo en el sitio, levantamiento de la

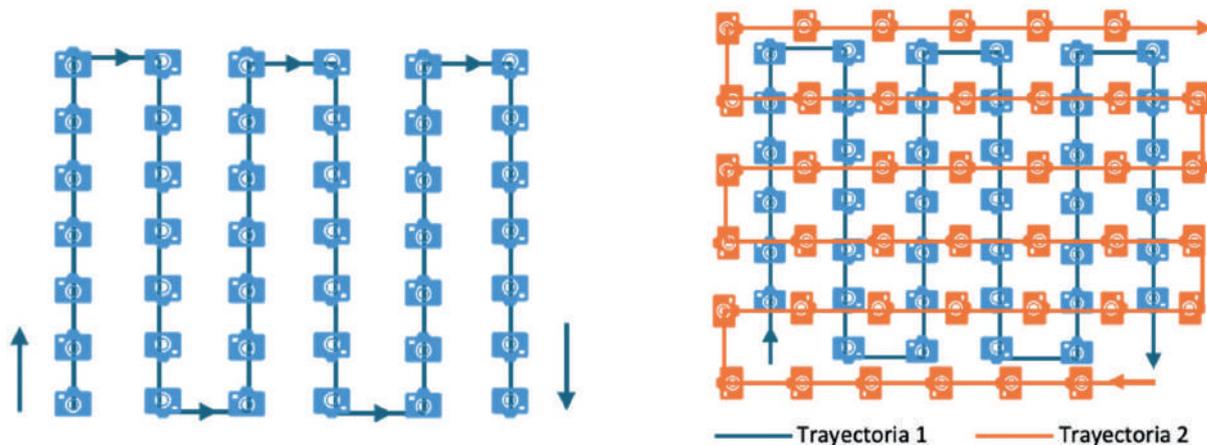
información, evaluación del levantamiento en campo y procesamiento en gabinete (Silván-Cárdenas, Alegre-Mondragón y Madrigal-Gómez, 2022).

Planeación de los vuelos

Para estudiar la morfología y los cambios del terreno en el sitio de experimentación se utilizaron dos planes de vuelo, de barrido simple y de barrido doble. En el barrido simple se realiza una trayectoria con líneas paralelas y con un traslape mínimo de 75% frontal, 60% lateral (Figura 3, izq.). Mientras que el barrido doble es ideal para reconstrucciones en 3D, en este caso es necesario completar dos barridos en direcciones ortogonales (Figura 3, der.) y utilizar un traslape frontal por lo menos de 75% y lateral de 60% (Silván-Cárdenas, Alegre-Mondragón y Madrigal-Gómez, 2022).

Se recomienda revisar previamente que se cuenta con el equipo completo antes de salir a campo, como tableta o teléfono inteligente, control remoto, memorias con espacio suficiente y todas las baterías con la carga completa.

Figura 3. Planes de vuelo: Barrido simple (izq.) Barrido doble (der.)



Fuente: elaboración propia de CentroGeo.

Preparación y trabajo en el sitio

Una vez que hemos llegado al sitio de levantamiento, se debe verificar el clima y seguridad del sitio (Silván-Cárdenas, Alegre-Mondragón y Madrigal-Gómez, 2022).

En este caso se establecieron cuatro puntos de control, se deben conocer las coordenadas geográficas y la altura de cada uno de estos puntos GPS (Sistema de Posicionamiento Global) porque servirán, posteriormente, para ajustar los modelos en el procesamiento de datos (ya que los levantamientos se realizaron en diferentes fechas e incluso con diferentes equipos). En el Polígono 1 se tomaron como puntos de control las esquinas del sitio, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Puntos de control en las esquinas del Polígono 1



Fuente: elaboración propia en *OpenDroneMap (ODM)*. CentroGeo.

Levantamiento de la información

Se realizaron cinco vuelos; el primero fue una semana después de la inhumación y, posteriormente, en agosto y noviembre de 2023, así como febrero y mayo de 2024³. Es importante señalar que en el segundo levantamiento se realizó el “Congreso: Análisis y Procesos para la Búsqueda de Personas” dirigido a personal de la COBUPEJ y colectivos de búsqueda de los estados de Jalisco y Guerrero (Figura 2 der.), por lo tanto, fue necesario ejecutar el levantamiento en dos vuelos con el objetivo de explicar todos los procesos de monitoreo —no solamente fotogramétricos—, que se llevaron a cabo ese día con las personas asistentes al evento.

Tabla 1. Registro de los vuelos realizados para el monitoreo

Vuelo	Fecha	Hora inicio	Hora final	Tiempo de vuelo	Dron-Cámara	Plan de vuelo	Fotografías	Altura
1	8-Jun-2023	08:17	09:02	45 min	<i>DJI Phantom P4 MS RTK</i>	Barrido simple	353	30 m
2	22-Ago-2023	09:00	11:35	2 horas 35 min	<i>DJI Phantom 4 Advance</i>	Barrido simple	199	30 m
3	21-Nov-2023	14:24	14:59	35 min	<i>DJI Phantom 4 Advanced</i>	Doble barrido	243	30 m
4	23-Feb-2024	10:32	10:48	16 min	<i>DJI Phantom 4 Advanced</i>	Doble barrido	242	30 m
5	23-May-2024	11:58	12:11	13 min	<i>DJI Phantom 4 Advanced</i>	Doble barrido	240	30 m

Nota. Elaboración propia. CentroGeo.

Evaluación del levantamiento en campo

Una de las ventajas al estudiar un campo de experimentación forense, en comparación con sitios de búsqueda reales, es que sabemos exactamente en dónde está y podemos planificar los vuelos con anticipación. Además, en este caso, el Polígono 1 se encuentra en

3 En la Tabla 1 se presentan las características de cada uno de los levantamientos.

una zona urbana y con cobertura de comunicaciones y electricidad. Por lo tanto, siempre se verificó en campo que las fotografías se hubieran descargado efectivamente en un equipo de cómputo. Este paso parece trivial, pero se sugiere revisar, porque en caso de no contar con las fotografías por algún error, se pueden repetir las misiones.

Procesamiento en gabinete

¿Por qué se deben procesar las fotografías tomadas por los sensores o cámaras en los drones? Esto se debe a que son muchas fotografías y cada una de ellas solo muestra un pedacito del sitio con perspectivas distintas. Entonces, los datos se deben consolidar para elaborar los productos finales con proyección ortográfica, que nos permitan medir la forma conjunta del terreno en el Polígono 1. En el caso de las fotografías tomadas con cámara RGB, este procedimiento involucra la alineación de imágenes, creación de la nube de puntos y la generación de ortomosaicos, modelos digitales de elevación en formato RASTER⁴, en los cuales se asocia información de la elevación del terreno a cada punto de una retícula (Arriola Valverde et al., 2018).

El procesamiento de las imágenes se puede realizar con software libre o comercial. Aquí empleamos el software libre *OpenDroneMap* (OpenDroneMap, s.f.) (aún se encuentra en desarrollo, por lo que sus resultados pueden no ser tan precisos).

También empleamos el software comercial Pix4D (Pix4D, s.f.), que, si bien no es económico, proporciona un alto grado de automatización y produce resultados más precisos. En este capítulo decidimos mostrar el proceso con el software libre, así las personas usuarias podrán replicar el ejercicio en otros sitios. Además, presentamos los resultados con el software comercial, de esta forma se podrá elegir qué software utilizar de acuerdo con las necesidades y casos de estudio. Con ambas opciones se pueden obtener una serie de productos que serán descritos a continuación, así como su utilidad.

Productos fotogramétricos

Los productos que se obtuvieron a partir de los levantamientos con cámara RGB nos permiten observar los detalles del Polígono 1 en forma digital y medir los cambios a través

4 Los rásteres están formados por una matriz de píxeles (también llamados celdas), cada uno de los cuales contiene un valor que representa las condiciones para el área cubierta por esa celda.



del tiempo. En este caso se generaron nubes de puntos, ortomosaicos, modelos digitales de superficie (MDS), modelos digitales de terreno (MDT) y perfiles de terreno:

- **Nubes de puntos 3D.** Es el primer producto resultante del escaneo láser o la fotogrametría digital. Se compone por millones de puntos posicionados tridimensionalmente en el espacio, formando una entidad física y representando su superficie externa (IDEA, 2019).
- **Ortomosaicos.** Es una composición de imágenes con corrección geométrica para que cada punto en el terreno sea observado desde una perspectiva perpendicular. También conocida como ortoimagen, ortofoto u ortofotografía, es una imagen aérea de alta resolución generada a partir de las fotos tomadas por un dron. Las fotos se unen con un software especializado mediante un proceso llamado ortorectificación. La ortorectificación elimina la perspectiva de cada imagen individual para crear consistencia en todo el mapa, manteniendo el mismo nivel de detalle de la imagen original (DJI ARS Madrid, s.f.).
- **Modelo Digital de Superficie.** Contiene toda la información geométrica de la zona de estudio, así como de sus texturas y acabados. Sirve como base para obtener mediciones, pero debemos contemplar que en este modelo se incluyen todos los elementos que hay en la superficie, como la vegetación, vehículos y construcciones, infraestructura y el terreno, ya que se generan tomando los valores máximos de elevación en una nube de puntos.
- **Modelo Digitales de Terreno.** Se generan clasificando la nube de puntos. Para esto existen distintos métodos dependiendo del software que se utilice; el objetivo es descartar los elementos que están en la superficie como vegetación, vehículos, construcciones e infraestructura y obtener un modelo morfológico de la superficie del terreno, por decirlo de alguna forma “limpio”, lo que nos permite identificar cambios propios de la superficie, como los hundimientos.
- **Perfil de terreno o perfil topográfico.** Un perfil topográfico o corte topográfico es una representación del relieve del terreno que se obtiene cortando transversalmente las líneas de un mapa de curvas de nivel, o mapa topográfico (Cartografía Digital, 2017). Permite visualizar y analizar las características del terreno a lo largo de una

línea específica, lo que resulta útil en diversas aplicaciones, como la planificación de rutas, estudios geológicos o diseño de carreteras, entre otros. Un perfil topográfico es una herramienta fundamental para comprender la topografía de un área y obtener información detallada sobre las elevaciones del terreno (Morales, s.f.).

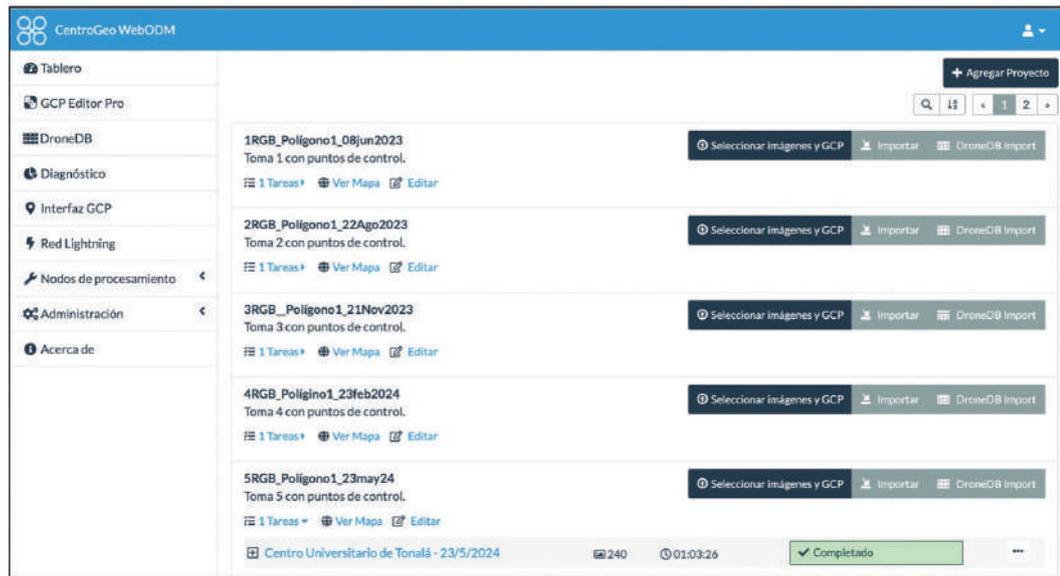
Procesamiento de imágenes con *OpenDroneMap (ODM)*

Una vez realizados los vuelos y tomadas las fotografías, el procesamiento para la obtención de productos se realizó con el software libre *OpenDroneMap* (Toffanin, 2023). En este software se puede agregar un nuevo proyecto y seleccionar las imágenes y los puntos de control.

Las imágenes deben estar en una misma carpeta, igual que el archivo de los puntos de control. Este archivo se elabora en la interfaz GCP en formato TXT, seleccionando en la barra izquierda del tablero (Figura 5): el resultado es un archivo que relaciona los puntos de control —con coordenadas— con las fotografías en donde estos puntos son visibles (Toffanin, 2023). Finalmente se puede agregar la altura y corregir, en su caso, las coordenadas exactas. En la Tabla 2 se muestra el ejemplo del archivo de puntos de control para el primer levantamiento. En el encabezado se debe definir el Sistema de Referencia de Coordenadas, en este caso “EPSG:32613”⁵. En las columnas se muestran las coordenadas de los puntos de control, la altura y el punto correspondiente con la imagen, la imagen a la que corresponde identificada con el nombre del archivo y, por último, el punto de control al que se refiere. Cada esquina tiene un identificador, que va del 00 al 03.

5 El código EPSG corresponde a las siglas, en inglés, de European Petroleum Survey Group, organización científica relacionada a la industria petrolera. Dicha organización elaboró un repositorio de parámetros geodésicos EPSG, que es la base de datos que contiene información a nivel mundial sobre los sistemas de referencia de coordenadas (nombre, tipo, código), proyecciones cartográficas, entre otros (Mastergis, 2022). En la siguiente página se pueden consultar los códigos <https://epsg.io/>. El código EPSG:32613 es el que le corresponde al estado de Jalisco, Sistema de Coordenadas Proyectadas entre 108°O y 102°O, Hemisferio Norte entre el Ecuador y 84°N, en tierra y mar adentro.

Figura 5. Tablero del software OpenDroneMap (ODM)



Fuente: elaboración propia en OpenDroneMap (ODM). CentroGeo.

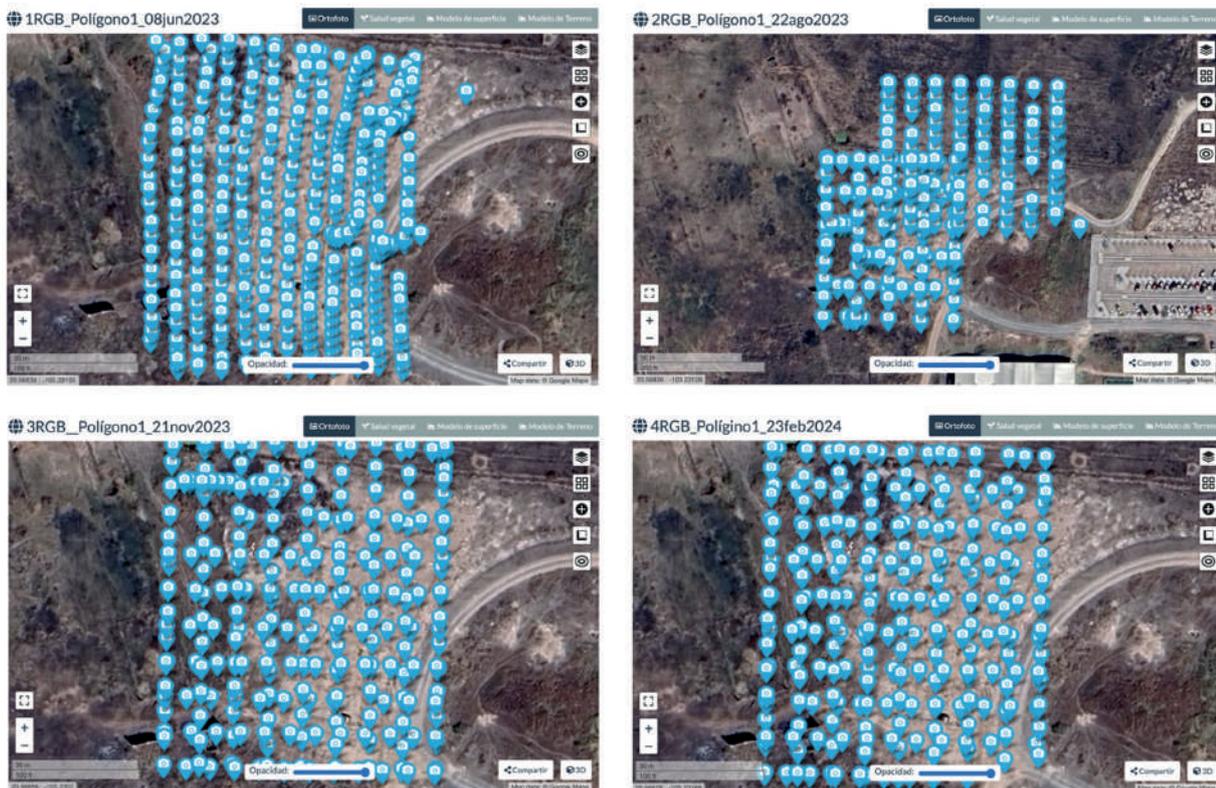
Tabla 2. Ejemplo del archivo .TXT de los puntos de control generado a partir del primer levantamiento

EPSG:32613						
684405.134	2275407.281	1541.628	838.8154739461772	629.1870992380457	DJI_0310.JPG	gcp00
684405.134	2275407.281	1541.628	841.3071065989848	507.61421319796955	DJI_0300.JPG	gcp00
684390.588	2275409.725	1541.719	753.9974619289341	690.3553299492386	DJI_1080.JPG	gcp01
684390.588	2275409.725	1541.719	745.6581160096933	551.9539510832133	DJI_1070.JPG	gcp01
684399.587	2275368.792	1542.676	553.6504615588808	656.3401748524426	DJI_0170.JPG	gcp02
684399.587	2275368.792	1542.676	549.8595171407347	524.4165760480815	DJI_0160.JPG	gcp02
684384.487	2275370.955	1542.761	808.9248213627551	746.3705595240033	DJI_1370.JPG	gcp03
684384.487	2275370.955	1542.761	792.1378217280725	616.0085118011589	DJI_1360.JPG	gcp03

Fuente: elaboración propia en OpenDroneMap (ODM). CentroGeo.

Una vez cargadas las imágenes y los puntos de control, el software comienza a procesar los productos que hayamos seleccionado, en este caso la nube de puntos y los modelos digitales de superficie y de terreno, para este último se realiza un filtrado y se eliminan los elementos que no están en el suelo (Toffanin, 2023). En la Figura 6 se muestran los cuatro vuelos, sus trayectorias y las fotografías capturadas.

Figura 6. Vuelos y fotografías tomadas en el Polígono 1





Fuente: elaboración propia en OpenDroneMap (ODM). CentroGeo.

Este software tiene la posibilidad de descargar todos los productos generados y visualizarlos. Las nubes de puntos se descargan en archivos con distintas extensiones y se pueden exportar a otros softwares como QGis. Pero, si se desea una vista rápida, esto se puede hacer sin salir de ODM, ya que tiene una interfaz para visualizar e incluso filtrar en Potree. En la Figura 7 se pueden observar los cambios en el filtrado de la nube de puntos: en la imagen de la derecha hay automóviles y, en la imagen de la izquierda, ya se han removido.

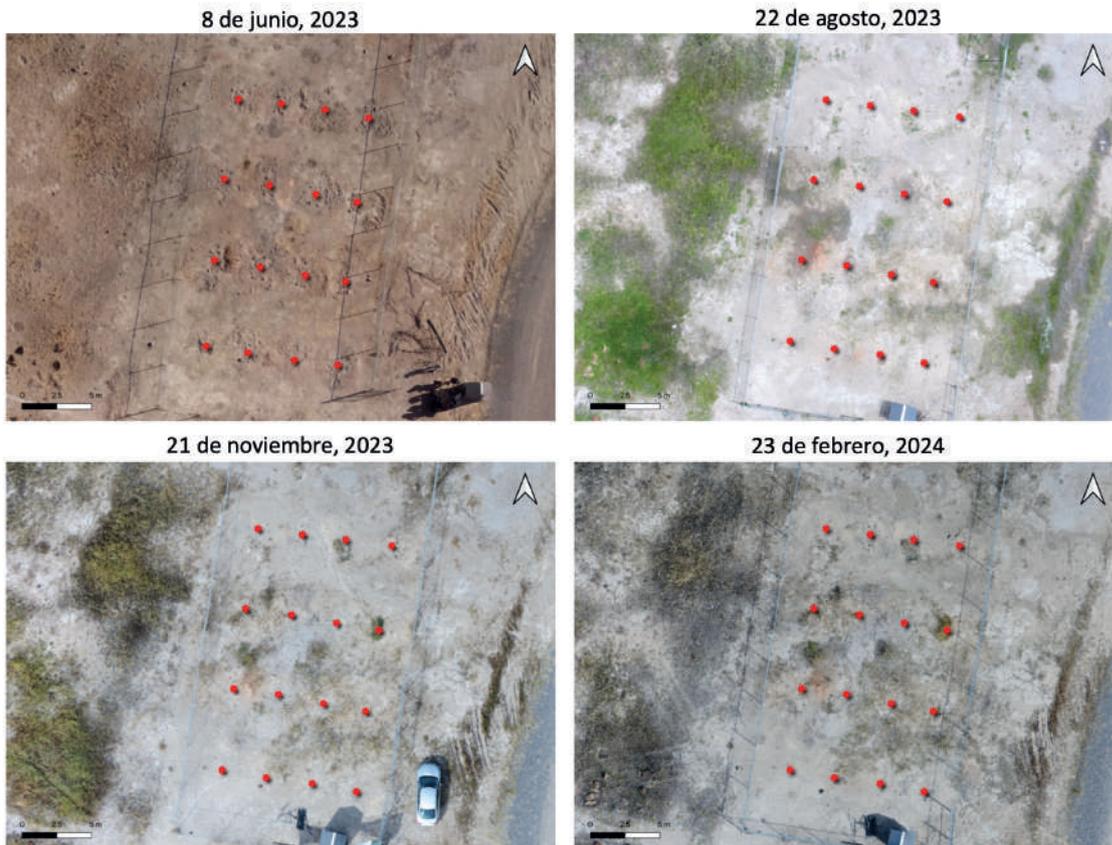
Figura 7. Visualización de la nube de puntos, tercer levantamiento sin filtro (izq.)



Fuente: elaboración propia con ODM. CentroGeo.

Como previamente se estableció, la nube de puntos es el insumo para los demás productos, ortomosaicos, MDS y MDT. Este último es muy relevante para este proyecto, ya que el objetivo es la detección de los cambios, especialmente observar si hubo hundimientos o compactación del terreno en las fosas. En la Figura 8 se pueden observar los ortomosaicos generados con cada uno de los levantamientos. A lo largo del monitoreo resalta el crecimiento de vegetación en las Fosas 5 (cuerpo seccionado a 75 cm de profundidad) y 11 (cuerpo con cobija a 75 cm de profundidad).

Figura 8. Ortomosaicos generados en cada uno de los levantamientos y centroides de cada fosa



23 de mayo, 2024



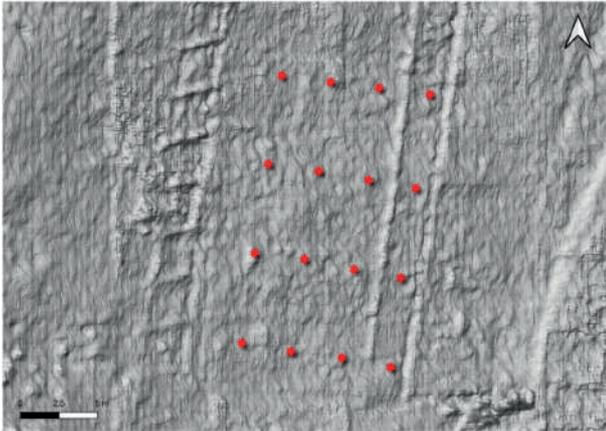
Fuente: elaboración propia con información generada en ODM y visualización en QGis.

En una visualización de los MDS, como mapa de relieve sombreado en QGis, se observan los elementos que están sobre la superficie del terreno, como la malla que rodea el sitio, automóviles y el crecimiento en la vegetación. Resalta el contraste entre el primer levantamiento y los tres posteriores, debido a la diferencia en las resoluciones de los sensores empleados (Figura 9).

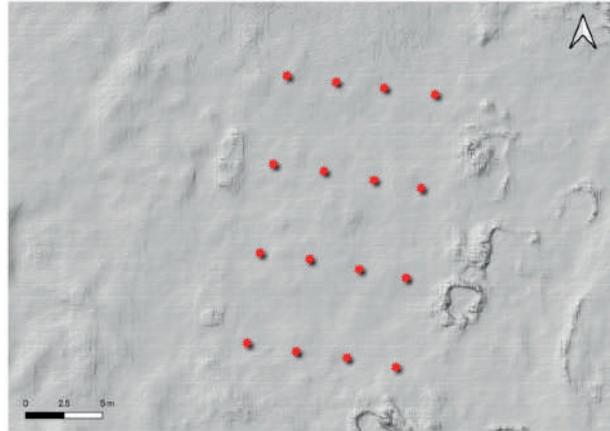
A continuación, se obtuvieron los MDT, y se puede observar que algunos elementos de la superficie fueron removidos con la clasificación automatizada en ODM. Sin embargo, otros aún siguen presentes después del proceso, como las mallas en el primer levantamiento y la vegetación que fue creciendo a lo largo de un año (Figura 10).

Figura 9. Modelo digital de superficie de los levantamientos

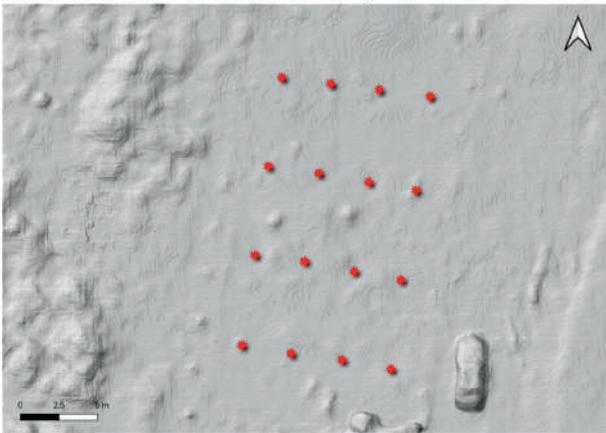
8 de junio, 2023



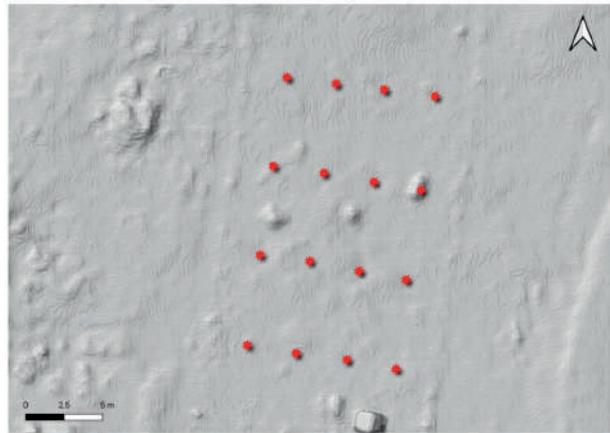
22 de agosto, 2023



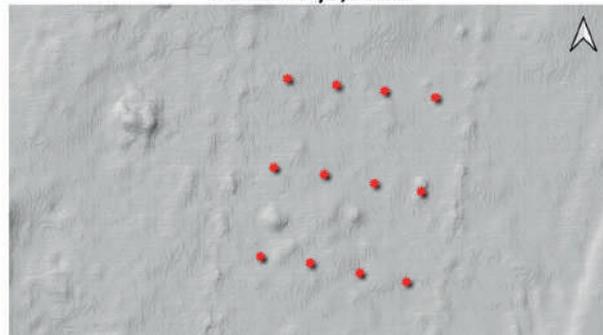
21 de noviembre, 2023



23 de febrero, 2024



23 de mayo, 2024

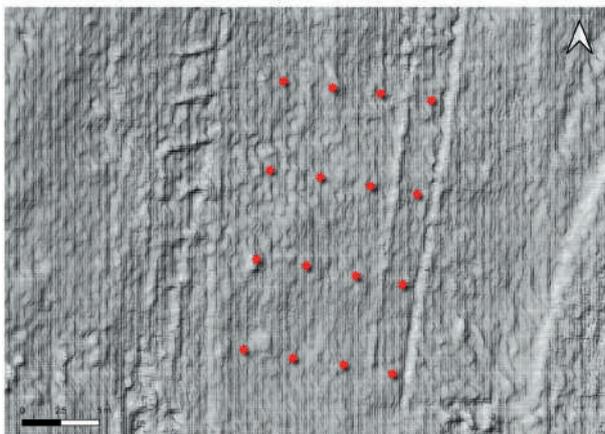


Fuente: elaboración propia con información generada en ODM y visualización en QGis.

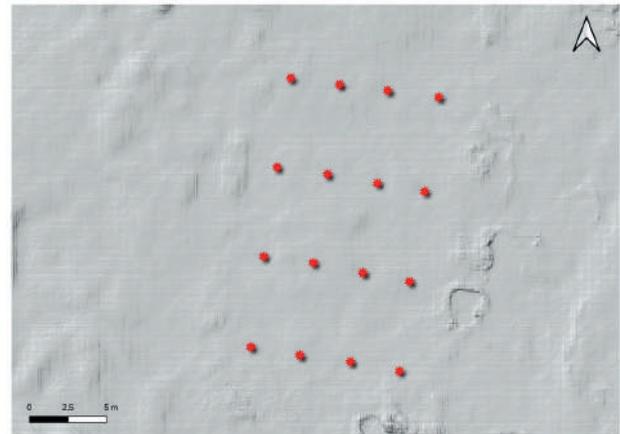
En conclusión, ODM es un software libre y de muy fácil manejo, los algoritmos que clasifican las nubes de puntos aún necesitan mejorar. Para realizar un proceso con rapidez y para una visualización rápida es muy recomendable, habrá que esperar para un avance en los algoritmos de clasificación. En caso de requerir mayor precisión se recomienda utilizar otro tipo de softwares, con el inconveniente de que son comerciales y tienen costos, en algunas ocasiones muy altos.

Figura 10. Modelo Digital de Terreno de los levantamientos

8 de junio, 2023

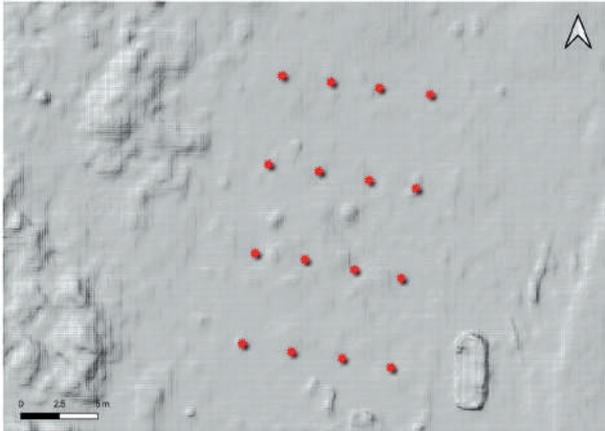


22 de agosto, 2023

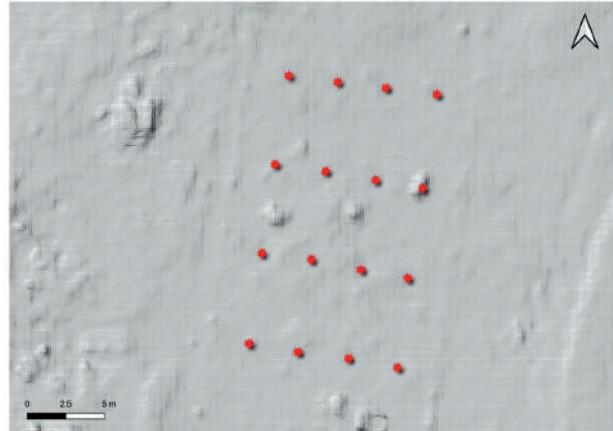


Morfología del terreno mediante fotogrametría con drones:
oportunidades y limitaciones para la detección de fosas clandestinas

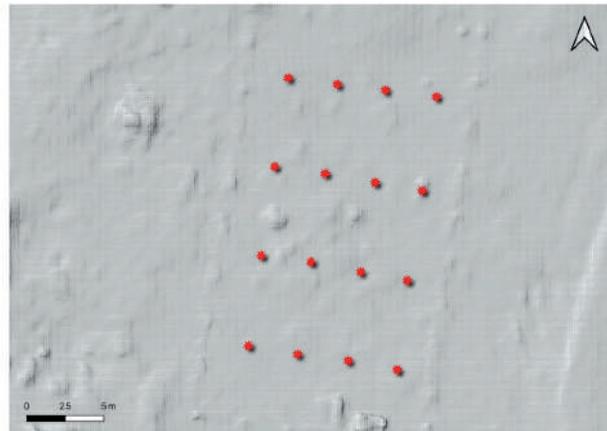
21 de noviembre, 2023



23 de febrero, 2024



23 de mayo, 2024



Fuente: elaboración propia con información generada en ODM y visualización en QGis.

Medición de los perfiles de terreno con Pix4D

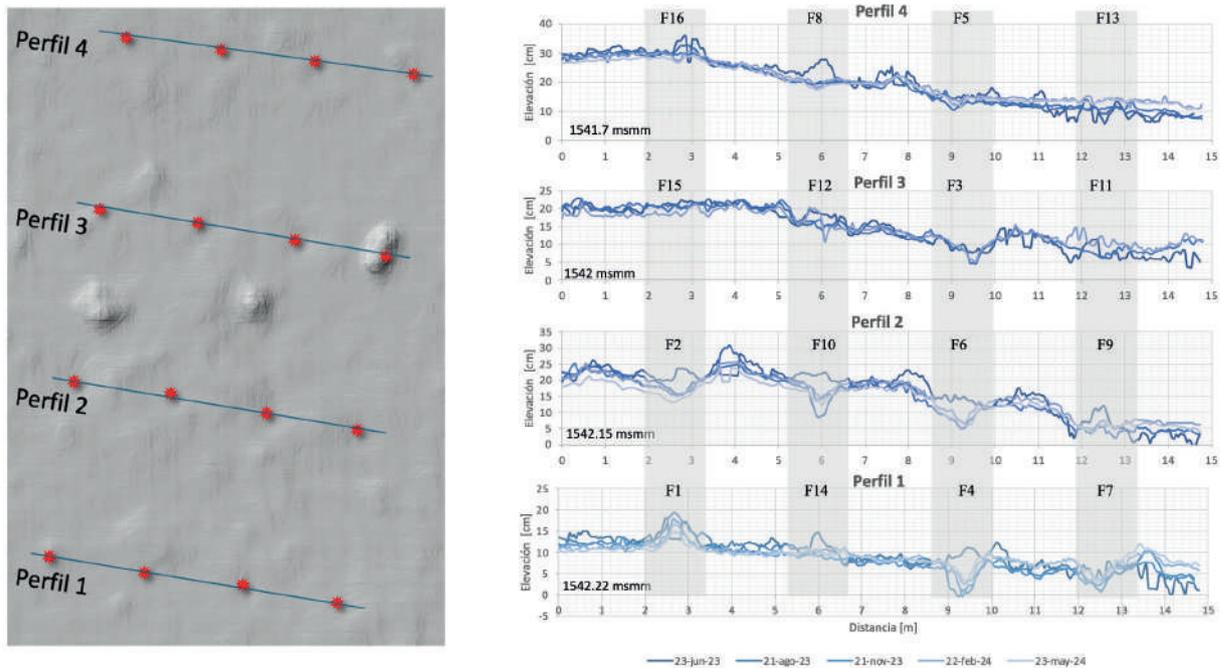
Con el fin de identificar los cambios y la existencia de posibles hundimientos o compactación del terreno en donde se realizaron las fosas, en este último ejercicio se utilizó el software Pix4D, para generar los MDT de cada fecha y así obtener valores de elevación del terreno

más precisos. A partir de los MDTs se extrajeron perfiles de elevación, que atravesaban las líneas de fosas de oeste a este, y se graficaron como se muestra en la Figura 11.

A un año de las inhumaciones se pueden observar hundimientos en las fosas 4 (cuerpo completo a 125 cm.), 7 (cuerpo con cal a 75 cm.), 6 (cuerpo seccionado a 125 cm.), 10 (cuerpo dentro de bolsa a 125 cm.), 3 (cuerpo completo a 75 cm.) y 5 (cuerpo seccionado a 75 cm.). Sin embargo, los más pronunciados se registraron en las fosas 4, 6 y 10. En Fosa 2 (sin cuerpo, de control) se observa una erosión del terreno.

Por otro lado, lo que aparenta ser un incremento en el nivel de terreno, en las fosas 12 y 11, se debe al crecimiento de la vegetación, que se observa a partir del segundo levantamiento, en agosto de 2023. En Fosa 11 ya es muy densa en noviembre del mismo año.

Figura 11. Perfiles del terreno



Fuente: elaboración propia con Pix4D. CentroGeo.

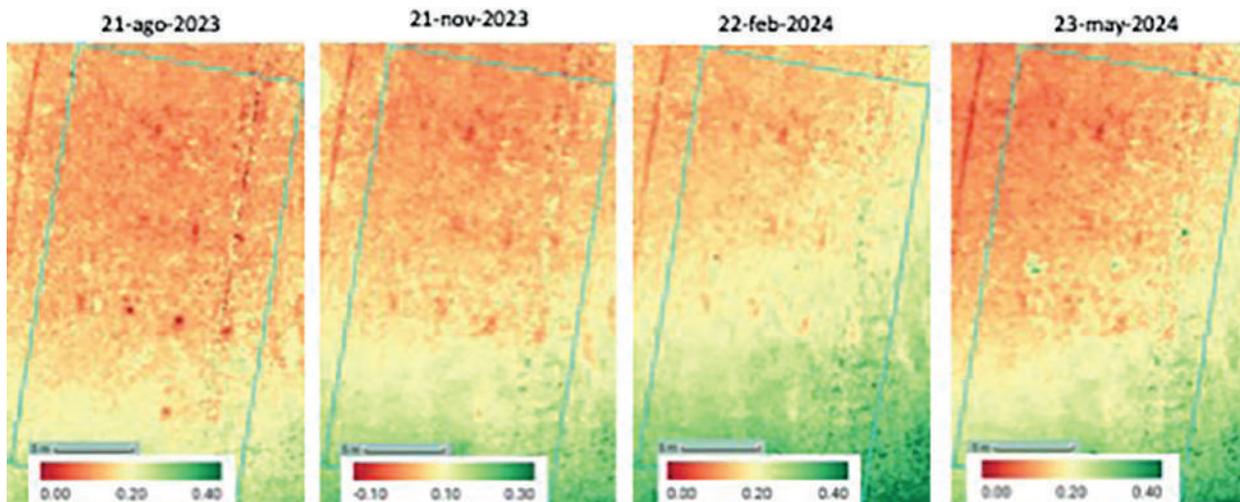
Visualizaciones alternativas para identificar cambios en el terreno

Debido a que las visualizaciones del MDT no son suficientes a simple vista para la detección de las fosas, se realizaron otros ejercicios con el objetivo de detectar de una mejor forma los cambios.

En este sentido, se calcularon las diferencias de cada una de las tomas, restando la primera de referencia. En la Figura 12 se pueden apreciar, en una forma más clara, el lugar en que se encuentran las fosas y las diferencias del nivel de terreno con respecto al primer levantamiento.

Estas imágenes son mucho más definidas que las anteriores, pudiéndose observar con claridad las fosas 4, 2, 10, 6, 9, 12, 3, 11 y 8, en agosto de 2023, posteriormente se hacen menos perceptibles.

Figura 12. Hundimientos por Sustracción de MDT de referencia (23 de junio de 2023)



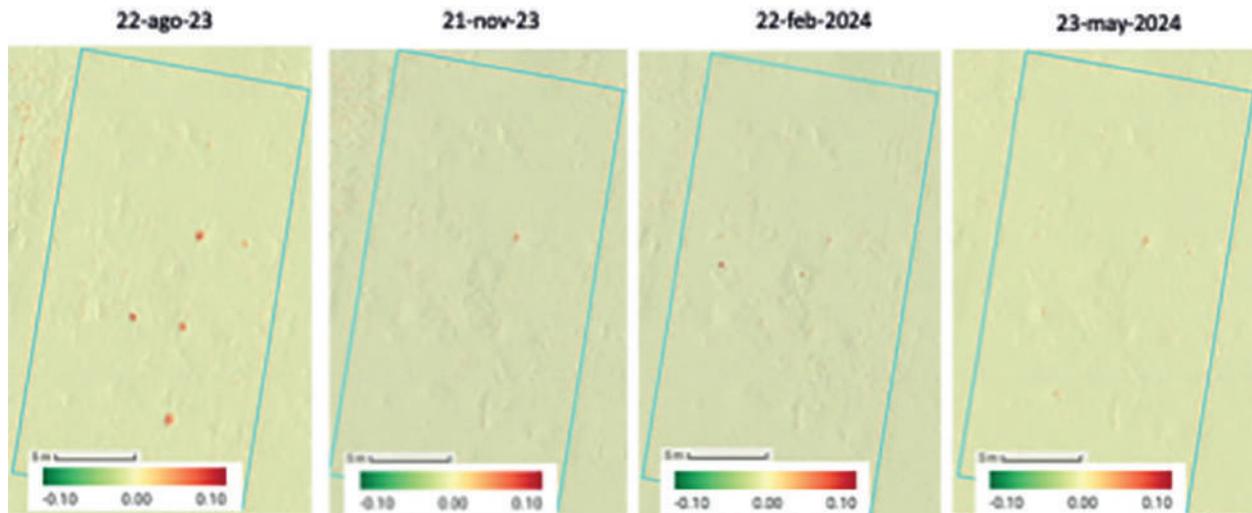
Fuente: elaboración propia en Pix4D y visualización en *Google Earth Engine* (Silván-Cárdenas J. L., *Global Spectral. Index Mapper*, 2024).

Aunque muy efectivo, este método tiene la desventaja de requerir una toma previa a las inhumaciones, lo que es casi imposible en situaciones reales. En esos casos es necesario

implementar un método que emplee un sólo levantamiento post inhumación. La alternativa es sustituir el modelo de terreno previo a la inhumación por el modelo de terreno actual con huecos rellenados mediante operaciones digitales, para lo cual existen varias alternativas en la literatura (Wang, Qin y Zhu, 2019).

La operación consiste en rellenar las depresiones pequeñas del modelo de terreno y sustraer del modelo original, generando así un mapa de depresiones. Al aplicar este método se observaron con claridad las fosas 4, 6, 10, 3 y 11, las cuales se hacen menos perceptibles conforme transcurrió el tiempo. Es decir, este método mostró ser menos efectivo que el anterior, pero, sin duda es más práctico.

Figura 13. Hundimientos por Sustracción de MDT con Huecos Rellenados



Fuente: elaboración propia en Pix4D y visualización en *Google Earth Engine* (Silván-Cárdenas J. L., *Global Spectral. Index Mapper*, 2024).

IV. Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se utiliza la fotogrametría como un instrumento para realizar mediciones topográficas y detectar los posibles cambios a través del tiempo, especialmente los hundimientos o compactaciones del terreno con fosas.

Las inhumaciones que presentaron los mayores cambios de hundimiento fueron las fosas con cuerpos completos o con cuerpos seccionados sin importar la profundidad, o con algún tratamiento siempre a una profundidad menor. Es importante resaltar que tratamientos con cal y cuerpos en bolsa retardan la detección en el tiempo, por lo que requirieron de mayor temporalidad para ser detectadas.

De acuerdo con otros trabajos experimentales realizados para detectar fosas clandestinas, sabemos que su detección depende de las condiciones climáticas y el tamaño de las fosas (LeBlanc et al., 2014; Blau et al., 2018). Las fosas individuales son más difíciles de detectar, como es el caso del Polígono 1.

En este sentido, los cuerpos que han sido encobijados o enterrados en profundidades menores a un metro pueden ser detectables luego de tres meses de inhumación (y hasta nueve meses después de ser depositados), de acuerdo con el monitoreo, pero se debe al crecimiento de la vegetación en estos sitios y no a la medición de hundimientos.

Incluso si se aprecian los perfiles, en las fosas 11 y 12 se observa un crecimiento en el nivel de elevación, debido a las plantas. Esto coincide con el estudio reportado en Silván-Cárdenas et al. (2021), donde la vegetación tampoco permitió detectar los hundimientos causados por la descomposición de los cuerpos.

Sin duda, la presencia de plantas influye, pero también hay que tomar en cuenta que la compactación del suelo pudo haberse exacerbado por el tránsito frecuente de los grupos que trabajaron la zona durante el año de monitoreo, por lo que es seguro suponer que su detección será más difícil en casos con menor perturbación. Uno de los métodos para detectar fosas clandestinas, de acuerdo con el crecimiento en la vegetación, es la medición de la concentración de nitrógeno (Silván-Cárdenas et al., 2021). Sin embargo, ese tema se aborda en otro capítulo de la obra.

Los productos generados a partir de procesamientos fotogramétricos pueden ser útiles, siempre y cuando se complementen con algunas otras técnicas. Así, la visualización

del MDT se genera de forma rápida en ODM, pero puede ser difícil de interpretar, debido al desarrollo de los algoritmos para la clasificación de las nubes de puntos.

El método de perfiles de terreno es efectivo, pero también requiere un modelo de suavizado y clasificación eficiente, además de acotar la ubicación de los sitios de interés en un trayecto lineal.

El método de diferencia de dos MDT es muy efectivo, ya que se detectan mejor las fosas, pero resulta poco práctico en casos reales ya que generalmente no se cuenta con un MDT antes de la inhumación.

En lo que respecta al método de diferencia de MDT con huecos, puede ser práctico en casos reales, pero solo detecta hundimientos pronunciados y es sensible a errores en el MDT.

En cuanto al equipo utilizado, los drones comerciales, equipados con cámara RGB, son útiles para el monitoreo de los cambios de la morfología del terreno y el uso de software libre para el procesamiento de productos fotogramétricos puede resultar muy útil en las tareas de búsqueda en casos reales (y a muy bajo costo, en comparación con otros sensores como LÍDAR). Si se compara el filtrado para la clasificación de la nube de puntos, y finalmente obtener el MDT, realizado con ODM y Pix4D, se observa que el crecimiento de la vegetación continúa apareciendo en ambos casos.

Uno de los inconvenientes de este estudio fue perder la oportunidad de continuar el monitoreo con un mismo sensor, ya que el primer levantamiento se hizo con un modelo de dron que se averió. En este sentido, se recomienda en estudios futuros, en medida de lo posible, asegurar la posibilidad de realizar todo el monitoreo con un mismo equipo. Adicionalmente, preparar un plan de vuelo de doble barrido y mantener el mismo plan en cada uno de los levantamientos subsecuentes.

Esperamos que este capítulo sirva de guía práctica para aplicar la fotogrametría y el análisis topográfico en la búsqueda forense, al tiempo que proporcione —a las personas y familiares dedicados a la búsqueda de personas desaparecidas desde las comisiones de búsqueda, colectivos, fiscalías y organizaciones de derechos humanos— los fundamentos y limitaciones para el uso de estas herramientas.



Referencias

- ARRIOLA VALVERDE, S., FERENCZ APPEL, A. & RIMOLO-DONADIO, R. (2018). *Fotogrametría terrestre con sistemas aéreos autónomos no tripulados*. Investiga TEC, 9-12.
- BLAU, S., STERENBERG, J., WEEDEN, P., URZEDO, F., WRIGHT, R. & WATSON, C. (2018). *Exploring Non-Invasive Approaches to Assist in the Detection of Clandestine Human Burials: Developing a Way Forward*. Forensic Sciences Research, 320-342.
- Cartografía Digital. (2017, 30 de marzo). *Cartografía Digital*. Obtenido de Perfil topográfico en QGIS: <https://www.cartografiadigital.es/2017/03/perfil-topografico-en-qgis.html>
- CHUVIECO SALINERO, E. (2019). *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. Digital Reasons.
- CORCORAN, K. A., MUNDORFF, A. Z., WHITE, D. A. & EMCH, W. L. (2018). *A novel application of terrestrial lidar to characterize elevation change at human grave surfaces in support of narrowing down possible unmarked grave locations*. Forensic science international(289), 320-
- DJI ARS MADRID (s.f.). *Realización de ortomosaicos con drones: Todo lo que necesita saber*. Obtenido de DJI News: <https://djiarsmadrid.com/es/blog/dji-news/realizacion-de-ortomosaicos-con-drones-todo-lo-que-necesita-saber>
- EBERT, J. I. (2015). *Photogrammetry, photointerpretation, and digital imaging and mapping in environmental forensics*. En B. L. Murphy, & R. D. Morrison, *Introduction to environmental forensics* (págs. 39-64). Academic Press.
- EVERS, R. & MASTERS, P. (2018). *The application of low-altitude near-infrared aerial photography for detecting clandestine burials using UAV and low-cost unmodified digital camera*. Forensic Science International, 289(<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.06.020>), 408-418.
- IDEA. (2019). *¿Qué es una nube de puntos?* Obtenido de IDEA: <https://ideaingenieria.es/nube-de-puntos/que-es-nube-de-puntos/>
- Ingeoexpert. (2021, 24 de noviembre). *¿Qué es la topografía y cuáles son sus objetivos?* Obtenido de Ingeoexpert: <https://ingeoexpert.com/2021/11/24/que-es-la-topografia-y-cuales-son-sus-objetivos/>



- ISPRS (s.f.). *Sociedad Internacional de Fotogrametría y Percepción Remota*. Recuperado de International Science Council : [https:// council.science/es/member/isprs-international-society-for-photogrammetry- and-remote-sensing/#:~:text=La%20fotogrametr%C3%ADa%20y%20la%20teledetecci%C3%B3n,el%20an%C3%A1lisis%20y%20la%20representaci%C3%B3n](https://council.science/es/member/isprs-international-society-for-photogrammetry-and-remote-sensing/#:~:text=La%20fotogrametr%C3%ADa%20y%20la%20teledetecci%C3%B3n,el%20an%C3%A1lisis%20y%20la%20representaci%C3%B3n)
- LEBLANC, G., KALACSKA, M. & SOFFER, R. (2014). *Detection of single graves by airborne hyperspectral imaging*. Forensic Sciences International, 17-23.
- Mastergis. (2022, 22 de junio). *Código EPSG ¿Qué es y cómo obtenerlo?* Obtenido de Mastergis: <https://mastergis.com/blog/codigo-epsg-que-es-y-como-obtenerlo#:~:text=El%20c%C3%B3digo%20EPSG%20corresponde%20a,relacionada%20a%20la%20industria%20petrolera>
- MORALES, A. (s.f.). *Cómo crear perfiles topográficos con QGIS*. Obtenido de MappingGIS: [https:// mappinggis.com/2023/07/como-crear-perfiles-topograficos- con-qgis/](https://mappinggis.com/2023/07/como-crear-perfiles-topograficos-con-qgis/)
- MURRAY, B., ANDERSON, D. T., WESCOTT, D. J., MOORHEAD, R. & ANDERSON, M. F. (2018). *Survey and insights into unmanned aerial-vehicle-based detection and documentation of clandestine graves and human remains*. Human Biology, 90, 45–61.
- OpenDroneMap (s.f.). Obtenido de Awesome. Drone. Software.: [https://www. opendronemap. org/](https://www.opendronemap.org/)
- PARROT, E., PANTER, H., MORRISSEY, J. & BEZOMBES, F. (2019). *A Low Cost Approach to Disturbed Soil Detection Using Low Altitude Digital Imagery from an Unmanned Aerial Vehicle*. Drones, 1-12.
- PENSIERI, M. G. & GARAU, M. (2020). *Drones as an Integral Part of Remote Sensing Technologies to Help Missing People*. Drones, 1-10.
- Pix4D (s.f.). Pix4D. Obtenido de <https://www.pix4d.com/es/>
- SILVÁN-CÁRDENAS, J. L. (2024, 31 de mayo). *Global Spectral Index Mapper*. Obtenido de Global Spectral Index Mapper: <https://jsilvan.users.earthengine.app/view/indices-espectrales-globales>
- SILVÁN-CÁRDENAS, J. L., ALEGRE-MONDRAGÓN, A. J. & MADRIGAL-GÓMEZ, J. M. (2022). *Detección y prospección por medio de vehículos aéreos no tripulados y tecnologías geoespaciales*. En M. QUINTO-SÁNCHEZ, *Protocolos basados en evidencia para la búsqueda de personas desaparecidas* (págs. 154-180). Universidad Nacional Autónoma de México.

- SILVÁN-CÁRDENAS, J. L., CACCAVARI-GARZA, A., QUINTO-SÁNCHEZ, M. E., MADRIGAL-GÓMEZ, J. M., CORONADO-JUÁREZ, E. & QUIROZ-SUAREZ, D. (2021). *Assessing optical remote sensing for grave detection*. *Forensic Science International*, 329, 111064.
- TOFFANIN, P. (2023). *OpenDroneMap: The Missing Guide. Second Edition. A practical Guide to Drone Mapping Using Free and Open Source Software*. UAV4GEO 2023.
- URBANOVA, P., JURDA, M., VOJTÍŠEK, T. & KRAJSA, J. (2017). *Using drone-mounted cameras for on-site body documentation: 3D mapping and active survey*. *Forensic Science International*, 52-62.
- WANG, Y. J., QIN, C. Z. & ZHU, A. X. (2019). *Review on algorithms of dealing with depressions in grid DEM*. *Annals of GIS*, 25(2), 83-97.
- WATSON, C. J., UELAND, M., SCHOTSMANS, E. M., STERENBERG, J., FORBES, S. L. & BLAU, S. (2021). *Detecting grave sites from surface anomalies: A longitudinal study in an Australian woodland*. *Journal of Forensic Sciences*, 479-490.







Capítulo 10



Diseño y aplicación de índices espectrales para la detección de fosas clandestinas

José Luis Silván Cárdenas¹, Ana Josselinne Alegre Mondragón²,
Edgar Daniel Ramírez Aceves, David Rogelio Campos Cornejo y
Maximiano Bautista Andalón³
Contribución arbitrada

Resumen

La efectividad de una búsqueda de cualquier índole recae, principalmente, en la agudeza de los sentidos del ser humano y la consecuente información que estos logren recabar sobre el entorno. Maximizar estas capacidades cobra una particular relevancia cuando lo que se indaga es el paradero de una persona desaparecida, más aún, cuando se sospecha o se tiene certeza de que ésta ha sido privada de la vida y sus restos han sido ocultados en alguna fosa clandestina.

Tecnologías como las cámaras multispectrales montadas a bordo de drones, de aeronaves tripuladas o de satélites, que fueron diseñadas para llevar a cabo acciones de monitoreo de cultivos, identificación de cambios en la cobertura vegetal, detección de desastres naturales

-
- 1 Profesor Investigador Titular C, Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial. Email: jsilvan@centrogeo.edu.mx
 - 2 Profesora Investigadora Asociada A, Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial. Email: jalegre@centrogeo.edu.mx
 - 3 Académicos, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Universidad Jesuita de Guadalajara

y otros procesos de la superficie terrestre, pueden ser consideradas como una extensión de los sentidos, pues posibilitan la percepción y registro de indicios que de otra forma resultarían inaccesibles para la especie humana, como es el caso de la bandas espectrales que son imposibles de detectar para el ojo humano.

Por ello, en este estudio se discute si los principios de la detección a distancia por información espectral pueden ser aplicables de forma eficaz para facilitar el hallazgo de inhumaciones clandestinas; lo que, además, evitaría la exposición de las personas buscadoras a riesgos y esfuerzos innecesarios en función a las posibilidades de observación a distancia y de exploración de sitios de difícil acceso que estos instrumentos proveen. En específico, se presenta una metodología de diseño de índices espectrales para detectar distintos tipos de inhumaciones, y se ilustra su aplicación con imágenes de drones y satelitales.

Palabras clave: fosas clandestinas, espectroscopía, firma espectral, dron, imagen multiespectral.

¿Se pueden detectar fosas clandestinas con sensores remotos?

Primero, es necesario acotar qué se entiende por “fosa clandestina”. Aunque el concepto tiene muchas aristas, mismas que han sido discutidas ampliamente en otros textos (ver, por ejemplo, Lorusso, 2021), aquí se considerará que una fosa clandestina es la inhumación ilegal y al aire libre de uno o varios cuerpos o restos humanos creada deliberadamente con el fin de ocultar un crimen; tomando en consideración que dichos cuerpos o restos pudieron o no haber sido sometidos a determinados tratamientos, depositados en contenedores y/o cubiertos con ciertos objetos.

A partir de esta acepción se derivan casos de naturaleza forense que no son considerados como fosas clandestinas para los propósitos de este estudio. Estas excepciones incluyen los ocultamientos al interior de construcciones, las fosas comunes creadas por las autoridades para depositar en ellas los cuerpos o restos de personas no identificadas y los sitios de exterminio donde se usan crematorios clandestinos o sustancias químicas para desintegrar los cuerpos. Incluso en el caso de que fuera posible detectar algunas de estas sustancias mediante imágenes como sugiere un estudio reciente (Silván-Cárdenas, Alegre-Mondragón, Madrigal-Gómez & Silva-Arias, 2024), todos esos casos quedan exentos de la metodología presentada aquí.

Con esta definición en mente, la lógica detrás de la detección de las fosas clandestinas con sensores remotos es relativamente simple. Como se ilustra en la Figura 1, cuando un cuerpo humano entra en proceso de descomposición altera física y químicamente la matriz de suelo circundante, lo que ocasiona un comportamiento de la vegetación distinto al que normalmente se observaría, ya sea inhibiendo su crecimiento o favoreciendo uno más vigoroso.

Figura 1. Lógica detrás de la detección de fosas con información espectral



Fuente: adaptado de Snirer (2013).

En particular, los cambios en la concentración de pigmentos, tales como la clorofila y los carotenoides, son los de mayor interés para la detección espectral⁴ (Snirer, 2013). Es sabido que la descomposición de un cadáver en el suelo proporciona un pulso localizado de nutrientes, y que los compuestos y materiales producidos a lo largo de las diversas etapas de descomposición producen una isla concentrada de fertilidad que rodea al cadáver. Aunque la mayor transferencia de nutrientes al suelo ocurre durante la etapa de descomposición, éstos perduran en él aun después de la Reducción esquelética, por lo que la acumulación de

4 Los cambios de la topografía del terreno se abordan en otro capítulo de esta misma publicación. Véase: “Morfología del terreno mediante fotogrametría con drones: oportunidades y limitaciones para la detección de clandestinas”.

los nutrientes en las plantas ocurre paulatinamente y a tasas variables, las cuales difieren en función de la especie y del periodo de crecimiento en que se encuentre el espécimen, pero mientras más nutrientes haya disponibles, más lo absorberán las plantas, llegando incluso a ser tóxico en algunos extremos (Kabata-Pendias, 2000).

En suma, tras la creación de una inhumación pueden ocurrir cambios en la superficie que, de ser detectados efectivamente, podrían dar cuenta de su existencia. Varios experimentos han demostrado que la localización de fosas clandestinas con sensores remotos es factible (Silván-Cárdenas et al., 2021; Leblanc, Kalacska, & Soffer, 2014; Kalacska & Bell, 2006), pero aún no existe un método robusto y simple que pueda ser aplicado de forma rutinaria por los equipos de búsqueda debido a que no se sabe fehacientemente cómo las condiciones de inhumación, los factores ambientales y los modos de observación afectan la detección.

Desarrollar métodos de detección de fosas clandestinas supone diversas complicaciones toda vez que éstas suelen ser poco accesibles y difíciles de controlar, además su estudio conlleva implicaciones éticas y de seguridad. Una alternativa conveniente ha sido la experimentación con “fosas simuladas”, pues permiten estudiar de manera consistente los factores que tienen impacto en el estado de las inhumaciones clandestinas y su evolución temporal, a la par de que permiten tener total certeza sobre el contenido de la fosa y garantizar una mayor seguridad física durante el desarrollo de la investigación. Es así que las fosas simuladas son modelos de las fosas clandestinas a través de las cuales intentamos conocer las alteraciones que se presentan en las fosas reales e interpretar la naturaleza que surge en torno a ellas.

Desde luego, la efectividad de aplicar el conocimiento experimental a casos factuales se encuentra ligada a la comparabilidad de las condiciones entre las pruebas controladas y la realidad. Es por ello que este estudio se basó en un sitio de prueba que replica diversas condiciones de inhumación observadas en Jalisco. El sitio se denomina Polígono 1 y es descrito ampliamente en un capítulo previo⁵, por lo que aquí solo mencionaremos sus características generales. Se trata de un sitio de experimentación forense creado dentro de las instalaciones del Centro Universitario Tonalá –de la Universidad de Guadalajara– el 31 de mayo del 2023, con 14 fosas que representan 7 tipos de inhumaciones a dos profundidades (0.75 y 1.25 m) más dos fosas de control, una a cada profundidad. Los tipos de inhumaciones fueron: cuerpo

5 Véase: “Experimentación forense: la historia de un proyecto”.



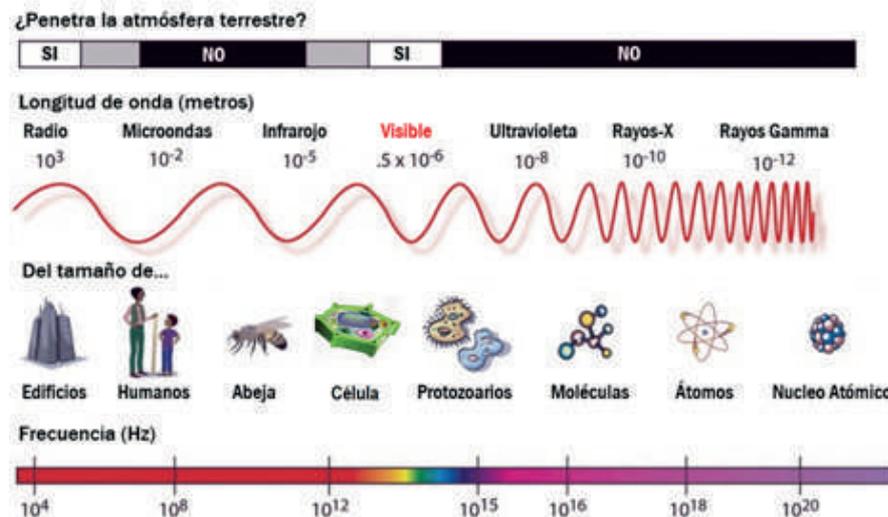
completo (CC), cuerpo seccionado (CS), cuerpo con cal (CL), cuerpo en bolsa (CB), cuerpo con cobija (CJ), cuerpo quemado (CQ) y reducción esquelética (RE).

Ver para saber

El método de detección que se aborda en el presente texto emplea la iluminación solar recibida por las superficies de forma natural, por lo que resulta conveniente repasar algunos conceptos sobre la medición con luz. Cualquier libro sobre percepción remota ofrece una introducción más amplia a estos temas (Campbell & Wynne, 2011; Lillesand, 2015).

En principio, es necesario recordar que la luz vibra a diferentes frecuencias y que a cada una de ellas corresponde a una longitud de onda; la primera mide la característica temporal de la vibración y, la segunda, la característica espacial de la misma, pero pueden ser consideradas cantidades recíprocas: a mayor longitud de onda menor frecuencia y viceversa.

Figura 2. Relación entre longitud de onda, tamaño, frecuencia y color



Fuente: adaptado de Wikipedia.

La luz se puede emitir o absorber, pero también puede atravesar las superficies donde incide o ser reflejada. A este último componente se le llama reflexión y es la propiedad que permite que los seres humanos registremos imágenes de los objetos iluminados. A la distribución de la intensidad de la luz en un rango de frecuencias o longitudes de onda se le denomina espectro.

Así, los colores que somos capaces de percibir no son otra cosa que un espectro de luz, ya sea reflejada desde una superficie o emitida por una fuente, con longitudes de onda específicas (Figura 2). Por ejemplo, el espectro del color azul se compone de vibraciones con longitudes de onda entre los 400 y 500 nanómetros (nm), —unidad equivalente a la milmillonésima parte de un metro—; el verde, corresponde al rango de entre 500 y 600 nm; mientras que el rojo al de entre 600 y 700 nm. Además, al mezclarse estos rangos con distintas contribuciones o intensidades, generan toda la gama de colores susceptibles de ser observados por el ojo humano. En contraparte, también hay espectros que las personas son incapaces de percibir: por debajo del rango azul —a una mayor frecuencia— se encuentra el rango del ultravioleta y, por encima del rojo, — a menor frecuencia— se encuentran los infrarrojos. La Tabla 1 proporciona un conjunto de bandas espectrales que son de interés para la percepción remota.

Tabla 1. Designación de algunos rangos de longitudes de onda de interés para la percepción remota

Nombre de la banda	Rango espectral [nm]
Ultravioleta A	315-400
Visible	400-700
Pared roja	700-780
Infrarrojo cercano	750-1000
Infrarrojo de onda corta 1	1000-1800
Infrarrojo de onda corta 2	1800-2500

También es importante señalar que el rango de longitudes de onda de los espectros reflejados está relacionado con el tamaño del objeto que se observa (Campbell & Wynne, 2011). Por ejemplo, algunas moléculas que se encuentran en la atmósfera, por su tamaño y estructura, pueden bloquear la luz en ciertas longitudes de onda, lo que impide que alcancen

la superficie de la Tierra. Es decir, como se ilustra en la Figura 2, la longitud de onda, el tamaño del objeto, la frecuencia y el color están íntimamente relacionados⁶.

En esa misma ilustración se muestran los rangos que tienen la capacidad de atravesar la atmósfera, aspecto de relevancia ya que, como se mencionó anteriormente, la fuente de iluminación para el método de detección utilizado es el Sol y, mediante esta técnica pasiva, resulta imposible observar los rangos espectrales donde la luz no alcanza la superficie terrestre; para lograrlo sería necesario recurrir a técnicas activas como el radar, que cuenta con su propia fuente de radiación en el rango de las microondas, tema que se aborda en otro capítulo del volumen⁷.

Para llevar a cabo la medición de espectros de luz reflejada es posible usar distintos dispositivos: uno de ellos es el espectroradiómetro, un instrumento con fotodetectores que mide cuánta luz de un rango de longitudes de onda específico incide en cada uno de los detectores; otro método es la utilización de cámaras sensibles a varios rangos de longitudes de onda, en cuyas características se profundizará toda vez que resulta acorde a las técnicas empleadas en el desarrollo de la experimentación propia de esta investigación.

A diferencia del espectroradiómetro, que registra la luz reflejada de un área en cientos de bandas espectrales muy delgadas y contiguas, una cámara lo hace sólo en unas cuantas bandas más anchas, pero en múltiples áreas o píxeles simultáneamente (o casi simultáneamente). Por lo tanto, se considera que una cámara es multispectral cuando registra al menos unas cuantas bandas, no necesariamente contiguas, con anchos de alrededor de 100 nm, y que es hiperespectral cuando registra muchas bandas contiguas delgadas de alrededor de 10 nm. Aunque esto es sólo una convención, tiene relevancia debido a que el costo de una cámara hiperespectral es del orden de 10 veces el costo de una multispectral, por lo que, para fines prácticos, resulta necesario conocer qué clase de fosas sería capaz de detectar determinado tipo de cámara o imagen.

Otro aspecto a considerar es el tamaño de píxel que cada cámara es capaz de mapear, pues, con sus debidas excepciones, se toma en consideración que la extensión superficial promedio de una fosa es de un metro a metro y medio de diámetro. En tanto, las resoluciones de las

6 Otras cantidades relacionadas son la temperatura del cuerpo que emite y la energía de la onda electromagnética.

7 Véase: “Reflejos de una búsqueda: el uso del Radar de Penetración Terrestre (GPR) para la detección de inhumaciones clandestinas”.



cámaras se clasifican como baja, media, alta o muy alta, considerando que cada píxel captura un área de un diámetro aproximado de mil, 100, 10 o un metro, respectivamente. Por tanto, para la detección de fosas se requieren imágenes de muy alta resolución espacial. En el caso de los drones, el tamaño del píxel se garantiza con la altura de vuelo de alrededor de 100 metros sobre el suelo, mientras que en el caso de los satélites es necesario realizar fusión entre una banda de alta resolución (denominada banda pancromática) con las bandas multiespectrales. No obstante, las imágenes tomadas por satélite ofrecen muchas ventajas sobre las imágenes tomadas con drones para la detección de fosas. Por ejemplo, ofrecen mayor consistencia temporal, una mayor frecuencia de revisita, mucho mayor cobertura permitiendo alcanzar lugares de difícil acceso o de alto riesgo para los drones, una mayor fidelidad espectral que las cámaras de los drones, así como numerosas herramientas para su tratamiento. Por lo tanto, de comprobarse que las imágenes de satélite de alta resolución son útiles para los fines de este estudio, se reducen los riesgos inherentes al trabajo de búsqueda en campo.

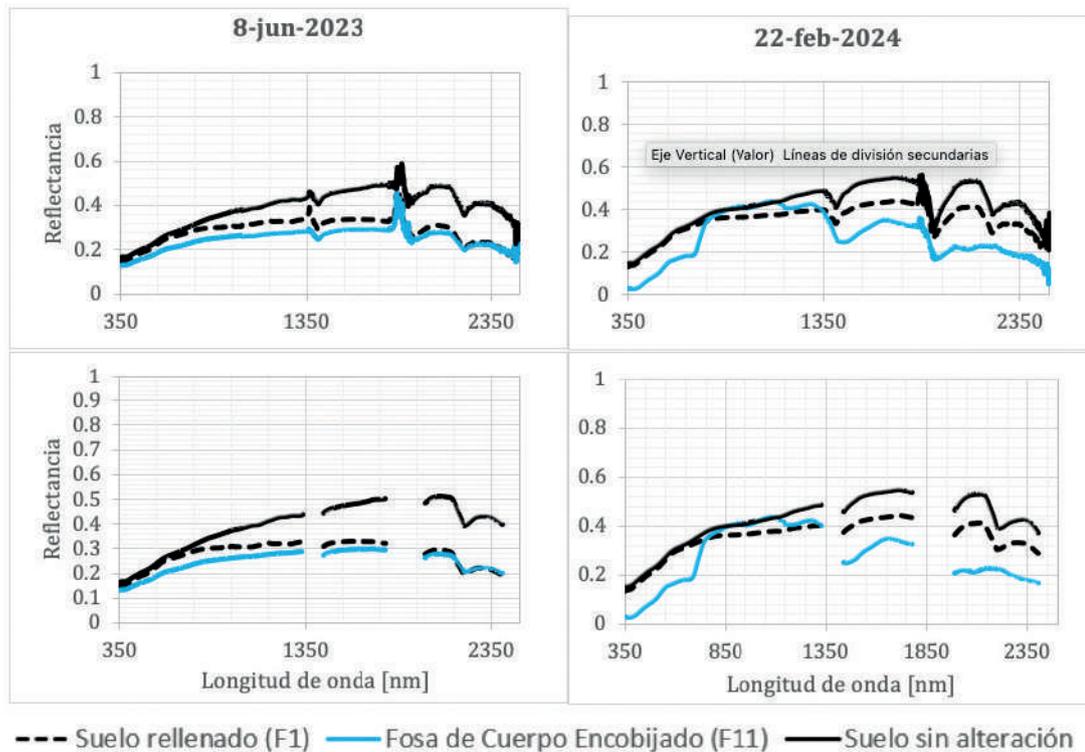
Por último, es pertinente acotar que en este estudio se emplea la espectroscopía —ciencia que estudia la estructura de la materia a partir de los espectros reflejados o absorbidos— para abordar la apariencia del suelo y la vegetación sobre las fosas simuladas, así como sus cambios en el lapso de un año. Basado en el análisis de las mediciones de la fracción de luz reflejada en las inhumaciones experimentales, el estudio apunta a determinar los espectros —o colores— que se deberían interpretar como fosas clandestinas en las imágenes capturadas por los drones o satélites.

El “color” de las fosas en el sitio experimental Polígono 1

La fracción de luz reflejada, o reflectancia, no es otra cosa que el cociente de la luz reflejada dividida entre la luz incidente en un rango de longitudes de onda denominado banda espectral, al cual hemos aludido como “color”. Esta cantidad se midió para bandas centradas a cada nanómetro entre 350 y 2 mil 500 nm, de tal forma que cada firma de reflectancia consta de dos mil 151 valores de reflectancia en el rango de 0 y 1, cada uno asociado a una banda espectral de un nanómetro de ancho. Estas firmas se pueden visualizar como curvas donde el eje horizontal indica la longitud de onda del centro de la banda y el vertical, la reflectancia. Ejemplos de firmas graficadas se muestran en la Figura 3. El rango espectral medido incluye

regiones espectrales donde el vapor de agua y el dióxido de carbono de la atmósfera absorben gran parte de la radiación y por tanto los valores registrados en esos rangos suelen presentar fluctuaciones erráticas que pueden registrar valores mayores a uno o menores a cero. Estas fluctuaciones ocurren alrededor de los mil 350, mil 850 y dos mil 450 nm y representan errores que normalmente requieren un tratamiento especial, pero antes es necesario explicar cómo se realizaron las mediciones.

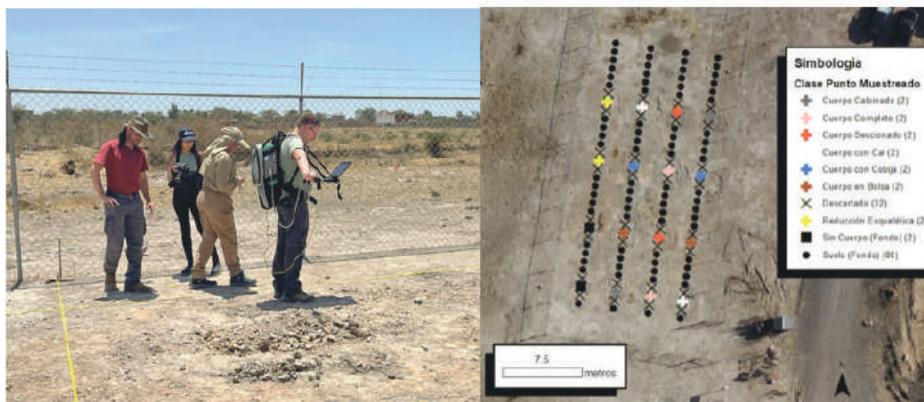
Figura 3. Ejemplos de firmas de reflectancia espectral, sin (arriba) y con (abajo) procesamiento, para tres puntos medidos en junio (izquierda) del 2023 y febrero (derecha) del 2024



Fuente: elaboración propia.

La medición de las firmas de reflectancia se realizó con un espectroradiómetro de campo de la marca *FieldSpec 4 Std Res.* de *ASD Inc.* (Figura 4-izqda.). El instrumento consta de una unidad de medición que se lleva en una mochila, una computadora portátil con la cual se configura la medición y una sonda por donde se capta la luz en un ángulo de 25 grados proveniente desde la dirección a donde se apunta la sonda. La luz se canaliza al dispositivo por una fibra óptica de alrededor de 1.5 m de largo. Las mediciones se realizaron apuntando la sonda hacia abajo desde una altura aproximada de 1.2 m. Esta combinación de ángulo y altura garantiza que la superficie reflectante corresponda a una circunferencia del suelo con un diámetro aproximado de 50 cm. En cada campaña de muestreo se recolectaron 120 firmas de reflectancia a lo largo de cuatro líneas paralelas que pasaban sobre las fosas, 30 lecturas por cada línea (vea la Figura 4-dcha.). Antes de realizar una línea se registró la cantidad luz incidente empleando un panel de referencia que tiene una reflectancia unitaria en todas las longitudes de onda, de tal forma que las mediciones subsecuentes corresponden a la luz reflejada normalizadas con respecto a la referencia registrada previamente. En total se realizaron cinco campañas de muestreo en el Polígono 1, la primera a los ocho días de la creación de las fosas, y las subsecuentes cada tres meses, aproximadamente.

Figura 4. A la izquierda una foto durante la medición de firmas espectrales y a la derecha los perfiles creados



Fuente: elaboración propia.

Ya en gabinete, a cada firma se le aplicó un suavizado y se le hizo un recorte para reducir los efectos causados por las condiciones atmosféricas al momento de la medición. Además, se etiquetó cada firma de acuerdo a su proximidad una fosa como se indica en la Figura 4-derecha. En la Figura 3 se pueden comparar las firmas antes (arriba) y después del procesamiento (abajo) para 3 puntos en dos fechas distintas. Observe que la forma de la firma de una fosa con un cuerpo envuelto en cobija (F11) era muy parecida a la firma del suelo rellenado (F1) al principio, pero en la última fecha éstas ya se diferenciaban claramente. En cambio, la firma del suelo rellenado se hizo más parecida a la firma del suelo sin alteración, lo cual parece bastante razonable ya que al paso del tiempo el suelo rellenado se va compactando y volviendo a su estado natural. Desde luego las firmas no serían un método práctico para detectar fosas en búsquedas reales, ya que su recolección es un trabajo arduo, lento, riesgoso y costoso. Entonces, la pregunta que se busca responder es: ¿cómo usar la información de las firmas para construir un índice que luego se pueda aplicar con imágenes captadas por dron o satélite?

En la búsqueda del “índice de fosas”

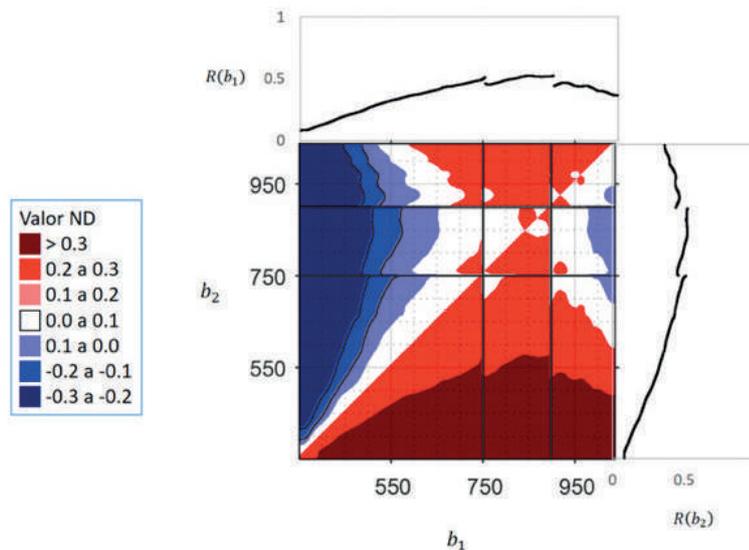
Uno de los métodos más efectivos para realzar las diferencias sutiles que existen en una firma espectral son los índices de la diferencia normalizada (*ND*). El nombre proviene de su forma algebraica, la cual combina los valores de reflectancia (*R*) en dos bandas espectrales, b_1 y b_2 , como la diferencia dividida por la suma:

$$ND = \frac{R(b_1) - R(b_2)}{R(b_1) + R(b_2)}$$

El problema consiste en encontrar las bandas que definan el mejor índice, que resulte en valores grandes para el rasgo de interés (fosas) y en valores pequeños para otros que no son de interés (no fosas).

Así, para una firma con seis bandas hay un total de 30 índices de la diferencia normalizada, la mitad de los cuales son iguales en magnitud, pero con distinto signo, respecto a la otra mitad (el intercambio de bandas sólo cambia el signo del ND). En cambio, para el caso de las firmas recolectadas en el Polígono 1 se generan cerca de tres millones de índices por firma, lo cual parece incrementar la complejidad del problema tremendamente; no obstante, nuestro sistema de visión está adaptado para interpretar imágenes, de tal suerte que si se ordena la colección de índices como un mapa donde las coordenadas representan las longitudes de onda asociada a cada banda de la firma y el color representa el valor del índice, es posible visualizar dicho mapa resaltando las regiones con valores altos del índice. Un ejemplo de mapa espectral del índice se muestra en la Figura 5 donde los tonos cálidos indican valores positivos y los fríos, valores negativos, mientras que las líneas vertical y horizontal indican discontinuidades debido a las bandas eliminadas en la firma.

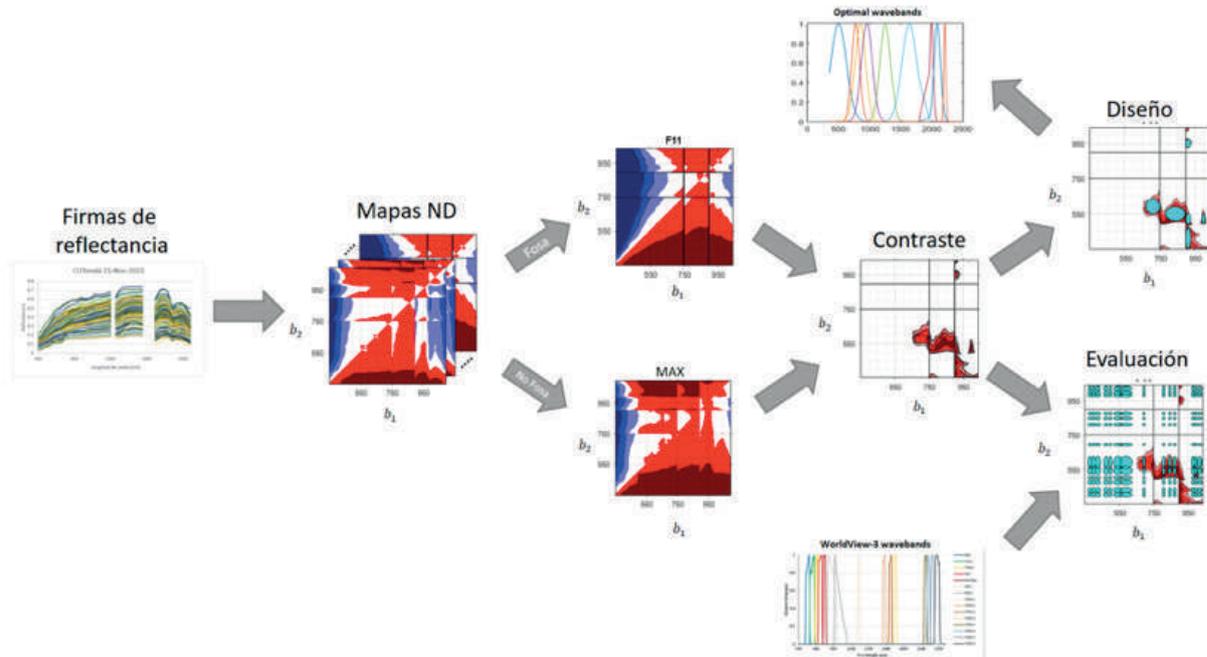
Figura 5. Mapa espectral del índice de la diferencia normalizada para la firma de Fosa F11 tomada en noviembre de 2023



Fuente: elaboración propia.

Cabe aclarar que los valores altos del índice por sí mismos no nos garantizan que el rasgo de interés será distinguible de otros rasgos. La única forma de poder garantizar que un índice tomará valores mayores para las fosas que para las no fosas es sustrayendo el valor máximo de todos los mapas asociados a firmas que no son fosas. El resultado es un índice de contraste que, en las regiones donde toma valores positivos, nos garantiza que sería factible la detección, y en caso de no haber valores positivos, nos dice que no es posible hacer la detección. Así, los mapas de contraste pueden ser usados para diseñar las bandas espectrales que se requerirían para la detección del rasgo de interés, pero también, como se verá más adelante, para saber si una cámara dada podría ser útil para detectar dicho rasgo.

Figura 6. Diagrama ilustrativo los pasos del análisis de las firmas espectrales para la identificación de bandas espectrales de interés



Fuente: elaboración propia.

El diagrama de la Figura 6 resume los pasos centrales del método de análisis de las firmas para poder dar con el o los índices que podrían ser empleados para detectar fosas. De acuerdo con este método, cada firma es transformada en mapas de diferencia normalizada y luego a los de mapas de fosas se les sustrae el máximo de los mapas que no son fosas dando como resultado los mapas de contraste, que son el principal insumo para el diseño o evaluación de índices espectrales. Ejemplos de los mapas de contraste obtenidos para firmas del Polígono 1 se muestran en la Figura 7, donde se excluyen regiones con contraste por debajo de 0.01, esto para dotar de mayor robustez a la detección. La ubicación y el tamaño de las regiones con contraste positivo determinan el centro y ancho de las bandas espectrales del índice de la diferencia normalizada que se podrían emplear para la detección de fosas, mientras que el máximo contraste indica la facilidad relativa con la que ésta se podría hacer bajo condiciones de suelo, clima y atmósfera similares a las del sitio de prueba.

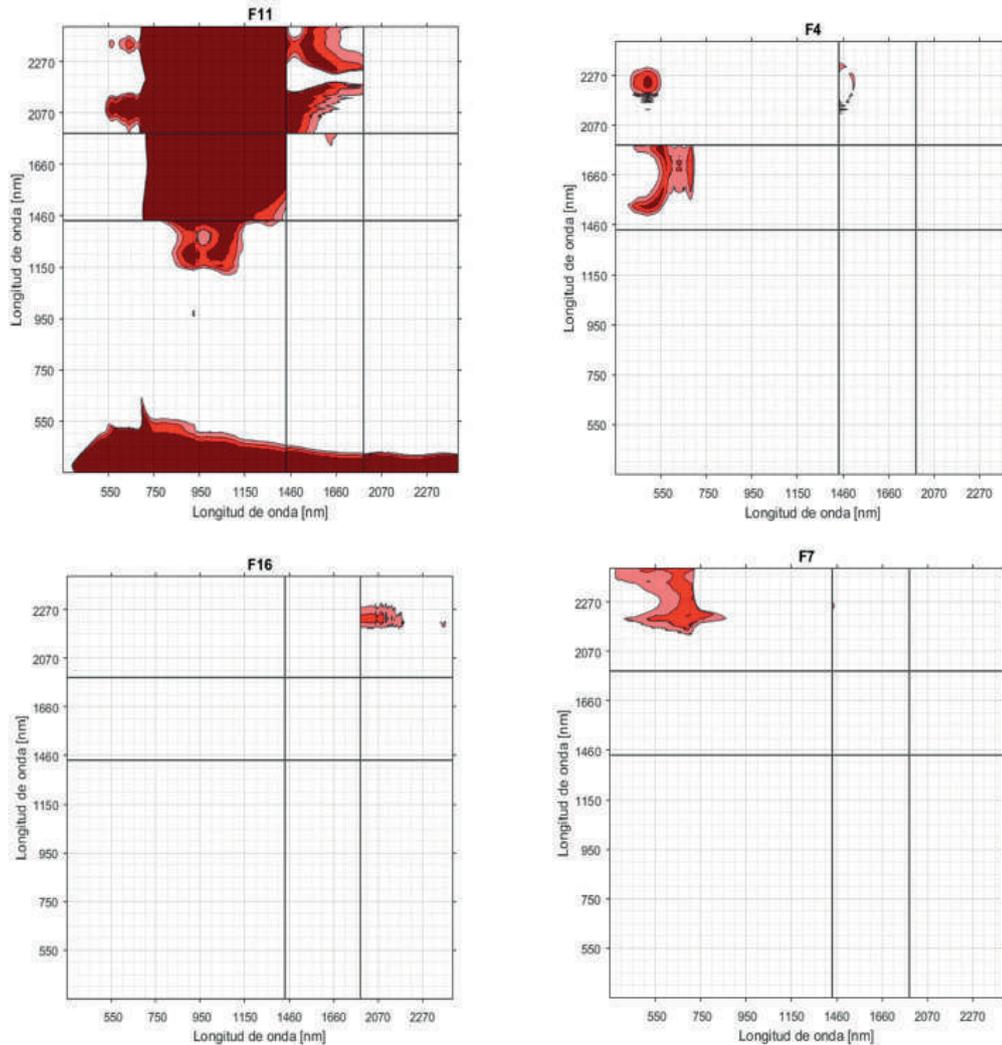
¿Como es posible identificar los valores para fosas clandestinas?

Los análisis de las firmas del Polígono 1 mostraron valores de contraste relativamente bajos en todos los meses de monitoreo, por debajo de 0.1, excepto para las fosas con cuerpo con cobija (F11 y F12) en la última fecha, lo que indica la dificultad de detectar la mayoría de las fosas en una sola toma⁸.

8 En otros estudios se ha propuesto considerar la tendencia temporal de un índice de vegetación como medio para la detección (Silván-Cárdenas & Alegre-Mondragón, *Espacio Clandestino: A nationwide platform to support clandestine graves search in Mexico*, 2023).



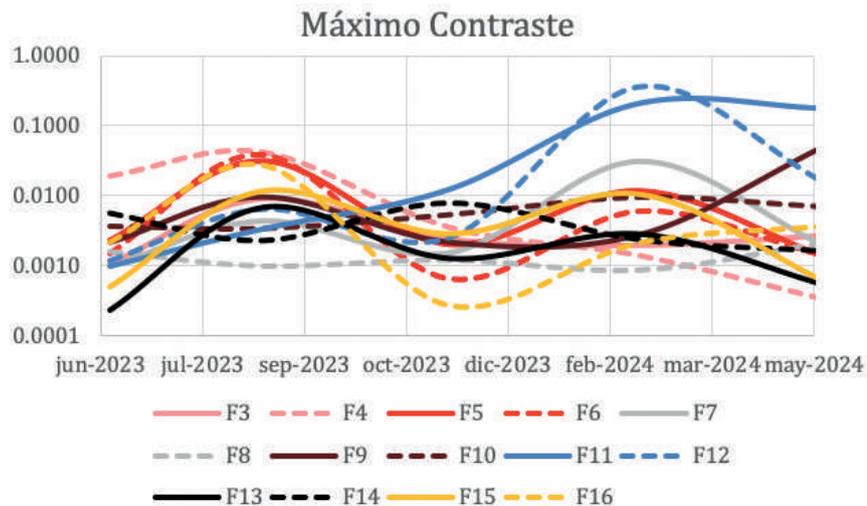
Figura 7. Ejemplos de mapas del índice de contraste espectral para firmas de fosas tomadas en agosto del 2023 (izquierda) y febrero del 2024 (derecha). Se muestran valores de contraste mayores a 0.01 (rosa), 0.02 (rojo), y 0.03 (marrón)



Fuente: elaboración propia.

La Figura 8 muestra la variación temporal del máximo contraste observado en escala logarítmica para cada una de las fosas: las fosas con cuerpo con cobija (F11 y F12) presentaron los contrastes más altos, pero sólo a partir de que transcurrieran nueve meses desde la inhumación; las fosas con cuerpos seccionados (F5 y F6), con reducción esquelética (F15 y F16) y una con cuerpo completo (F4) tuvieron un mayor contraste a los tres meses de la inhumación (ago-2023), lo cual parece confirmar observaciones previas hechas en campos de prueba ubicados en Yautepec, Morelos, y en Milpa Alta, Ciudad de México donde se inhumaron cuerpos completos (Silván-Cárdenas et al., 2017; Silván-Cárdenas et al., 2021); una fosa de cuerpo con cal (F7) fue detectable a los nueve meses, lo cual confirma el efecto de retardo que este material provoca en la descomposición del cuerpo; mientras que las fosas de cuerpos con bolsa (F9 y F10) y de cuerpos calcinados (F13 y F14) tuvieron contrastes menores a 0.01 en todo el período, lo que sugiere que son indetectables con éste método, al menos en el lapso de un año.

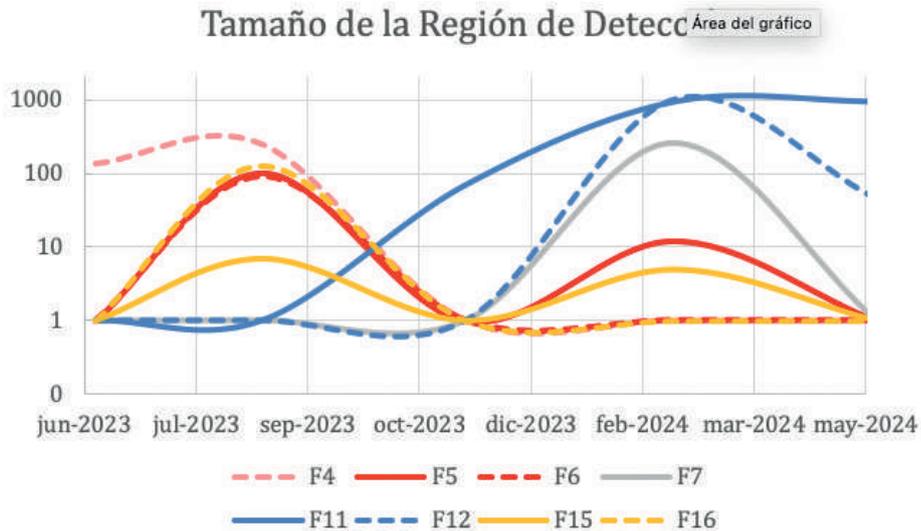
Figura 8. Variación del máximo contraste a lo largo del año de monitoreo (El color indica el tipo de inhumación, la línea continua la versión somera y la discontinua la versión profunda)



Fuente: elaboración propia.

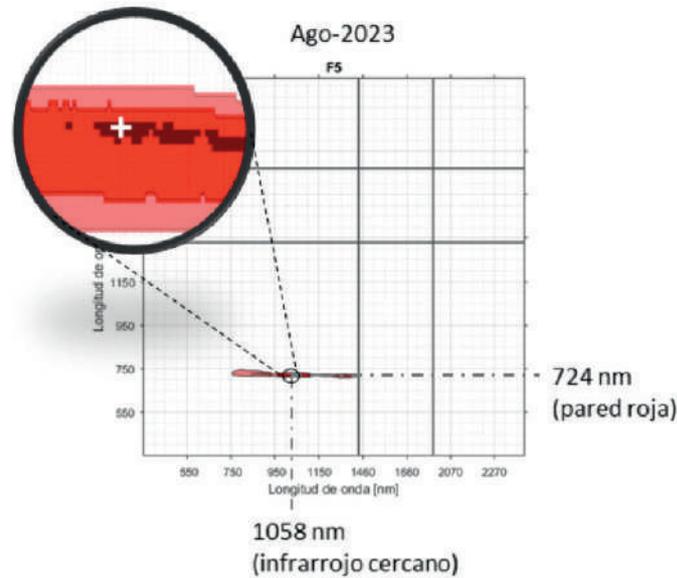
La Figura 9 muestra la variación del tamaño de la región de detección en el mapa de contraste, mismo que fue calculado con la raíz cuadrada del número de combinaciones de bandas espectrales en las que el contraste fue mayor a 0.01. La gráfica confirma que sólo ocho de las 14 fosas fueron detectables en el lapso de un año, con dos ventanas de detección, una a los tres meses (CC, CS y RE) y otras a los nueve meses (CJ y CC).

Figura 9. Variación del tamaño efectivo de la región de detección para fosas con contraste máximo mayor a 0.01



Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Mapa de contraste de una fosa con cuerpo seccionado (F5) generado con la firma espectral de ago-2023. El acercamiento indica las longitudes de onda del máximo local



Fuente: elaboración propia.

Los índices ideales

Para definir índices óptimos, se pueden escoger las longitudes de onda donde el contraste es máximo. Por ejemplo, en la Figura 10 se indica un máximo local del mapa correspondiente a una fosa con cuerpo seccionado, de tal forma que podemos proponer el índice para detectar específicamente ese tipo de fosa de la siguiente manera:

$$ND_{Cs} = \frac{R(1058) - R(724)}{R(1058) + R(724)}$$

Al proceder de esta forma con otros mapas de contraste es posible generar una serie de índices ideales para detectar los diferentes tipos de fosas que son detectables. La Tabla 2 presenta la lista de los diez máximos locales encontrados en todos los mapas de contraste que se generaron. Las columnas b_1 y b_2 de la tabla definen las bandas donde se ubica el máximo contraste C_{max} . La tabla también proporciona el valor ND_{max} , que es el máximo valor del ND creado con esas bandas. Aunque el contraste positivo garantiza que el valor ND de una fosa excederá en al menos C_{max} el valor ND de una no fosa, esto no significa que ND debe ser positivo, como se puede constatar por los valores negativos de ND_{max} . Para generar un índice que dé positivo para una fosa y negativo para una no fosa, se puede agregar un desplazamiento $\delta = C_{max} - ND_{max}$ a la fórmula. Así, la forma general del índice espectral para detectar algún tipo de fosas se puede escribir como:

$$ND_{FOSA} = \frac{R(b_1) - R(b_2)}{R(b_1) + R(b_2)} + \delta$$

Tabla 2. Resumen de máximos locales en mapas de contrastes para fosas detectables

#	Contenido (Fosa)	Tiempo [meses]	b_1	b_2	C_{max}	ND_{max}
1	CC (F4)	3	488	2238	0.0341	-0.0125
2	CC (F4)	3	547	1764	0.0416	-0.2113
3	CC (F4)	3	519	1548	0.0399	-0.2552
4	CS (F5)	3	1058	724	0.0308	0.2145
5	RE (F16)	3	2232	2058	0.0279	0.1556
6	CJ (F11 y F12)	9	758	415	0.0893	0.7655
7	CJ (F11 y F12)	9	783	1759	0.1435	0.1732
8	CJ (F11 y F12)	9	1048	1329	0.0607	0.0894
9	CJ (F11 y F12)	9	715	2141	0.1788	0.1073
10	CL (F7)	9	688	2213	0.0308	0.0629

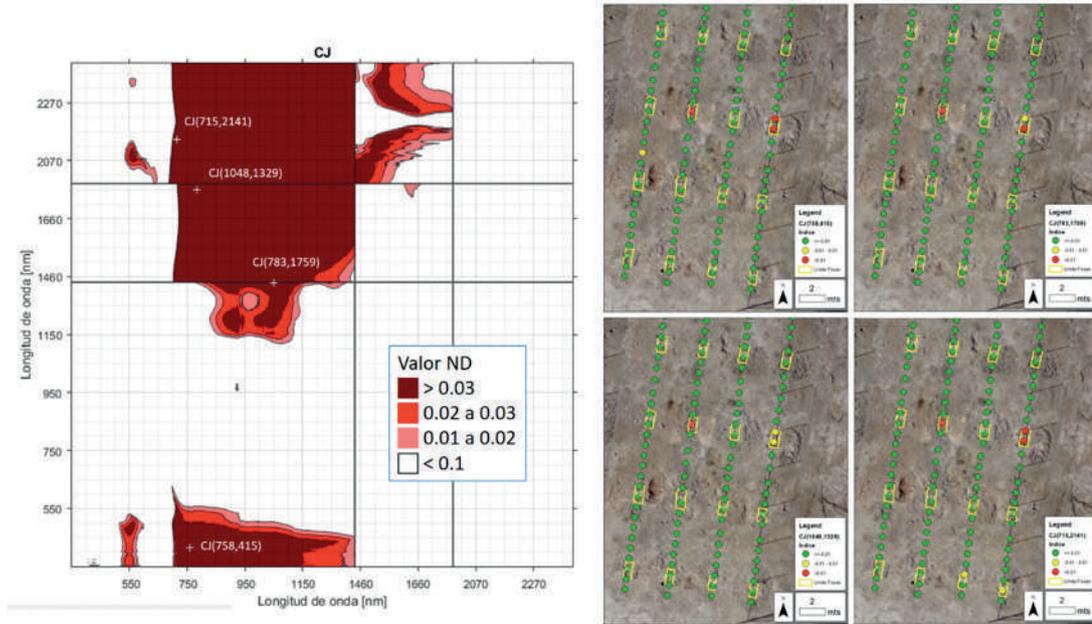
¿Pero cuál índice es mejor? Cuando se tienen varios máximos locales en un mapa de contraste es posible escoger entre los índices de mayor contraste, pero una forma más conveniente es calcular los índices a partir de las firmas espectrales para evaluar su efectividad real. Por ejemplo, para las fosas de cuerpo con cobija (F11 y F12) se encontraron cuatro máximos locales (Tabla 2).

En la Figura 11 se muestran los máximos locales junto con el mapa de detección de cada índice. Los círculos rojos indican un valor mayor a 0.01 (hay fosa), los verdes, un valor menor a -0.01 (no hay fosa) y los amarillos, un valor entre -0.01 y 0.01 (podría ser fosa o no fosa). Aunque todos los índices proporcionan una buena detección, el índice número 7, cuyo mapa se muestra en la parte superior derecha, es mejor que los otros porque no recoge amarillos fuera de las fosas objetivo y presenta al menos un rojo dentro de las fosas objetivo.

En suma, si se tuviera la posibilidad de crear una cámara que registrara la reflectancia en las longitudes de onda listadas en la Tabla 2, se podría utilizar para mapear índices que dieran cuenta de la existencia de fosas con las características indicadas.



Figura 11. A la izquierda se muestran el mapa de contraste para las fosas F11 y F12 en febrero de 2024, con sus máximos locales indicados. A la derecha se muestran la detección con los índices diseñados a partir de cada máximo local



Fuente: elaboración propia.

Los índices reales

Como se ha visto, en condiciones ideales es posible detectar algunos tipos de fosas en ciertos momentos. Sin embargo, en la práctica sólo contamos con imágenes de cámaras con unas pocas bandas espectrales fijas que son mucho más anchas a 1 nm, por lo que es necesario evaluar si son suficientemente cercanas a las bandas ideales o, por lo menos, intersecan las regiones de contraste positivo. Para determinarlo, se superponen las bandas del sensor en cada uno de los mapas de contraste, haciendo todas las posibles combinaciones de bandas. Las combinaciones que intersecan las regiones de alto contraste pueden entonces ser propuestas como índices para usar con ese sensor particular, en el entendido de que esto es sólo una aproximación (vea el Apéndice A. Cobertura espectral de sensores comerciales, para algunos ejemplos).

Para este estudio se contó con imágenes de drones DJI Mavic 3M, DJI Phantom 4PM y Matrice 300 Micansense Redge-P, así como imágenes multitemporales del satélite Pléyades NEO. El proceso de adquisición y procesamiento de las imágenes de drones fue similar al procedimiento descrito en el Capítulo 9⁹, mientras que la adquisición y procesamiento de las imágenes satelitales se detallan en el Apéndice B. Adquisición y procesamiento de las imágenes. Por lo tanto, el estudio se enfocó en diseño de índices para estos sensores, pero también se incluyó el caso del satélite *WorldView-3* por sus características.

Una lista no exhaustiva de índices para los diferentes sensores de interés se proporciona en la Tabla 3. Nótese que de los cinco casos que se pueden detectar con índices ideales, solo cuatro se podrían detectar con los sensores multiespectrales considerados ya que ninguno intersecó el mapa de fosa con reducción esquelética, mientras que solo *WorldView-3* podría detectar cuerpos completos y con cal, ya que es el único que cuenta con bandas en el infrarrojo de onda corta.

Algunos de estos índices han sido previamente propuestos para otros propósitos. Por ejemplo, el número 5 que se propone para detectar fosas con cuerpos seccionados fue recientemente identificado como un índice apropiado para suelos contaminados con sangre (Silván-Cárdenas, Alegre-Monragón, Madrigal-Gómez, & Silva-Arias, 2024); mientras que el número 6 corresponde al índice de vegetación de la diferencia normalizada del verde (GNDVI)

9 Véase: “Morfología del terreno mediante fotogrametría con drones: oportunidades y limitaciones para la detección de fosas clandestinas”.



por sus siglas en inglés, que fue originalmente desarrollado para estimar la concentración de clorofila en las hojas de las plantas (Gitelson & Merzlyak, 1998), pero que también se ha propuesto como uno de los índices para detectar fosas vía el enriquecimiento de nitrógeno que ocurre tras la descomposición de los cuerpos (Silván-Cárdenas et al., 2021).

Algunos de estos índices han sido incluidos en GSIM, una plataforma web para el mapeo de índices espectrales a nivel global, donde se pueden elegir algunas colecciones de imágenes de acceso libre, incluyendo los ortomosaicos generados para este proyecto. Es posible ingresar a la plataforma mediante el siguiente enlace:

<https://jsilvan.users.earthengine.app/view/indices-espectrales-globales>



Tabla 3. Lista de índices multispectrales que aproximan un máximo local del mapa de contraste

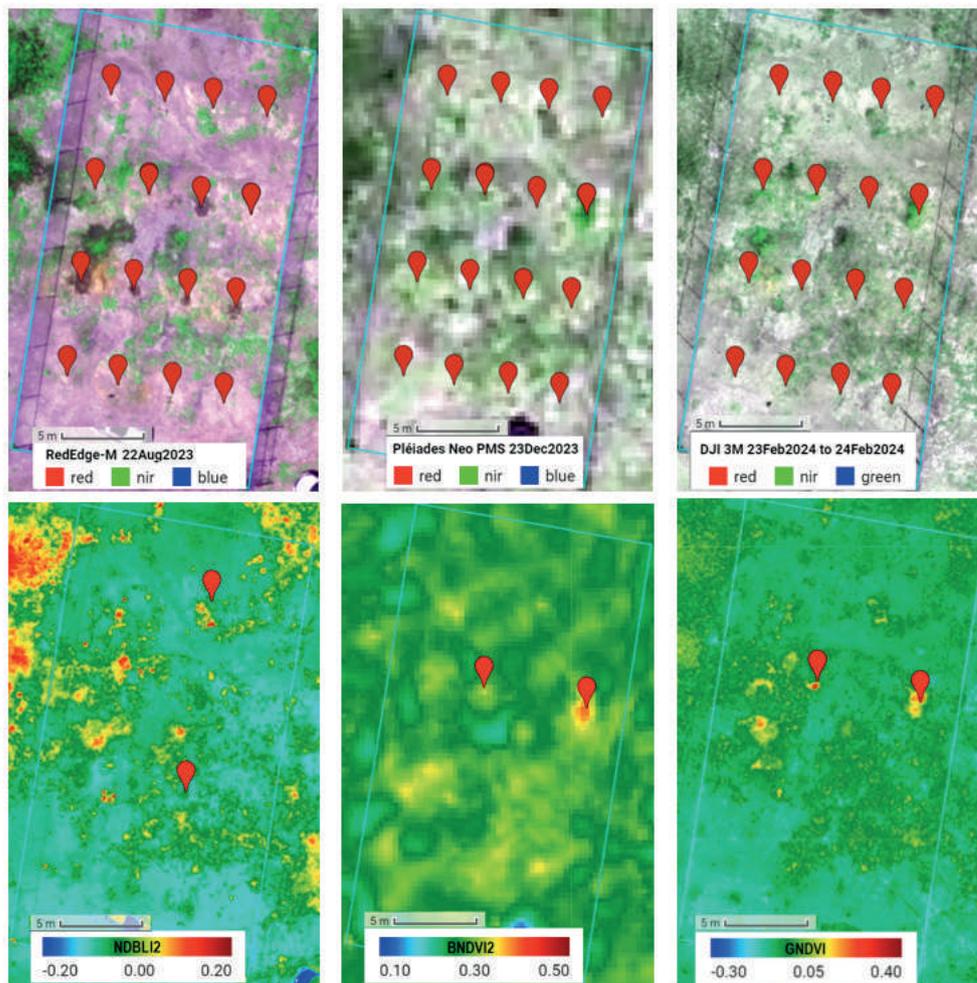
Índice	Contenido (Fosa)	Tiempo [meses]	Sensores	b1	b2
1	CC (F4)	3	WorldView-3	Blue	SWIR5
2	CC (F4)	3	WorldView-3	Green	SWIR4
3	CS (F5)	3	WorldView-3	NIR1	Rededge
4	CS (F5)	3	WorldView-3	NIR2	Rededge
5	CS (F5)	3	DJI Mavic 3M, DJI Phantom 4 PM, Micasense RedEdge-M, Pléyades NEO	NIR	Rededge
6	CL (F7)	9	WorldView-3	Red	SWIR5
7	CL (F7)	9	WorldView-3	Rededge	SWIR5
8	CJ (F11 y F12)	9	DJI Mavic E 3M	NIR	Green
9	CJ (F11 y F12)	9	DJI Mavic E 3M	Rededge	Green
10	CJ (F11 y F12)	9	Pléyades NEO, WorldView-3	NIR	Coastal
11	CJ (F11 y F12)	9	Pléyades NEO, WorldView-3	Rededge	Coastal
12	CJ (F11 y F12)	9	DJI Phantom 4PM	NIR	Blue
13	CJ (F11 y F12)	9	DJI Phantom 4PM	RE	Blue
14	CJ (F11 y F12)	9	WorldView-3	NIR1	SWIR4
15	CJ (F11 y F12)	9	WorldView-3	NIR1	Coastal
16	CJ (F11 y F12)	9	WorldView-3	NIR1	Coastal

La Figura 14 muestra tres ejemplos de mapeo de índices generados con la plataforma GSIM, mostrando un compuesto en falso color de las bandas multispectrales (arriba) y los índices correspondientes en escala de color (abajo). El primer caso muestra el índice número 5 para la detección de las fosas con cuerpo seccionado con la cámara *Micasense Rededge-M*, el cual muestra baja efectividad debido a que las bandas del sensor caen en una orilla del área de detección y lejos del máximo local; una mejor opción habría sido el número 4, pero no se contó

con la imagen requerida. El segundo caso corresponde al índice #10 para la detección de las fosas con cuerpo envuelto en cobija mediante el satélite Pléyades NEO, el cual muestra una mayor efectividad con la fosa más somera (F11), aún y cuando la fecha no fue la más óptima; mientras en el último caso también se muestra el índice #8 para la detección de cuerpo con cobija. Aquí, el índice fue más sensible con las dos fosas aun cuando las bandas de éste se encuentran más lejos del óptimo que el caso anterior. Esto se explica por la fecha de la imagen, más próxima a la ventana de tiempo de los nueve meses.

Estos ejemplos demuestran los distintos factores que pueden influir en la efectividad de la detección de fosas clandestinas con luz, incluso en condiciones controladas. También es importante tomar en consideración que los mapas de contraste empleados para el diseño de los índices incorporan sólo una muestra limitada de superficies que no son fosas, por lo que no se descarta que en la práctica otros tipos de superficies puedan resaltar como fosas cuando no lo son.

Figura 12. Se muestran compuestos de imágenes en falso color (arriba) y los índices 5, 10 y 8 de la Tabla 3



Fuente: elaboración propia.

Comentarios finales y recomendaciones

En este documento se ha presentado una metodología que permite diseñar índices óptimos y aproximados para detectar fosas mediante imágenes de alta resolución espacial, ya sea captadas desde satélites o desde aeronaves tripuladas o no tripuladas, donde la efectividad esperada depende de factores como los requerimientos de resolución espacial y la cobertura espectral y temporal.

Aunque el análisis se limitó a las mediciones hechas de un sólo sitio experimental en el lapso de un año, se confirmó la viabilidad de estas técnicas para la detección de cinco de las siete formas de inhumación probadas: cuerpo completo, cuerpo seccionado, reducción esquelética, cuerpo envuelto en cobija y cuerpo con cal; en tanto que no fue posible detectar fosas de cuerpos en bolsa ni calcinados, al menos no dentro del lapso de un año.

Los análisis revelaron que la detección de los primeros tres casos se puede hacer en una ventana temporal centrada a los tres meses desde la inhumación, lo cual parece coincidir con observaciones previas recogidas en otros estudios; mientras que los otros dos casos fueron observables a partir de los nueve meses desde la inhumación.

En términos generales, se observó un nivel bajo en lo referente a la facilidad con que las fosas fueron detectadas, excepto para aquellas que contenían cuerpos envueltos en cobija, mismas que exhibieron suficiente contraste para ser localizadas aún con índices subóptimos de imágenes provistas por drones y satelitales. Es decir, el análisis demostró que la detección de las fosas con imágenes está fuertemente influida por la forma de la inhumación. En ese sentido, la cobija y la cal parecen tener un efecto retardante en la detección. Adicionalmente, la cobija tuvo un efecto amplificador posiblemente por la retención de humedad que permitió un crecimiento más profuso de la vegetación. Las bolsas y la incineración, tuvieron un efecto inhibitorio. Aunque la profundidad de las fosas no generó un patrón consistente entre los diferentes tipos de inhumaciones, sí parece haber causado un mayor retardo en la detección de la fosa de cuerpo con cobija.

De los cinco tipos de inhumación detectables, cuatro podrían ser avistadas mediante sensores multiespectrales y, de esos, sólo tres podrían detectarse mediante cámaras limitadas al rango visible-infrarrojo cercano. De hecho, entre las bandas espectrales que aparecen



recurrentemente en los índices espectrales destacan la pared roja, el infrarrojo cercano, el verde, el azul, la costera, así como bandas del infrarrojo de onda corta.

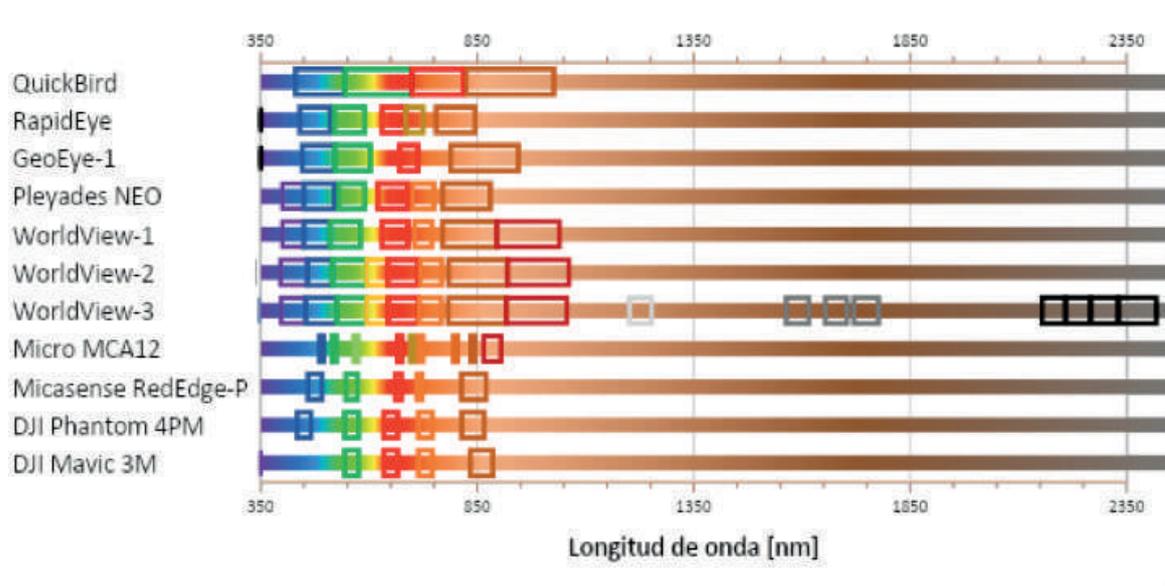
Aunque los drones proporcionan una forma accesible de mapear algunos índices que podrían ser útiles, resulta necesario tener en cuenta que no existe un método optimizado para el mapeo efectivo de las distintas formas de inhumación con las que se experimentó, por lo que, para lograrlo es posible que se requieran varias cámaras o incluso imágenes satelitales como *WorldView-3*.

Una de las mayores limitaciones para el uso práctico de esta técnica son las variaciones en la ventana temporal durante la que cada tipo de fosa es visible; no obstante, este indicio debe ser confirmado mediante investigaciones que recojan un monitoreo de mayor plazo que el realizado para este trabajo.

Apéndice A. Cobertura espectral de sensores comerciales

La Figura 13 muestra las bandas espectrales de varios sistemas comerciales. Los primeros siete representan sistemas satelitales que registran imágenes de muy alta resolución espacial (< 4 m) y los últimos cuatro son cámaras montadas en o compatibles con drones comerciales. El diagrama deja claro que sólo el satélite *WorldView-3* permite registrar la reflectancia en bandas del infrarrojo de onda corta mientras que el resto se limitan a bandas del visible y el infrarrojo cercano, esto es a longitudes de onda por debajo de los 1,050 nm. La implicación inmediata, considerando las bandas de la Tabla 2, es que la gran mayoría de sensores solo podrían detectar fosas con cuerpos envueltos en cobijas o seccionados.

Figura 13. Bandas espectrales muestreadas por algunos de los sistemas comerciales (satélites y cámaras de drones)

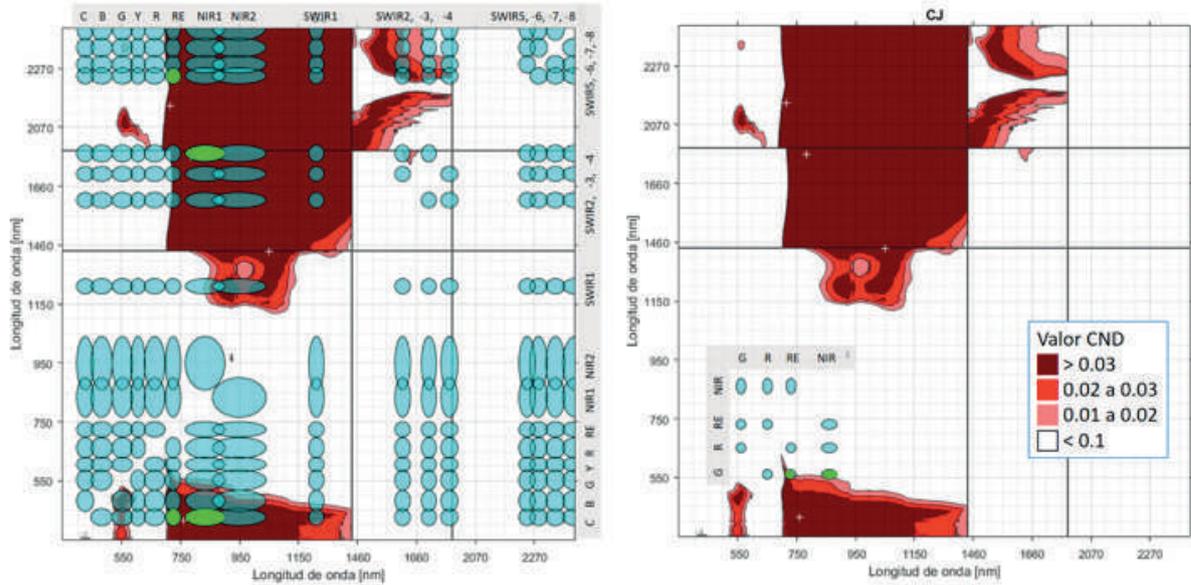


Fuente: elaboración propia.

El número de índices de la diferencia normalizada que se pueden formar varía cuadráticamente con el número de banda. Como ejemplo se puede considerar el dron *DJI Mavic Enterprise 3M*, el cual cuenta con una cámara que registra cuatro bandas espectrales, a saber, *Green* (544-576 nm), *Red* (634-666 nm), *RedEdge* (714-746 nm) y *NIR* (834-886 nm), con las cuales se pueden formar hasta 12 índices distintos, mientras que el satélite *WorldView-3* cuenta con un escáner multiespectral que registra 16 bandas, incluyendo en el infrarrojo de onda corta uno (*SWIR 2-SWIR 4*) y dos (*SWIR 5-SWIR 8*), con las cuales se podrían generar hasta 120 índices. En general, mientras más bandas tienen un sensor, mayores son las posibilidades de cubrir una región del mapa de contraste.

La Figura 14 muestra el mapa de contraste de las fosas de cuerpo con cobija con elipses superpuestas, cada una de las cuales representa un índice potencial y su tamaño indica el ancho de banda a lo largo de cada eje. En el primer caso, se resaltan en verde las dos combinaciones que intersecan la región de detección cerca del máximo número 6 de la Tabla 2, mientras que el segundo caso resalta hasta cuatro combinaciones próximas a los máximos identificados con los números 6 al 9 y señalados con cruces. Por lo tanto, las imágenes del primero permiten definir dos índices para la detección de fosas de cuerpo con cobija, mientras que las de *WorldView-3* permiten crear cuatro índices potenciales.

Figura 14. Ejemplos de sobre posición de las bandas del satélite WorldView-3 (izquierda) y del dron DJI Mavic Enterprise 3M (derecha) sobre los mapas de contraste de las fosas de cuerpo con cobija (F11 y F12). Las elipses resaltadas en verde definen los índices más próximos a un máximo local



Fuente: elaboración propia.

Apéndice B. Adquisición y procesamiento de las imágenes Pléiades Neo

Las imágenes de satélites de alta resolución son un producto que se vende en el mercado y es necesario realizar la compra de las escenas con un distribuidor autorizado, por lo que su adquisición se realizó como se describe a continuación. El primer paso fue identificar a un distribuidor que pudiera cumplir con los requerimientos y la experiencia necesaria para dar respuesta a la necesidad. Después de revisar diferentes opciones, se encontró en la empresa Imagen Geo (Imágenes Geográficas S.A. de C.V.) la experiencia, disponibilidad y compromiso con el proyecto. Gracias a las gestiones de la empresa Imagen Geo se tuvo acceso a una imagen con licencia demo del satélite Pléiades Neo de la empresa Airbus Intelligence, del mes de abril del 2023 (previo a la inhumación), lo cual nos permitió establecer que la resolución espacial y espectral son viables para un análisis de esta naturaleza.

Con el apoyo del distribuidor se realizó una propuesta técnica económica con un descuento especial al tratarse de un tema humanitario. La Universidad de Guadalajara realizó las gestiones de compra y adquisición de las imágenes para una cobertura de 50 km². Se obtuvieron en total 7 coberturas de imágenes correspondiente a los meses de abril, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y diciembre del 2023. Las imágenes fueron entregadas en formato estándar GeoTiff a través de un enlace de descarga. El producto adquirido se denomina BUDLE y consiste en un paquete de tres compuestos denominados PAN, NED y RGB. La primera es una banda pancromática con una resolución de 30 cm/pix, mientras que las otras dos contienen bandas multiespectrales con una resolución de 1.2 m/pix. NED es el acrónimo de NIR-Edge-DeepBlue que corresponde a los nombres de las bandas infrarrojo cercano, pared roja y azul profundo, en tanto que RGB lo es de Red-Green-Blue, correspondiente a las bandas del espectro visible (rojo, verde y azul).

Las imágenes de satélite entregadas necesitaron de diferentes procesos para lograr una ortoimagen satelital que fuera compatible con las ortofotos tomadas con los drones y así ser analizadas con la misma referencia espacial. El procesamiento consistió en:

- 1) Apilamiento de las bandas multiespectrales.
- 2) Fusión de las bandas multiespectrales con la pancromática (*pansharpening*).
- 3) Recorte al área de interés.



- 4) Procesamiento de rectificación con la función racional polinomial de la imagen (ortorectificación).
- 5) Control de calidad a partir de una ortofoto del dron.

El reporte de control de calidad indicó un error residual posicional menor a 1 m (RMSE menor a 3 píxeles de 30 cm).

Agradecimientos

Las imágenes Pléiades NEO fueron adquiridas gracias a las gestiones de la Universidad de Guadalajara (UDG) y el apoyo de la empresa ImagenGeo (Imágenes Geográficas S.A. de C.V.). Las imágenes de dron fueron recabadas con drones del Observatorio Etnográfico de las Violencias del Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS), la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco (COBUPEJ) y la empresa Bitelemetric del ingeniero Eduardo Santos. A todos ellos nuestro profundo agradecimiento.

Referencias

- CAMPBELL, J. B. & WYNNE, R. H. (2011). *Introduction to remote sensing*. Guilford press.
- GITELSON, A. A. & MERZLYAK, M. N. (1998). *Remote sensing of chlorophyll concentration in higher plant leaves*. *Advances in Space Research*, 22, 689–692.
- KABATA-PENDIAS, A. (2000). *Trace elements in soils and plants*. CRC press.
- KALACSKA, M. & BELL, L. S. (2006). *Remote sensing as a tool for the detection of clandestine mass graves*. *Canadian Society of Forensic Science Journal*, 39, 1–13.
- LEBLANC, G., KALACSKA, M. & SOFFER, R. (2014). *Detection of single graves by airborne hyperspectral imaging*. *Forensic Science International*, 245, 17–23.
- LILLESAND, T. K. (2015). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.
- LORUSSO, F. (2021). *Una discusión sobre el concepto de fosa clandestina y el contexto mexicano. El caso de Guanajuato*. *Historia y grafía*, 129–170.
- SILVÁN-CÁRDENAS, J. L. & ALEGRE-MONDRAGÓN, A. J. (2023). *Espacio Clandestino: A nationwide platform to support clandestine graves search in Mexico*. *International Conference on Geospatial Information Sciences*.
- SILVÁN-CÁRDENAS, J. L., ALEGRE-MONDRAGÓN, A. J. & RUIZ-REYES, J. (2021). *Geospatial Analysis of Clandestine Graves in Baja California: New Approaches for the Search of Missing Persons in Mexico*. *International Conference on Geospatial Information Sciences*, (págs. 29–39).
- SILVÁN-CÁRDENAS, J. L., ALEGRE-MONDRAGÓN, A. & GONZÁLEZ-ZUCCOLOTTO, K. (2019). *Potential distribution of clandestine graves in Guerrero using geospatial analysis and modelling*. *Proceedings of the 1st International Con*, 13, págs. 21–28.
- SILVÁN-CÁRDENAS, J. L., CACCAVARI-GARZA, A., QUINTO-SÁNCHEZ, M. E., MADRIGAL-GÓMEZ, J. M., CORONADO-JUÁREZ, E. & QUIROZ-SUAREZ, D. (2021). *Assessing optical remote sensing for grave detection*. *Forensic Science International*, 329, 111064.



- SILVÁN-CÁRDENAS, J. L., CORONA-ROMERO, N., MADRIGAL-GÓMEZ, J. M., SAAVEDRA-GUERRERO, A., CORTÉS-VILLAFRANCO, T. & CORONADO-JUÁREZ, E. (2017). *On the detectability of buried remains with hyperspectral measurements. Mexican Conference on Pattern Recognition* (págs. 201–212).
- SILVÁN-CARDENAS, J., ALEGRE-MONDRAGÓN, A., MADRIGAL-GÓMEZ, J. & SILVA-ÁRIAS, C. (2024). *Design of spectral indices for detecting soil contamination from criminal activity in México. Remote Sensing Applications: Society and Environment*, in review.
- SNIRER, E. (2013). *Hyperspectral Remote Sensing of Individual Gravesites – Exploring the effects of Cadaver Decomposition on Vegetation and Soil Spectra*. Master's thesis, McGill University.





Capítulo 11

El calor de las personas que nos faltan: búsqueda de fosas clandestinas con apoyo de drones equipados con cámara termográfica

Sergio Alberto Quezada Godinez¹, Andrea Ponce Chávez²,
José Luis Silván Cárdenas³ y Tunuari Roberto Chávez González⁴
Contribución arbitrada

Introducción

En México existen más de 5 mil 600⁵ fosas clandestinas⁶ (Tzuc, 2023) repartidas en 570 municipios del país. En estos sitios se encuentran las respuestas que miles de familias buscan (*Idem*). Uno de los ejes que conducen la labor de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco (COBUPEJ), es la presunción de localización en vida de las personas desaparecidas; sin embargo, las condiciones de la realidad social en Jalisco nos han exigido asumir la posibilidad

1 Analista contextual de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

2 Analista territorial de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

3 Profesor Investigador Titular C, Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial.

4 Director del área de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

5 Cifra al 9 de octubre de 2023 (Tzuc, 2023).

6 El Registro de Fosas Clandestinas de la Comisión Nacional de Búsqueda (CNB) las define como el sitio en donde una o más personas fueron enterradas de forma anónima y/o ilegal; mientras que el Protocolo Homologado para Búsqueda de Personas Desaparecidas y No Localizadas (PHB) dice que la fosa clandestina es el sitio donde de manera ilegal se han depositado, degradado, ocultado o transportado restos humanos no arqueológicos, y otros indicios asociados a cuerpos o restos que son susceptibles de procesamiento forense.

-y nuestro actuar en consecuente- de localizar los restos de nuestras personas desaparecidas. A su vez, a pensar el fenómeno de las personas desaparecidas que aún no se localizan desde la probable existencia de fosas clandestinas no identificadas.

Partiendo de la certeza de que tanto la detección, como la búsqueda en campo de sitios potencialmente sospechosos de alojar fosas clandestinas implican una serie de riesgos y complicaciones para quienes se encuentran en estos menesteres, y el reciente acceso que tuvimos a un vehículo aéreo no tripulado, decidimos experimentar con la búsqueda remota. En ese sentido, y en sintonía con el resto de los artículos de la presente publicación, se planteó el objetivo de descubrir la posibilidad de identificar sitios que alojen fosas clandestinas mediante la exploración con un dron equipado con cámara termográfica.

Lo anterior a través de una serie de sobrevuelos que se realizaron en los dos sitios experimentales que hicieron posible el proyecto en conjunto. Dado que estas investigaciones están en una fase inicial, y que nuestra experiencia en campo apenas arranca, los objetivos planteados no son precisamente ambiciosos. Teniendo en cuenta que los drones con cámara térmica no se fabrican pensando en su aplicación a los escenarios de nuestro interés, resulta elemental descubrir su eficacia: ese es el objetivo central. Ahora bien, de manera paralela, se decidió registrar la mayoría de los datos que recabamos, tanto por su papel al de momento de nuestras elecciones metodológicas, como para investigaciones a futuro. Por último, nos extendemos en la recopilación y exposición de los conceptos que permiten entender los fundamentos de esta técnica, así como en la recuperación de un par de registros de investigaciones similares –un poco a manera de breve estado de la cuestión.

Antes de exponer los resultados, vamos con la revisión conceptual ya antes mencionada. Se procuró no prologar demasiado, aunque se resalta la importancia de acercarse a estas técnicas con un bagaje conceptual sólido que contribuya a entender lo que está detrás de la ejecución de la técnica y así eficientar los esfuerzos en la planeación metodológica y en su ejecución en campo. De ahí que esta sección también se enlaza a los objetivos del ejercicio.



Antecedentes

Resulta conveniente contar con algunos conceptos que nos permitan representar lo que observamos en la naturaleza. En este caso, de imaginar lo que sucede en ella aún cuando no se pueda observar.

Pensándolo así, la primera pregunta que podría surgir es: **¿en dónde sucede lo que queremos detectar?**

Desde la Física tenemos el concepto de campo, es fundamental ya que permite pensar diferentes manifestaciones. Tiene su anclaje en el concepto matemático de función⁷ y se usa para representar una cantidad medible y variable de magnitudes físicas⁸, misma que dependerá de dónde y cuándo se haya hecho la medición (Llancaqueo, 2003). Este concepto es el que describe y explica fenómenos como los electromagnéticos; puntualmente, es en el siglo XIX que surge a raíz de la búsqueda de la explicación de estos fenómenos.

Es Maxwell en 1855 quien, recuperando las nociones de Faraday, propone dar un cuerpo matemático basado en este nuevo supuesto: la acción electromagnética se transmite continuamente por el espacio y tiempo mediada por el campo (Berkson, 1981).

La noción de campo hace posible que “alguna cosa” pase de un estado potencial a un estado individual – en contraposición con la física aristotélica-: nos permite reconocer la potencia como algo real (García, 1963).

En la Geografía Aplicada, los Sistemas de Información Geográfica⁹ (SIG), abordaron la problemática de no contar con referentes conceptuales pertinentes para poder representar geoméricamente el mundo y, posteriormente, poder representarlo en sistemas informáticos que permitan su investigación: proponen el concepto de objeto. Couclelis (1992) aborda las

7 Una función matemática -o simplemente función- es la relación que hay entre una magnitud y otra, cuando el valor de la primera depende de la segunda. Recuperado de: <https://concepto.de/funcion-matematica/>.

8 Se le llama magnitud física a la cantidad medible de un sistema físico al cual se le pueden asignar distintos valores como resultado de una medición.

9 El término de Sistemas de Información Geográfica suele usarse para referirse a sistemas informáticos orientados a la gestión de datos que conforman herramientas informáticas adecuadas para la investigación y trabajos profesional en Ciencias de la Tierra y Ambientales (Alonso, 2006). Cita en bibliografía.



discusiones entre campos y objetos, concluyendo que ambas son necesarias para estudios que parten de la Física para adentrarse en la Geografía Aplicada.

Conforme lo anterior -y adelantandonos un poco en miras de aterrizar conceptos fundamentales-, tenemos que para los fines del ejercicio, se extraerá -identificará- un objeto, una fosa en este caso; a partir del registro – la detección- de un campo, que será la temperatura del objeto. Más adelante regresaremos a ello.

Ahora bien, **¿cómo podríamos llamar a lo que sucede en el campo?**

Esencialmente, el electromagnetismo se refiere a la interacción de los campos magnéticos y eléctricos. Ahora bien, es la rama de la Física que estudia y unifica los fenómenos eléctricos y magnéticos en una sola teoría; describe la interacción de partículas cargadas con campos eléctricos y magnéticos. Además, su interacción es una de las cuatro fuerzas fundamentales¹⁰ del universo conocido. Como se menciona en el apartado anterior, es gracias al concepto de campo que nos es posible acercarnos teóricamente al entendimiento de este fenómeno.

Dado que es una teoría de campos¹¹, la información que recopila tiene su base en magnitudes físicas que dependen de su posición en el espacio y tiempo.

Los principios de electromagnetismo tienen su aplicación en diferentes momentos de lo que hoy día nos parece cotidiano: tales como el uso de las antenas, la meteorología por radar y la observación remota –la que nos interesa en este estudio-, entre otras.

Entonces, **¿qué es lo que vamos a detectar?**

La radiación electromagnética es considerada una forma de energía, que consiste en la propagación de campos electromagnéticos mediante ondas, transportando cantidades de energía; ésta se pone de manifiesto -se evidencia- a través de su interacción con algún medio material, sin esa interacción su detección sería imposible. Por lo tanto, desde el punto de vista de la teledetección, radiación y materia son indivisibles (Gandia, 1991).

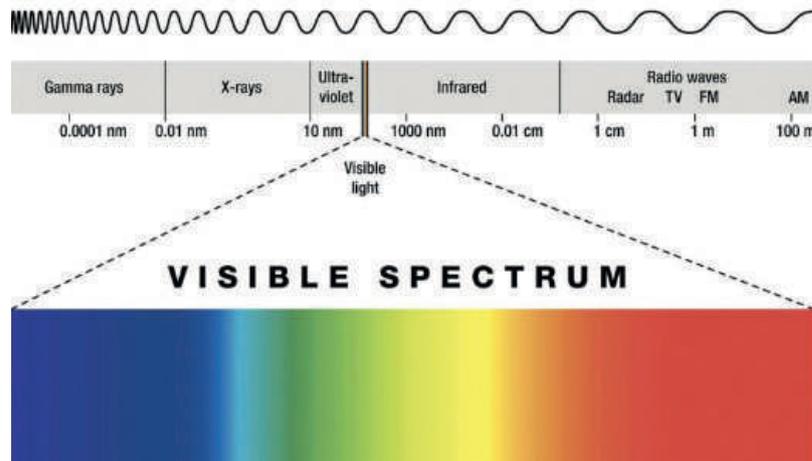
10 Se le denomina fuerza fundamental a cada una de las interacciones entre partículas subatómicas: nuclear fuerte, nuclear débil, interacción gravitatoria y electromagnética. Véase: The Law of Parity Conservation and Other Symmetry Laws of Physics. Chen Ning Yang on Nobel Lecture. Consultado en www.nobelprize.org.

11 Conjunto de principios que permiten estudiar la dinámica y distribución espacial de los campos físicos.

Estas radiaciones tienen diversas maneras de manifestarse: ondas de radio, microondas, luz visible, radiación ultravioleta, rayos X, rayos gamma y radiación infrarroja. Ahondaremos en esta última.

Ahora bien, **la radiación infrarroja (IR)** es un tipo de radiación electromagnética cuya longitud de onda es superior a las que el ojo humano puede captar; no obstante, la percibimos -sentimos- en forma de calor (ver Figura 1). El rango de longitudes de ondas de la IR abarca entre 0.75 y 1.000 μm .¹² Los mismos se subdividen en rayos de onda larga (3-1000 μm) y de onda corta (0.75 y 3 μm). Pensando en el espectro electromagnético, se sitúa entre la luz visible y las microondas (Clínica Universidad de Navarra, 2024).

Figura 1. Imagen del espectro electromagnético.



Fuente: Peter Hermes Furian

La radiación infrarroja es emitida o absorbida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor a 0 Kelvin, es decir, -273.15 grados Celsius (cero absoluto)¹³. Ahora bien, la luz solar y la Tierra son las principales fuentes de radiación infrarroja, misma que, como se mencionó,

¹² El micrómetro es una unidad de longitud equivalente a una milésima parte de un milímetro.

¹³ Según la mecánica clásica, a esta temperatura el nivel de energía interna es el más bajo posible, llegado a ese punto, las moléculas carecen de movimiento. Véase: Prontuario del frío. Cita en bibliografía.

se percibe como transferencia de calor. En ese sentido, usualmente, cuanto mayor sea la temperatura de un objeto, más radiación de infrarrojos emitirá y más perceptible -más no visible- será. Hay objetos que están tan calientes que emiten luz visible -pensemos en un trozo de madera quemándose-; y otros que no están tan calientes y solo emiten radiación infrarroja -como los humanos que absorben y después emiten la IR del sol.

Fue William Herschel quien en 1800 descubrió que los colores en sí mismos podrían contener diferentes niveles de calor. Conclusión que derivó del siguiente experimento: dirigió un rayo de luz hacia un prisma de vidrio, lo que provocó la creación de un espectro (arcoiris) que separó la luz en colores. Herschel, con ayuda de termómetros, midió la temperatura de cada uno de los colores y también más allá de donde terminaba el espectro; mientras medía las temperaturas de los colores, se dio cuenta de que todos ellos registraron temperaturas por encima a la media obtenida en sus controles -violeta, azul, verde, amarillo, naranja y roja-; la temperatura aumentaba progresivamente desde el violeta hasta la sección roja del espectro. Al momento de medir la temperatura más allá del haz de luz roja, región que no estaba siendo tocada por la luz, notó que la temperatura era aún más alta, a esa luz “más allá de la luz roja” se le llamó radiación infrarroja. Este fue el primer experimento que demostró que el calor puede transmitirse por una forma no humanamente visible de luz (Sarola, 2020).

Teniendo claro que lo que nos interesa detectar es la radiación infrarroja, vamos ahora con **cómo hacerlo**.

La termografía es la técnica que permite la medición a distancia de temperaturas y sin necesidad de contacto físico con el objeto medido; lo anterior gracias a la captación de la radiación infrarroja que los objetos emiten.

La termografía -con el uso de detectores- capta la radiación infrarroja del espectro electromagnético utilizando cámaras térmicas o de termovisión (Apliter, 2020).

En ese sentido, la teledetección o detección remota remite a la adquisición de información a través de diferentes dispositivos (aviones, satélites, aeronaves, boyas, barcos, entre otros) de un objeto concreto o un área. La interacción electromagnética entre el objeto/área y el sensor, genera una serie de datos que después se procesan para obtener información interpretable (Instituto Geográfico Nacional, s.f.).



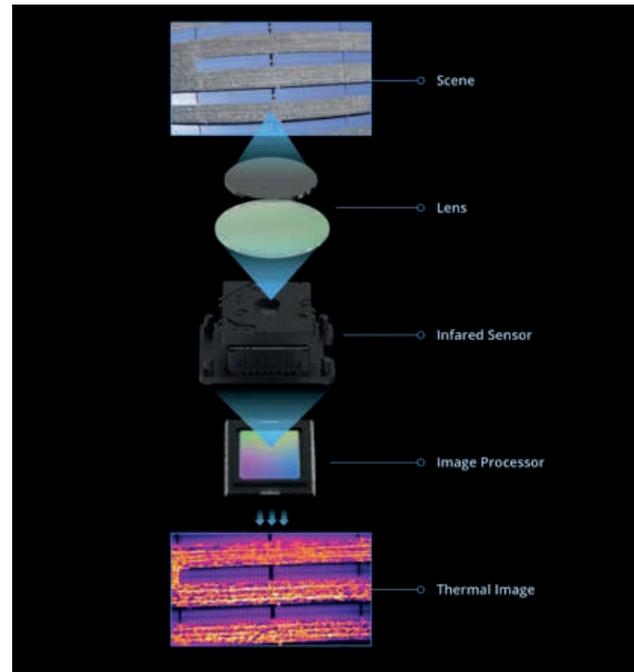
Existen dos tipos de teledetección: pasiva y activa. Los primeros detectan radiación emitida o reflejada por el objeto o área circundante que está siendo observada; la luz solar reflejada es una de las radiaciones que más se miden, misma que se identifica gracias a la cantidad de radiación infrarroja que los objetos -que reciben la luz solar- emiten, determinando así su temperatura. Por otro lado, los activos emiten energía para poder escanear objetos o áreas con lo que el teledetector mide la radiación reflejada del objetivo (Campbell, 2002).

Finalmente, si sabemos que la radiación infrarroja no es visible para nuestros ojos y que la termografía nos ayuda a identificarla **¿con ayuda de qué vamos a detectarla?** Tenemos que hablar de dos dispositivos: el que se encarga de su detección, y el que lo traslada al lugar de detección -recordando que estamos hablando de detecciones remotas.

Las cámaras termográficas o de imagen térmica, están diseñadas para convertir las firmas infrarrojas de los objetos en algo visible para los humanos; a partir de las emisiones del espectro electromagnético de los cuerpos observados, las cámaras detectan su radiación y forman imágenes luminosas visibles para el ojo humano. Generalmente, existe una correlación proporcional entre los niveles de temperatura del objeto y la cantidad de radiación que se emite: a mayor temperatura, mayor número de emisiones.

Las cámaras térmicas utilizan lentes especializados que captan frecuencias IR, junto con sensores de temperatura y procesadores de imagen, con lo cual se logra representar lo captado en una pantalla visual (ver Figura 2). Una vez que las cámaras capturan la información térmica

Figura 2. Diagrama del funcionamiento de una cámara térmica.



Fuente: Godron. Mx

se muestra en una pantalla como una imagen convencional en donde el observador puede seleccionar la paleta de colores para representar el calor en la escena (Godron, 2022).

El uso efectivo de una cámara térmica debería de tener en consideración distintos factores: condiciones atmosféricas, presencia de humo, polvo y escombros, emisividad, transparencia, reflectividad, hora del día en que se hace la observación, ángulo, distancia del objetivo, cantidad de energía térmica y relieve de la superficie (Godron, 2022).

Lo anterior en lo referente al detector, ahora vamos con el segundo dispositivo que se encarga de llevarlo al sitio de nuestro interés.

Comúnmente, se le conoce como dron a todo vehículo aéreo que se controla de manera remota, es decir, un vehículo aéreo no tripulado (VANT).¹⁴

El uso del término dron, tiene un origen anglosajón. En inglés, drone quiere decir zumbido, otro significado de la palabra es zángano, el cual se utiliza para referirse a la abeja macho, cuya función es fecundar a la abeja reina. Desde que se definió la palabra zángano ha sido comúnmente utilizada desde el siglo XVI y hasta la actualidad para referirse a personas que no gustan de trabajar y evitan hacerlo cada tanto que pueden (Martínez, 2020). En 1835 se crean aeronaves con control remoto y el oficial Delmer Fahney relaciona la palabra drone con el nombre de la nueva nave no tripulada: DH 82B *Queen Bee*. Finalmente, el término se popularizó gracias a la publicación de la revista estadounidense *Popular Science* a finales de 1946, en donde se hizo uso del término para referirse a las naves manejadas por radiocontrol (Martínez, 2020).

Su uso ha sido históricamente militar, siguiendo el estudio de Martínez (2020), los protodrones fueron los globos no tripulados que cargaban con bombas que se encendían de manera electromagnética, gracias a un cable conductor que estaba conectado a una batería en la tierra, mismos que se usaron en el ataque de Austria en 1849¹⁵ y en ciertos ataques de las tropas unionistas hacia el ejército confederado en la guerra de Secesión estadounidense (1861- 1865). Para no extendernos demasiado en la materia, nos limitaremos a mencionar que se utilizaron durante la Primera Guerra Mundial, las batallas entre guerras, la Segunda Guerra Mundial y la Guerra Fría. Al tener un uso prolongado en instancias militares, sus características

14 También conocidos como UAV (Unmanned Aerial Vehicle) y RPAS (Remotely Piloted Aircraft System), por sus siglas en inglés.

15 Considerado el primer bombardeo de la historia.



se fueron sofisticando y miniaturizando. Sus principales desarrolladores y usuarios son los estadounidenses.

En la actualidad, sus aplicaciones se han diversificado - aunque siguen teniendo lugar en el campo militar, tanto en misiones de reconocimiento como de ataque¹⁶ -, por lo que ahora existen drones de uso civil y comercial. Existen múltiples campos de aplicación para los mismos, desde sectores agrónomos, uso policial¹⁷ y de vigilancia, control de incendios forestales, investigaciones arqueológicas, cobertura de eventos, búsqueda de personas, fines recreacionales, de investigación geológica, entre otros.

Ahora que tenemos nociones para pensar en nuestra técnica de detección, vamos con su aplicación al contexto que nos interesa. En primer lugar tenemos que pensar su aplicación en contextos de **búsqueda en superficie**.

Generalmente, cuando se reporta a una persona como desaparecida se despliegan extensas labores de búsqueda en el área en donde la persona fue vista por última vez. En tal situación las labores de rescate deben de ejecutarse lo más rápido que sea posible, pensando que cualquier retraso puede significar el daño o incluso la pérdida de vida de la persona desaparecida. Como se puede inferir los ambientes en donde suelen desaparecer las personas tienden a ser hostiles¹⁸ para con las labores de búsqueda (Cooper, 2005).

El uso de los drones (VANT) como herramienta de apoyo tecnológico en contextos de rescate de emergencia ha ido incrementando (Caputo et al., 2022). Hay varias razones que lo explican: los drones pueden sobrevolar rápidamente regiones difíciles de explorar; pueden entregar equipo de rescate -como medicamentos o insumos de curación- mucho más rápido que los equipos humanos; su vuelo es por debajo de la altitud del tráfico aéreo- lo que hace que no se vea comprometido por el de otras aeronaves-; tienen menores costos de operación¹⁹ y respuestas más rápidas; y pueden acercarse más al área de interés (Caputo et al., 2022).

16 Véase: *Pakistán Says U.S. Drone Kills 13*, para dar cuenta de un caso en donde se exhiben las consecuencias de que la inteligencia artificial (IA) de un dron pudiera determinar por sí misma los objetivos a atacar. Cita en bibliografía.

17 Existen diversas reflexiones críticas en torno a las implicaciones de la videovigilancia con drones. Véase: “El dispositivo del dron: entre la vigilancia securitaria y la necropolítica”. Cita en bibliografía.

18 Escenarios post-desastres naturales, con poca o nula visibilidad, áreas inaccesibles, riesgos contextuales entre otras.

19 Respecto a los helicópteros y otras aeronaves tripuladas.



Lo anterior hace posible afirmar que su uso efectivo²⁰ como herramienta de apoyo tecnológico tiene el potencial de agilizar y profundizar significativamente los esfuerzos de búsqueda de personas desaparecidas.

En lo referente al uso de los drones equipados con cámara térmica, su pertinencia reside en que ésta captura el calor que la persona en localización emite y crea imágenes usando la radiación infrarroja, a esa imagen se le conoce como termograma²¹. Lo anterior incluso en terrenos con condiciones complicadas, dado que la radiación infrarroja, por su longitud de onda, atraviesa el humo, y como la oscuridad tan solo es la ausencia de luz visible, los detectores siguen haciendo su trabajo. Por lo que resulta provechosa su incidencia en situaciones donde existen estructuras colapsadas, ambientes ardientes o áreas peligrosas (Rizk y Bayad, 2023).

Con el uso de los detectores de imagen térmica se hace posible el discernimiento de alguna firma infrarroja que resalte del resto del ambiente en que se encuentra; situación que permite aseverar la probable presencia de la persona desaparecida, todo esto a distancia, facilitando considerablemente su ubicación (Rizk y Bayad, 2023).

Teniendo en mente los elementos de la búsqueda en superficie, vamos ahora con la **búsqueda bajo tierra**. Estamos en el contexto específico que nos interesa y en el cual se desarrolla nuestro proyecto experimental.

El apoyo técnico de los drones con cámara térmica tiene su aplicación en la búsqueda de cadáveres o restos humanos de personas desaparecidas; mismos que, usualmente, se encuentran en fosas clandestinas.

La descomposición de un cuerpo está influenciada por las condiciones de su entierro, por lo que es crucial comprender el impacto de las diferentes condiciones ambientales para una detección precisa de las fosas clandestinas. De ahí que las técnicas geofísicas que se apoyan en el uso de drones han ganado popularidad en la localización de fosas clandestinas, recordando que ofrece acercamientos no invasivos para detectar irregularidades en la superficie y el subsuelo (Persico et al., 2023).

Los principios que rigen su detección son los mismos que en el contexto de búsqueda en vida. Sin embargo, por la naturaleza de la empresa a la que nos enfrentamos -no vemos a la persona que buscamos- existen muchas más variables a considerar en las labores de

20 Posibilitado por el trabajo humano.

21 Registro gráfico de las variaciones de temperatura. Consultado en: <https://www.rae.es/dhle/termograma>.



localización. La muerte de un ser vivo conlleva distintas transformaciones físico-químicas que hacen del cadáver un ecosistema dinámico al que se asocian una serie de organismos²² necrófagos, necrófilos, omnívoros y oportunistas que van presentándose dependiendo del estado de descomposición del cuerpo sin vida (Magaña, 2000).

Esas transformaciones y la temperatura de su entorno, hacen posible que el cadáver emita radiación – percibida en forma de calor-, misma que es captada por el detector del dron y representado en una imagen térmica. Uno de los grandes retos de esta labor reside en que los cadáveres tienden a calentarse y enfriarse en momentos distintos a los del ambiente en el que se encuentran, lo que complica tanto su detección como la interpretación de las firmas de calor (Johal, 2020).

Existen pocos registros de ejercicios experimentales y en campo que concluyan su efectividad. No obstante, existen varias investigaciones arqueológicas que muestran la relevancia en búsquedas forenses²³. Respecto a los **registros en el contexto que nos interesa**, si bien, no hay muchos, los que existen concluyen la pertinencia de esta técnica. A continuación recuperamos un par de ellos.

- Proyecto de investigación de Nuffield Research Placements y Keele University (Johal, 2020).

En esta investigación realizada en 2020, se plantearon los siguientes objetivos: dar cuenta de la efectividad del apoyo tecnológico de los drones con cámara térmica en la detección de cadáveres y descubrir el mejor momento del día para hacer un reconocimiento de imagen térmica.

En ambos experimentos -tierra y agua-, un cadáver de cerdo fue colocado en los ambientes y todos los días se hicieron reconocimientos de imagen térmica, tanto de la fosa como de su alrededor.

22 Para ahondar en la fauna cadavérica en el contexto de búsqueda de personas, véase: “Quiénes son los primeros en detectar una inhumación clandestina? Entomología forense: los insectos y su relación con las fosas clandestinas”. Artículo recopilado en este libro.

23 Véase: Heitger, R. (1991). *Thermal Infrared Imaging for the Charity Hospital Cemetery Archaeological Survey: Implications for Further Geological Applications*. University of New Orleans; o bien: Sedina, J., et al. (2016). *Documentation of Urn Graves of Knoví Culture by RPAS*. Czech Technical University of Prague. Por mencionar algunos.



Concluyen que, efectivamente, es posible hacer reconocimientos de cámara térmica para localizar cadáveres, lo anterior debido a las diferencias de temperatura entre el cadáver y su ambiente. Así mismo, exponen que el día óptimo para hacer los reconocimientos en agua fue entre 11 y 15 IPM²⁴; mientras que en tierra hablan de entre 11 y 13 IPM. Por otro lado, detectaron que en tierra el momento del día con mayor diferencia de temperatura es a la 1pm, concluyendo que esa temporalidad es la óptima para hacer un reconocimiento de cámara térmica.

- Detección de fosas clandestinas en Kuwait (Alawadhi et al., 2023).

Este estudio realizó labores de búsqueda con drones equipados con cámara térmica en regiones áridas de Kuwait. Enterraron cadáveres de ovejas en fosas experimentales y de control, en donde se tomaron imágenes del área de investigación durante 18 meses.

Concluyen que: la variación de temperatura entre la fosa y sus alrededores es detectable durante, por lo menos, 7 meses; la humedad del suelo puede ayudar en la detección de fosas durante 10 meses en un clima árido; la altura a la que se vuela el dron tiene un efecto insignificante en la detección de la temperatura de la fosa; su investigación es la primera en su tipo en ambientes desérticos; y afirman que los resultados son prometedores ya que permitirán guiar investigaciones a futuro.

Método y materiales

Después de tener claro qué es lo que nos interesa descubrir y con el apoyo de qué técnica podemos detectarlo, surge ahora la interrogante de **¿cómo comprobar su eficacia?**

La naturaleza experimental de la presente investigación no involucra la preocupación fundamental de una búsqueda en campo, de hecho es precisamente lo contrario: se conoce el lugar exacto de las fosas. En ese sentido, los esfuerzos no están dirigidos a mera su identificación, sino en encontrar la manera más explícita de detectarlas.

Se conocen, al menos, dos motivos por los que el suelo se calienta o enfría con menor rapidez cuando hay cuerpos enterrados: el primero obedece a que la existencia de agua de un cuerpo



en proceso de descomposición permite que este conserve su temperatura -inercia térmica- respecto a su área circundante; el segundo ocurre cuando el cuerpo, una vez descompuesto, va dejando espacios vacíos o huecos que fungen como aislante térmico, permitiendo que su “fosa” se caliente con menor rapidez respecto a su superficie circundante (Silván et al., 2021).

En ese sentido, se optó por utilizar la **termografía diferencial**, la cual consiste en la captura de dos o más fotografías térmicas a lo largo de un día para con ellas estudiar la tasa de calentamiento/enfriamiento de las superficies e identificar anomalías térmicas (Silván et al., 2021). El cálculo se realiza quitando de una segunda imagen térmica una primera y dividiendo su resultado entre la suma de ambas tomas.

En concreto, nos serviremos del índice de diferencia normalizada -el cual lleva su nombre por su forma algebraica- para detectar los cambios sutiles en los registros de temperatura.

$$ND = \frac{T_D - T_N}{T_D + T_N}$$

Donde la T hace referencia al campo de temperatura y los subíndices al momento de registro de éste, D para día (entre 7 a.m. y 7 p.m) y N para la noche (entre 7 p.m. y 7 a.m.).

La información detallada de las condiciones del surgimiento y las características generales de las inhumaciones están expuestas en uno de los apartados iniciales²⁵, por lo que nos limitaremos a citar los datos que le atañen a este artículo, así como a mencionar los datos complementarios del estudio.

Los dos polígonos²⁶ en donde se encuentran nuestras fosas experimentales se ubican, uno, en el Centro Universitario de Tonalá (CUT) de la Universidad de Guadalajara (UDG) -ubicado al oriente del área metropolitana de Guadalajara- y, el otro, en la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara (UPZMG) sede Cajititlán -ubicado al sur del AMG.

25 Véase: “Experimentación forense: la historia de un proyecto”; recopilado en este libro. Ahí mismo se encuentran las referencias de los datos que aquí recuperamos.

26 De ahora en adelante: “Polígono 1” y “Polígono 2”.

En la ubicación del Polígono 1 (de 14.58 m x 40.31m x 14.83 x 39.96m) predomina el clima templado subhúmedo y, durante el tiempo de la investigación, registró una temperatura media de entre los 18 a los 25 grados centígrados y se encuentra a mil 530 metros sobre el nivel del mar. Presenta un suelo de tipo Vertisol²⁷; la fase física en la que se encuentra se le conoce como lítica profunda -capa de roca dura y continua-, así mismo, presenta roca toba, por lo que puede absorber líquidos en su superficie.

Por otro lado, en la ubicación del Polígono 2 (de 38.80m x 24.42m x 6.20m x 25.86m x 12.69 m) también encontramos el clima templado subhúmedo; durante el período de la investigación, registró una media de temperatura de entre los 17 y los 23 grados centígrados y tiene una altura de mil 540 metros sobre el nivel del mar. Su suelo es igualmente de tipo Vertisol; mientras que en el componente geológico no se distingue una roca predominante, más sí formaciones aluviales: con presencia de materiales de reciente deposición.

En cada polígono se realizaron 16 fosas en donde se depositaron los cadáveres de 27 cerdos de granja, con un rango de peso individual de entre 40 y 65 kilogramos. Primero se inhumaron 14 porcinos en el Polígono 1, en un mismo número de fosas²⁸; la orientación de los cerdos fue en la posición S a NE. Posteriormente, en el Polígono 2 se realizaron 16 fosas²⁹ en donde se colocaron 13 cadáveres de porcinos. En ambos polígonos, se dejaron dos fosas vacías a manera de control³⁰. Con la intención de replicar condiciones reales, a cada fosa se le dio un tratamiento distinto (*ver Figura 3*).

Respecto al Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) o dron que utilizamos, fue un DJI 3 térmico. Mismo que, entre otras funciones, alcanza vuelos de 2 kilómetros cuadrados con duración de hasta 45 minutos; cuenta con zoom de 12-56 megapíxeles y cuenta con la función de vuelos programados (DJI Enterprise, s.f.). El DJI 3 térmico permite la medición de temperatura en punto y área, para así obtener alertas cuando se encuentre con alguna variación significativa, a través de su lente que mide la radiancia³¹ infrarroja que es emitida, absorbida y reflejada por los objetos, el espacio o las personas en mira (DJI Enterprise, s.f.).

27 Caracterizado por su alto contenido de arcilla.

28 Véase Tabla 1 y las Figuras 1, 2 y 3 del apartado de “Experimentación forense: la historia de un proyecto”.

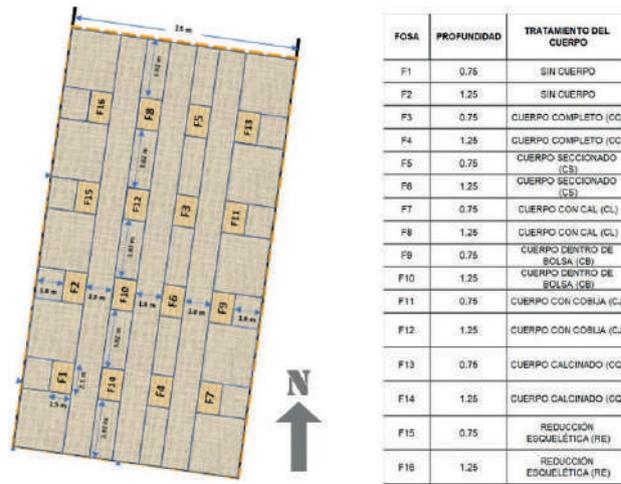
29 Véase Tabla 2 y las Figuras 4, 5 y 6 del apartado antes mencionado.

30 Los controles, en la investigación, son procedimientos que ayudan a probar o limitar las fuentes de error, a la par de contribuir en la dirección del trabajo (Boring, 1954).

31 Entiéndase por la cantidad de radiación electromagnética que es emitida por un área en específico (Lira & Guevara, 2017).



Figura 3. Representación de ubicación de fosas y tratamientos en polígono 1



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Vuelo de dron DJI 3 térmico



Fuente: elaboración propia.

Para procesar las imágenes de los vuelos, usamos el software Agisoft PhotoScan Professional, versión 1.4.5 build 7354 (64 bit) Multi-view 3D Reconstruction, para con ellos obtener los modelos de terreno en 3D, ortomosaicos iniciales³² y modelos de elevación. En lo que respecta a las temperaturas de las imágenes térmicas, fueron extraídas con el software DJI Thermal Analysis Tools 3.

Se realizaron vuelos de barrido simple³³ (ver Figura 6), mismos que se efectuaron en distintos horarios de diferentes días. En su forma más sencilla, la tasa de calentamiento se

32 EL ortomosaico es una imagen corregida de los efectos creados por las irregularidades y pendientes de la superficie terrestre (Silván et al, 2021).

33 Plan de vuelo con líneas paralelas con traslape frontal (entre fotos consecutivas) del 75% y lateral (entre líneas consecutivas) de no menos de 60%. Se utiliza este plan de vuelo para crear ortomosaicos con la cámara orientada verticalmente (Silván et al, 2021).

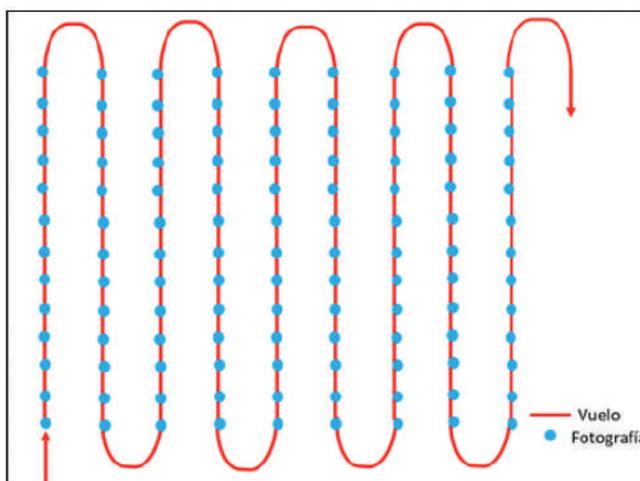
puede calcular sustrayendo a una imagen diurna, una nocturna (Silván et al., 2021). Con base en lo anterior, realizamos vuelos en dos temporalidades: diurnos (3:00- 5:00 pm) y nocturnos (4:00-6:00 am).

Figura 5. Dron DJI 3 térmico



Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Esquema de un plan de vuelo de un solo barrido

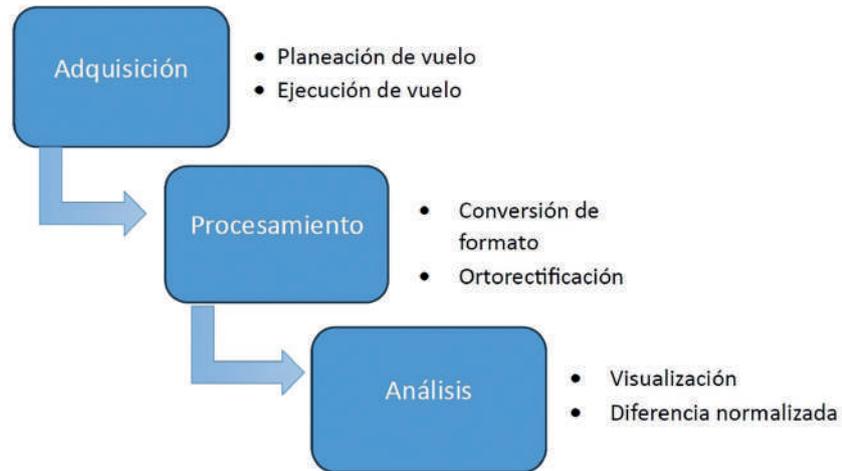


Fuente: Guía BUSCA.

Una vez procesada la información de los vuelos, se cargaron en la plataforma Global Spectral Index Mapper (GSIM) y con ayuda de sus funciones obtuvimos las imágenes termográficas con la diferencia normalizada de cada polígono, finalmente se descargaron los termogramas para mapearlos.

Dado que el dron llegó meses después de las inhumaciones, los ejercicios se realizaron cuando los cadáveres de los porcinos ya se encontraban en descomposición -recordemos la segunda razón del ralentizamiento térmico del suelo en contexto de entierros.

Figura 7. Este diagrama muestra el flujo de trabajo que se siguió para obtener la información térmica de los sitios de inhumación



Fuente: elaboración propia.

5. Resultados

En las Tablas 1 y 2 y las Figuras 8 y 9, aparecen dos matrices y sus representaciones gráficas en donde vertimos el registro de las temperaturas mínimas, máximas y promedio de cada una de las fosas en los distintos vuelos.

En la matriz del Polígono 1 (véase *Tabla 1*), aparecen los datos de los vuelos que permitieron la obtención de la diferencia normalizada -diurnos y nocturnos-, además, se registraron los datos que se obtuvieron de dos vuelos previos -23 de febrero y 19 de abril- que fueron realizados durante la mañana en dos días distintos. Mismos que fungieron como vuelos de evaluación y reconocimiento del área; en ellos se conoció de primera mano el escenario de experimentación y al momento de práctica en lo que a la ejecución de vuelos se refiere.

Ya que los vuelos realizados en el Polígono 2 se limitaron a los que posibilitaron la diferencia normalizada, en la matriz del Polígono 2 (*Tabla 2*) solamente aparecen los datos de los vuelos diurnos y nocturnos.

El calor de las personas que nos faltan: búsqueda de fosas clandestinas con apoyo de drones equipados con cámara termográfica

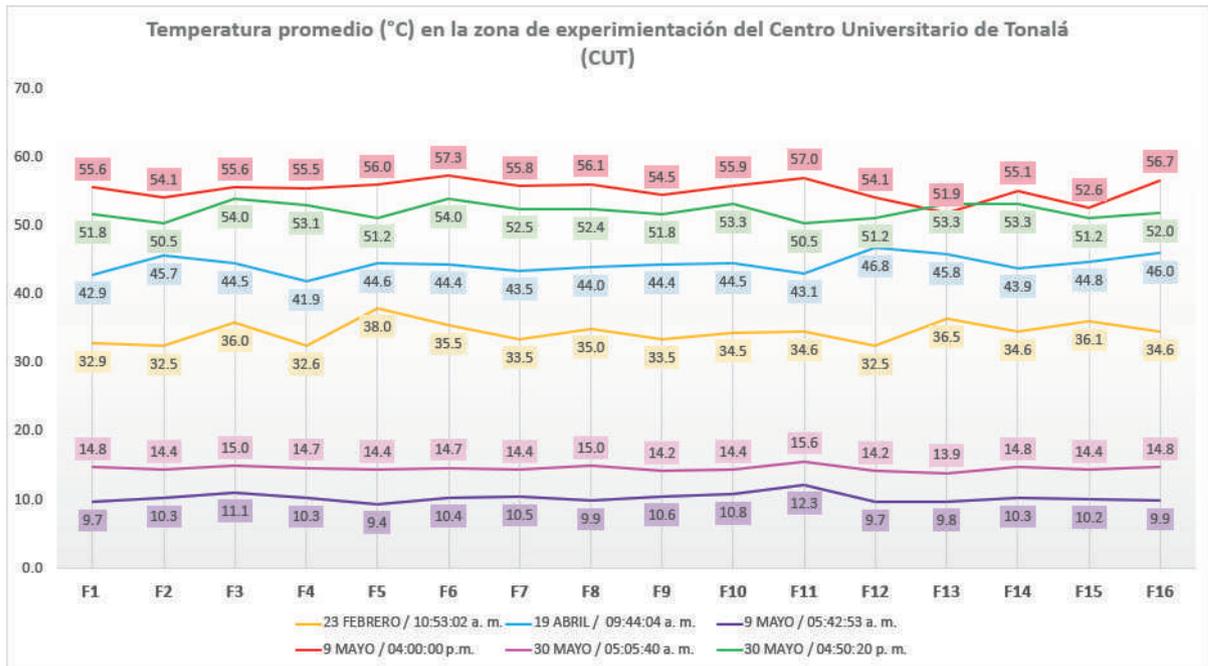
Tabla 1. Matriz de temperaturas superficiales en polígono 1

# FOSA	SIGLAS	TRATAMIENTO	23 FEBRERO / 10:53:02 a. m.			19 ABRIL / 09:44:04 a. m.			9 MAYO / 05:42:53 a. m.			9 MAYO / 04:00:00 p.m.			30 MAYO / 05:05:40 a. m.			30 MAYO / 04:50:20 p. m.		
			MIN °C	PROM °C	MAX °C	MIN °C	PROM °C	MAX °C	MIN °C	PROM °C	MAX °C	MIN °C	PROM °C	MAX °C	MIN °C	PROM °C	MAX °C	MIN °C	PROM °C	MAX °C
F1	SC	SIN CUERPO	29.7	32.9	36.1	39.9	42.9	45.9	7.9	9.7	11.5	54.0	55.6	57.3	13.7	14.8	15.8	50.2	51.8	53.4
F2	SC	SIN CUERPO	29.5	32.5	35.6	42.1	45.7	49.3	8.7	10.3	12.0	47.5	54.1	60.8	13.7	14.4	15.2	46.7	50.5	54.2
F3	CC	CUERPO COMPLETO	30.9	36.0	41.1	40.4	44.5	48.6	8.7	11.1	13.4	52.6	55.6	58.7	13.7	15.0	16.3	52.4	54.0	55.6
F4	CC	CUERPO COMPLETO	29.7	32.6	35.5	38.7	41.9	45.1	8.3	10.3	12.4	53.3	55.5	57.7	13.1	14.7	16.3	51.3	53.1	54.9
F5	CS	CUERPO SECCIONADO	34.7	38.0	41.2	42.8	44.6	46.4	7.6	9.4	11.2	54.1	56.0	57.9	13.1	14.4	15.8	49.0	51.2	53.4
F6	CS	CUERPO SECCIONADO	32.2	35.5	38.8	42.6	44.4	46.2	7.9	10.4	12.9	54.8	57.3	59.7	13.1	14.7	16.3	52.7	54.0	55.2
F7	CL	CUERPO CON CAL	31.1	33.5	35.9	39.2	43.5	47.9	9.2	10.5	11.8	54.4	55.8	57.2	13.1	14.4	15.8	51.3	52.5	53.8
F8	CL	CUERPO CON CAL	31.5	35.0	38.5	41.3	44.0	46.6	7.6	9.9	12.2	53.1	56.1	59.1	13.7	15.0	16.3	50.9	52.4	53.8
F9	CSB	CUERPO SECCIONADO EN BOLSA	30.9	33.5	36.1	42.6	44.4	46.2	8.7	10.6	12.4	50.6	54.5	58.3	13.1	14.2	15.2	49.0	51.8	54.6
F10	CB	CUERPO EN BOLSA	32.2	34.5	36.8	41.2	44.5	47.8	8.2	10.8	13.3	52.8	55.9	59.0	13.1	14.4	15.8	51.6	53.3	54.9
F11	CCO	CUERPO CON COBIJA	31.1	34.6	38.2	39.3	43.1	47.0	10.2	12.3	14.3	55.1	57.0	58.9	14.2	15.6	16.9	47.1	50.5	53.8
F12	CCO	CUERPO CON COBIJA	27.1	32.5	37.9	43.7	46.8	49.8	6.9	9.7	12.5	51.6	54.1	56.6	12.5	14.2	15.8	49.0	51.2	53.4
F13	CCA	CUERPO CALCINADO	34.1	36.5	39.0	44.7	45.8	46.9	8.3	9.8	11.3	45.8	51.9	58.0	13.1	13.9	14.7	52.0	53.3	54.6
F14	CCA	CUERPO CALCINADO	32.0	34.6	37.2	40.7	43.9	47.1	8.8	10.3	12.4	53.5	55.1	56.8	13.7	14.8	15.8	52.0	53.3	54.6
F15	RE	CUERPO EN REDUCCIÓN ESQUELÉTICA	29.2	36.1	43.0	40.7	44.8	48.9	8.3	10.2	12.0	45.8	52.6	59.4	13.1	14.4	15.8	49.0	51.2	53.4
F16	RE	CUERPO EN REDUCCIÓN ESQUELÉTICA	31.9	34.6	37.3	43.0	46.0	48.9	8.5	9.9	11.3	53.7	56.7	59.7	13.7	14.8	15.8	50.2	52.0	53.8

Fuente: elaboración propia.



Figura 8. Gráfico de registro de temperaturas superficiales por temporalidades en polígono 1



Fuente: elaboración propia.

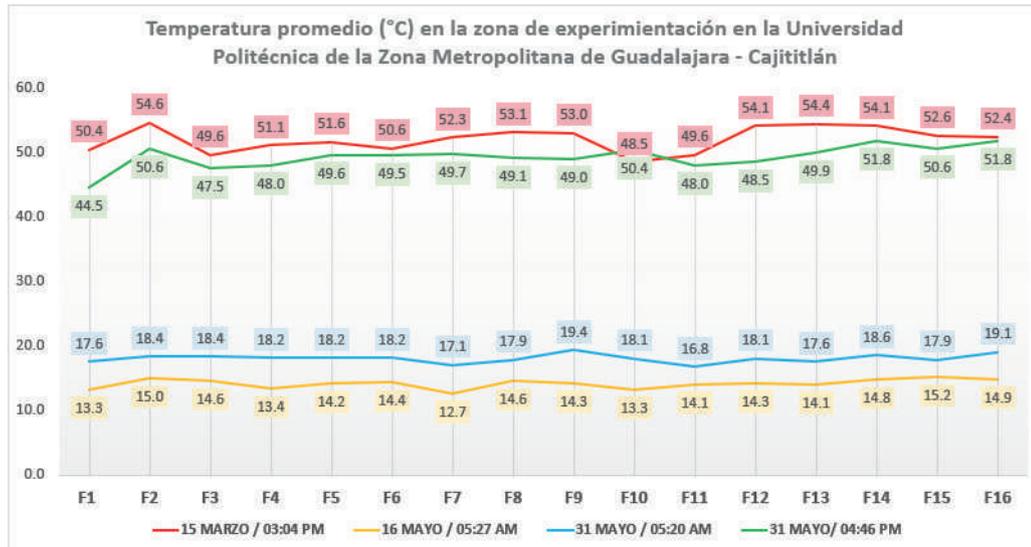
El calor de las personas que nos faltan: búsqueda de fosas clandestinas con apoyo de drones equipados con cámara termográfica

Tabla 2. Matriz de temperaturas superficiales en polígono 2

# FOSA	SIGLAS	TRATAMIENTO	15 MARZO / 03:04 PM			16 MAYO / 05:27 AM			31 MAYO / 05:20 AM			31 MAYO / 04:46 PM		
			MIN °C	PROM °C	MAX °C	MIN °C	PROM °C	MAX °C	MIN °C	PROM °C	MAX °C	MIN °C	PROM °C	MAX °C
F1	SC	SIN CUERPO	42.6	50.4	58.1	12.0	13.3	14.5	16.3	17.6	18.9	40.4	44.5	48.6
F2	SC	SIN CUERPO	50.4	54.6	58.9	13.1	15.0	16.9	17.3	18.4	19.5	47.5	50.6	53.8
F3	CC	CUERPO COMPLETO	43.4	49.6	55.8	13.5	14.6	15.7	17.3	18.4	19.5	42.0	47.5	53.1
F4	CC	CUERPO COMPLETO	45.0	51.1	57.3	12.3	13.4	14.6	16.9	18.2	19.5	42.8	48.0	53.1
F5	CL	CUERPO CON CAL	46.3	51.6	56.9	13.0	14.2	15.3	16.9	18.2	19.5	45.5	49.6	53.8
F6	CL	CUERPO CON CAL	44.9	50.6	56.4	12.7	14.4	16.1	16.9	18.2	19.5	44.4	49.5	54.6
F7	CB	CUERPO SEGMENTADO DENTRO DE BOLSA	45.1	52.3	59.4	11.1	12.7	14.2	15.2	17.1	18.9	46.3	49.7	53.1
F8	CB	CUERPO SEGMENTADO DENTRO DE BOLSA	48.3	53.1	58.0	13.3	14.6	15.9	16.3	17.9	19.5	44.4	49.1	53.8
F9	CP	CUERPO CON PIEDRAS	46.4	53.0	59.6	12.6	14.3	16.1	17.9	19.4	20.9	43.2	49.0	54.9
F10	CP	CUERPO CON PIEDRAS	41.6	48.5	55.5	12.0	13.3	14.6	16.3	18.1	19.9	45.5	50.4	55.2
F11	CM	CUERPO CON CEMENTO	41.2	49.6	58.0	12.1	14.1	16.1	13.7	16.8	19.9	41.5	48.0	54.6
F12	CM	CUERPO CON CEMENTO	50.1	54.1	58.2	12.9	14.3	15.8	17.3	18.1	18.9	43.6	48.5	53.4
F13	CCT	CUERPO COMPLETO PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO	50.0	54.4	58.7	13.1	14.1	15.1	16.3	17.6	18.9	47.1	49.9	52.7
F14	CBT	CUERPO SEGMENTADO DENTRO DE BOLSA PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO	50.0	54.1	58.3	13.5	14.8	16.1	17.3	18.6	19.9	50.2	51.8	53.4
F15	CST	CUERPO SEGMENTADO PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO	47.6	52.6	57.6	13.5	15.2	16.9	16.3	17.9	19.5	48.2	50.6	53.1
F16	CMT	CUERPO CON CEMENTO PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO	45.0	52.4	59.8	13.1	14.9	16.8	17.3	19.1	20.9	49.8	51.8	53.8

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Gráfico de registro de temperaturas superficiales por temporalidades en polígono 2



Fuente: elaboración propia.

A partir del registro de las temperaturas de cada fosa, es posible comenzar con interpretaciones individualizadas que permitan entender el comportamiento térmico específico de cada tratamiento. Por ejemplo, el caso de las fosas que alojan cadáveres con cemento (F11 y F12), que en el caso de los vuelos en el Polígono 1, reportaron temperaturas especialmente altas. Pensamos pertinente seguir estudiando sus comportamientos individualizados, de ahí la decisión de integrar los registros de todos los vuelos.

La Figura 11 muestra dos ortomosaicos termográficos con delimitación individual de las fosas que corresponden a las imágenes termográficas diurnas de ambos polígonos; la Figura 12, muestra los de los vuelos nocturnos de ambos polígonos; y, finalmente, la Figura 13, los que expresan la diferencia normalizada, también, de ambos polígonos.

Tanto en los ortomosaicos termográficos diurnos como en los nocturnos (Figuras 11 y 12), la paleta de colores representa al calor con el color rosado y a la ausencia del mismo con el azul. En los que corresponden a la diferencia normalizada (Figura 13), el calor se representa

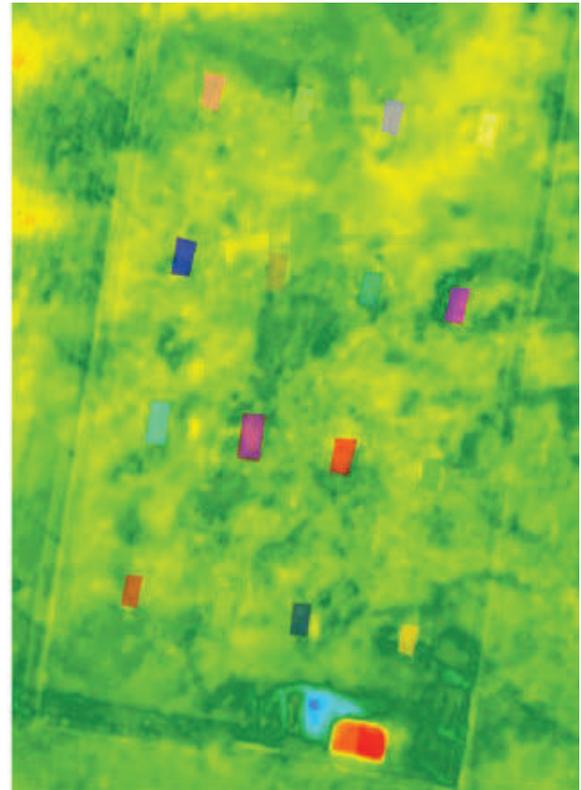
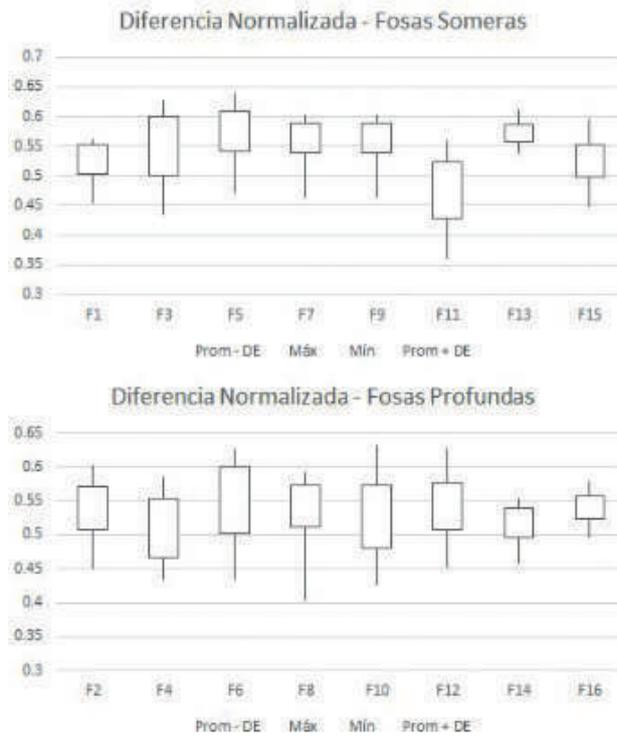
con el color amarillo y a la ausencia del mismo con el azul. Como se mencionó anteriormente, las imágenes térmicas con diferencia normalizada fueron construidas a partir de imágenes térmicas diurnas y nocturnas del mismo día de vuelo que cargamos y procesamos en Earth Engine.

Con base en lo que exponen, resulta posible notar que algunas de las fosas se calientan más durante la tarde (ver Figura 11), identificando que las fosas que registran temperaturas más altas son las que no tienen vegetación a su alrededor (fosas³⁴ 1, 14, 4, 7, 16, 8, 5 y 13); por otro lado, resulta evidente que casi la totalidad de las fosas pierden más calor -se enfrían más- que la superficie (ver Figura 12). Lo anterior hace posible que en el ortomosaico de la diferencia normalizada sea posible identificar las 16 fosas (ver Figura 12). Un análisis más detallado de la variación de temperaturas de las fosas del Polígono 1 revela en el caso de las fosas someras (75 cm) la diferencia normalizada es mayor respecto a la fosa de control (F1), excepto la fosa F11 donde, por la vegetación, la diferencia normalizada permanece por debajo de la de control. Para el caso de las fosas profundas (1.25m) la diferencia respecto a la fosa de control no fue tan clara ya que solo 3 fosas (F6, F10 y F12) presentaron valores máximos por encima del control, indicando que las variaciones de temperatura en el resto de las fosas podrían ser atribuibles a factores los ambientales y características del suelo más que al contenido (ver Figura 10).

En contraste con los resultados anteriores, en el Polígono 2 no se observan las divergencias térmicas de las fosas. Lo anterior sucedió tanto en caso nocturno como diurno; de ahí que en la imagen térmica con la diferencia normalizada el polígono aparezca con un tono casi homogéneo (ver Figuras³⁵ 11, 12 y 13). Se infiere que este comportamiento tiene que ver con la presencia significativa de vegetación y humedad, la cual se encuentra dentro y en las inmediaciones del polígono, misma que parece estar ocultando los cambios de temperatura del suelo y las fosas.

34 Tratamientos: Sin cuerpo, cuerpo calcinado, cuerpo completo, cuerpo con cal, reducción esquelética y cuerpo seccionado.
35 Todos los polígonos, vértices y mapas de fondo fueron elaborados por la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ, a excepción de los mapas de fondo de la Figura 13, los cuales fueron descargados de la plataforma Global Spectral Index Mapper. Centro Geo.

Figura 10. Esta figura muestra los rangos del índice de la diferencia normalizada a la izquierda en los polígonos de fosas mostrados a la derecha

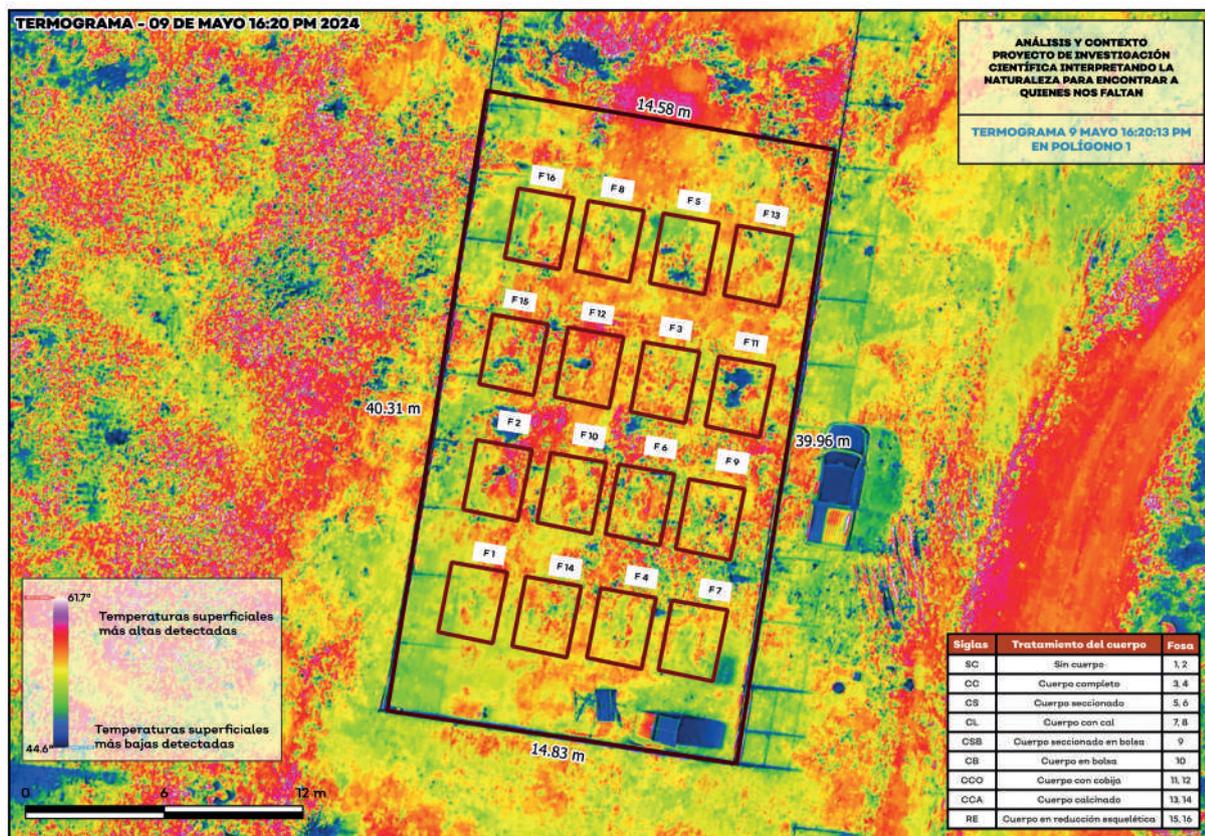


Fuente: elaboración propia.

El calor de las personas que nos faltan: búsqueda de fosas clandestinas con apoyo de drones equipados con cámara termográfica

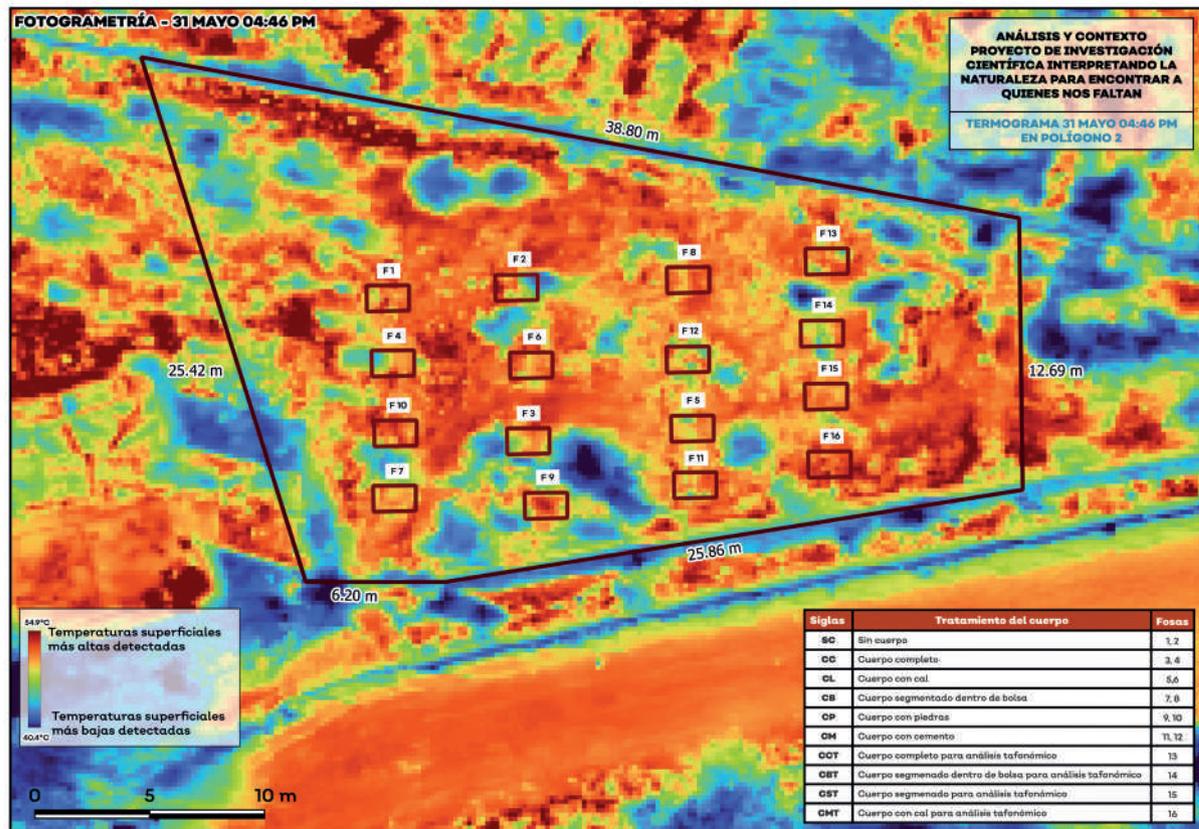
Figura 11. Ortomosaicos termográficos diurnos en Polígonos 1 y 2

Polígono 1



Fuente: elaboración propia.

Polígono 2

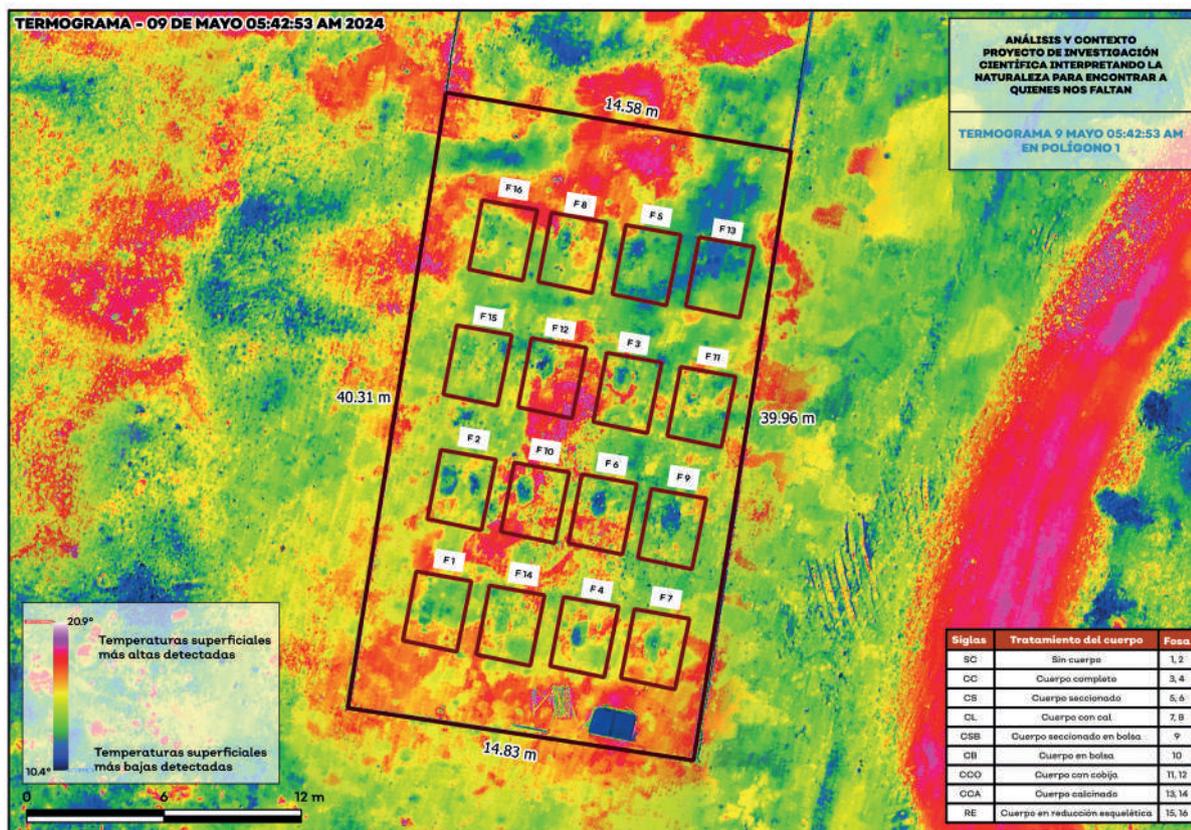


Fuente: elaboración propia.

El calor de las personas que nos faltan: búsqueda de fosas clandestinas con apoyo de drones equipados con cámara termográfica

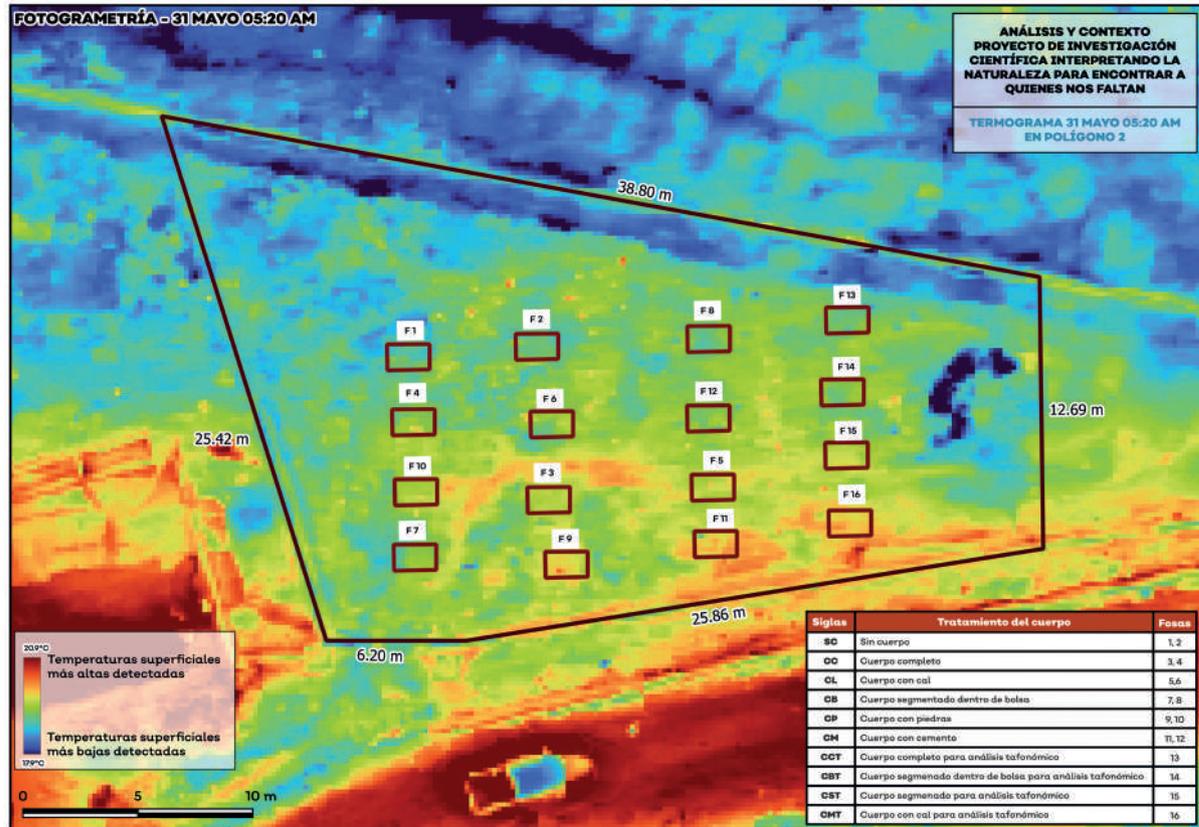
Figura 12. Ortomosaicos termográficos nocturnos en Polígonos 1 y 2

Polígono 1



Fuente: elaboración propia.

Polígono 2

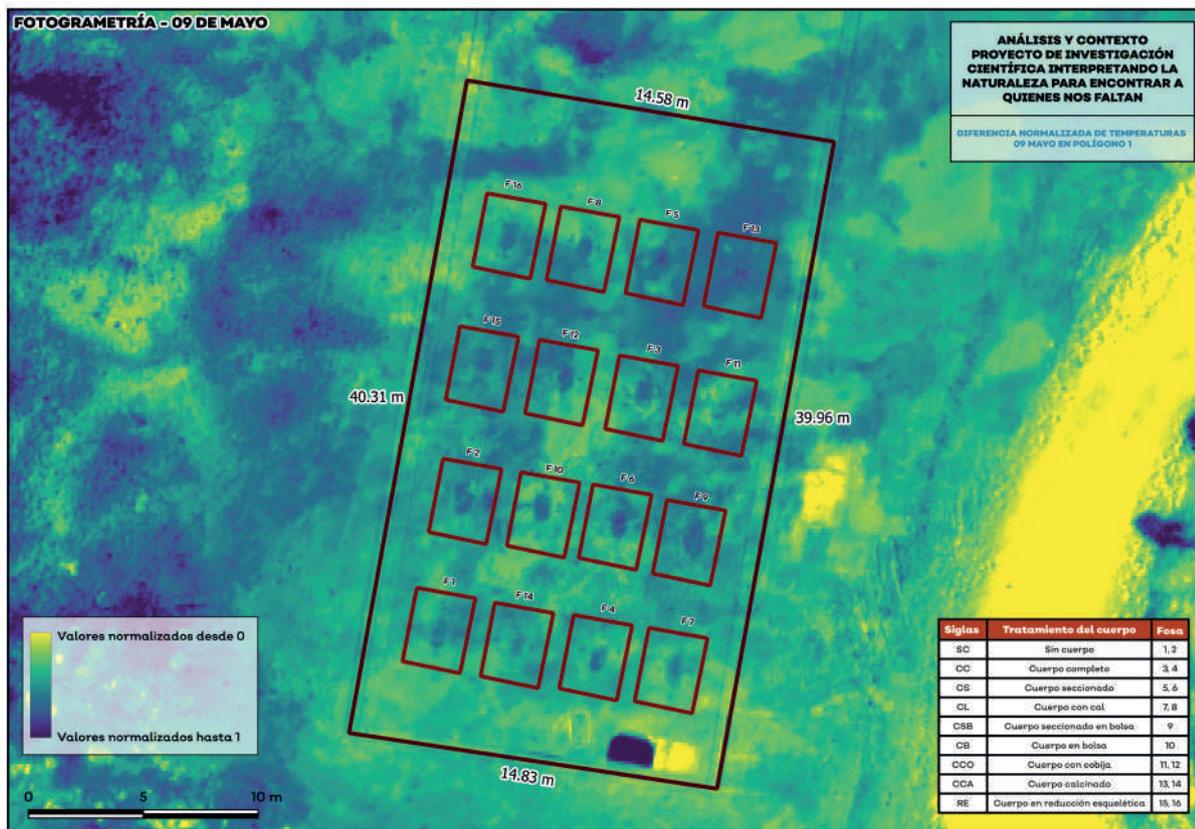


Fuente: elaboración propia.

El calor de las personas que nos faltan: búsqueda de fosas clandestinas con apoyo de drones equipados con cámara termográfica

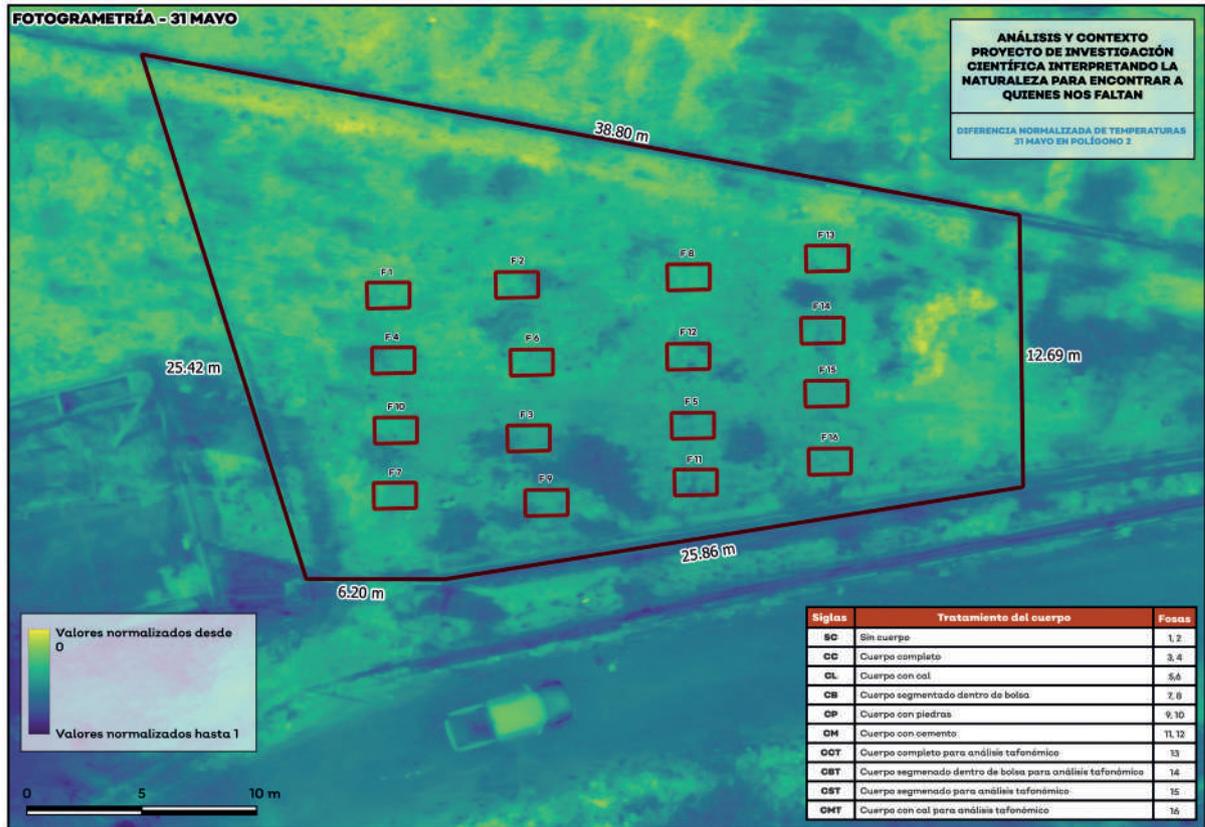
Figura 13. Ortomosaicos termográficos de diferencia normalizada en Polígonos 1 y 2

Polígono 1



Fuente: elaboración propia.

Polígono 2



Fuente: elaboración propia.

6. Comentarios finales

El presente ejercicio experimental se ofrece como un método para la detección de fosas mediante el análisis de imágenes térmicas. Con base en los resultados, existen elementos para hablar de una importante efectividad en escenarios de poca o nula vegetación -entre otros elementos relacionados a la textura y estructura del suelo del Polígono 1 que seguiremos estudiando- esto facilita la detección mediante la diferencia normalizada. Fueron identificados cadáveres completos, seccionados, con cal, embolsados, con cobija, calcinados y en reducción esquelética; lo que resulta alentador para su aplicación en búsqueda. Sin embargo, se sugiere prolongar los estudios para fortalecer las conclusiones.

Por otro lado, los resultados en el Polígono 2 mostraron lo problemático que resulta la detección de fosas en contextos con mucha vegetación, así como elementos relacionados con el tipo de suelo; si bien afirmamos que la diferencia normalizada no arroja resultados favorables, podemos señalar a los registros nocturnos como los más efectivos para registrar diferencias térmicas. Faltaría seguir explorando para identificar posibles patrones de diferenciación.

Ahora bien, pensando por fuera de las condiciones específicas de nuestro proyecto y las recomendaciones que de él derivaron, la pertinencia, desarrollo y alcance de esta técnica dependerá de las condiciones en campo. Variables como el tipo de suelo, la cantidad de vegetación, clima, niveles de riesgo en la zona de prospección, entre otras, se tendrán que tomar en cuenta al momento de hacer una búsqueda en campo.

Hasta el momento en que se escriben estas líneas, los reconocimientos que hemos realizado han sido tanto en contextos experimentales como de búsqueda real. La labor teórica y empírica que el presente artículo implicó se tradujo, para nosotros, en un primer paso para el largo camino de la búsqueda de personas vía remota.

Referencias

- ALAWADHI, A., ELIOPOULOS, C., & BEZOMBES, F. (2023). *The detection of clandestine graves in an arid environment using thermal imaging deployed from an unmanned aerial vehicle*. *Journal of Forensic Sciences*, 68(4), 1286-1291.
- ALONSO, F. (2006). *Sistemas de Información Geográfica*. Universidad de Murcia.
- APLITER TERMOGRAFÍA. (2020). *¿Qué es la termografía?*
<https://www.apliter.com/blog/que-es-la-termografia-infrarroja/>
- ARAUJO, M. (2017). *Fundamentos de Geoprocessamento aplicados a Mineração*. Universidad Aberta Do Brasil. https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/175224/1/fund_geo.pdf
- ARISTÓTELES (1995). *Física*. Gredos.
- BORING, E. (1954). *The nature and history of experimental control*. *American Journal of Psychology* #67, pp. 573-589.
- CAMPBELL, J. (2002). *Introduction to remote sensing*. Guilford Press.
- CLÍNICA UNIVERSIDAD DE NAVARRA. (2024). *Diccionario médico. Radiación infrarroja*. <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/radiacion-infrarroja>
- CAPUTO, S., CASTELLANO, G., GRECO, F., MENCAR, C., PETTI, N. & VESSIO G. (2022). *Human Detection in Drone Images Using YOLO for Search-and-Rescue Operations*. University of Bari Aldo Moro.
- COOPER, D. (2005). *Fundamentals of search and rescue*. Jones & Bartlett Learning.
- COUCLELIS, H. (1992). *People Manipulate Objects (but Cultivate Fields): Beyond the Raster-Vector Debate in GIS*. University of California.
- GANDIA, S. & MELIÁ, J. (1991). *Fundamentos físicos de la teledetección: leyes y principios básicos*. En, *La Teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: Agricultura*. Universitat de València. Pp. 51-83.
- GODRON. (2022). *Los fundamentos de los drones térmicos*.
<https://tienda.godron.mx/los-fundamentos-de-los-drones-termicos/>
- DJI ENTERPRISE (s.f.). *DJI Enterprise*. <https://enterprise.dji.com/es/mavic-3-enterprise>



- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (s.f.). *Teledetección*.
<https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf#:~:text=La%20teledetecci%C3%B3n%20es%20la%20t%C3%A9cnica,informaci%C3%B3n%20interpretable%20de%20la%20Tierra>.
- GRIFFITHS, D. (1999). *Introduction to electrodynamics*. Prentice Hall.
- JOHAL, A. (2020). *The use of thermal imaging in locating missing/deceased people*. Medium.
<https://medium.com/@amritaj03/the-use-of-thermal-imaging-in-locating-missing-deceased-people-1c7d121356d4>.
- LANDAU, L. & LIFSHITZ, E. (1992). *Teoría clásica de los campos, Volumen 2*. Reverté.
- LIJCKLAMA, L., YARA-KRONSHORST, T., VAN MANEN, B., EMAUS, R., KNOTTER, J. & MERSHA, A. (2023). *Utilizing Drone-Based Ground-Penetrating Radar for Crime Investigations in Localizing and Identifying Clandestine Graves*. Sensors. Aug; 23 (16): 7119. Sensors | Free Full-Text | Utilizing Drone-Based Ground-Penetrating Radar for Crime Investigations in Localizing and Identifying Clandestine Graves (mdpi.com)
- LIRA, A. & GUEVARA, A. (2017). *Irradiancia y Radiancia*. Universidad Autónoma Nacional de México.
- LLANCAQUEO, A., CABALLERO, M. & MOREIRA, M. (2003). *El concepto de campo en el aprendizaje de la Física y en la investigación en educación en ciencias*. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Vol. 2, N. 3, págs. 227-253.
- LUHMAN, T., ROBSON, S., KYLE, S. & HARLEY, I. (2006). *Close Range Photogrammetry: Principles, Methods and Applications*. Whittles.
- MAGAÑA, C. (2000). *La Entomología Forense y su aplicación a la medicina legal. Data de la muerte*. Conferencia presentada en el IX Congreso Ibérico de Entomología en Zaragoza, 4-8 de julio, 2000.
- MARTÍNEZ, J. (2020). *Estudio y caracterización de materiales estructurados para drones*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- MENDIOLA-GONZALO, I. (2019). *El dispositivo del dron: entre la vigilancia securitaria y la necropolítica*. Convergencia Revista de Ciencias Sociales, núm 79, enero-abril 2019, pp. 1-24.
- PROTOCOLO HOMOLOGADO PARA LA BÚSQUEDA DE PERSONAS DESAPARECIDAS Y NO LOCALIZADAS. (2020). Consultado en mayo de 2024: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/551671/PPHB_Versi_n_para_fortalecimiento_5may2020_2_.pdf



- RAPIN, P. (2002). *Prontuario del frío*. Editores Técnicos Asociados.
- RIZK, M & BAYAD, I. (2023). *Human Detection in Thermal Images Using YOLOv8 for Search and Rescue Missions*. Lebanese International University.
- RUIZ, J. (2019). *Fosas clandestinas y su relación con crímenes de lesa humanidad. Propuesta metodológica para la documentación de casos que determinen responsabilidad penal internacional en México*. Hist. Graf. No. 52, enero/junio.
- SAROLA, J. (2020). *Sir Frederick William Herschel, descubridor de la luz infrarroja*. <https://nirs-research.com/es/sir-frederick-william-herschel-discoverer-of-the-light-infraroja/>
- SILVÁN, J., ALEGRE, A. & MADRIGAL, J. (2021). *Detección y Prospección por medio de vehículos aéreos no tripulados y tecnologías geoespaciales*. Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A.C.
- TZUC, E. (2023, 9 de octubre). *México rebasa las 5 mil 600 fosas clandestinas*. Quinto Elemento. de 2023. <https://quintoelab.org/project/mexico-rebasa-cinco-mil-fosas-clandestinas>
- ZUBAIR, P. (2009, June 18). *Pakistan Says U.S. Drone Kills 13*. The New York Times. <https://www.nytimes.com/2009/06/19/world/asia/19pstan.html?ref=world>

Química **y biología**







Capítulo 12



Desenterrando la verdad: análisis de cambios en la firma química y características del suelo en sitios de inhumación clandestina

“The death of the organism is the beginning of a creative process of biological and physical transformation”.
A. Behrensmeier (1984).

Enrique Martín Ortega Higareda¹, Sonia Citlalli Saucedo Aguilar²,
Tunuari Roberto Chávez González³ y Luis Manuel Martínez Rivera⁴
Contribución arbitrada

Diseño y graficación cartográfica: Andrea Ponce Chávez y Tania Guadalupe Rubio Pérez.
Palabras clave: ciencias forenses, suelos, inhumaciones clandestinas, química de suelos.

I. Introducción

En este documento se abordan distintos conceptos y preceptos básicos correspondientes a disciplinas y campos del conocimiento como la química forense, la medicina legal, la pedología, la fitoquímica o la geobotánica bajo una orientación que busca conjugar sus conocimientos bajo una aplicación de la ciencia forense tendiente a la localización, mediante el uso de tecnologías avanzadas, de fosas e inhumaciones clandestinas.

-
- 1 Científico Forense Analista de la COBUPEJ.
 - 2 Científica Forense Analista de la COBUPEJ.
 - 3 Director del área de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.
 - 4 Doctor en Ciencia de Cuenas Hidrográficas y Profesor investigador titular C de la Universidad de Guadalajara.

Se le conoce a la química como la ciencia de la transformación de los materiales (Brakel, 1977). Es una disciplina científica involucrada con elementos y compuestos, así como los átomos, moléculas e iones que los conforman; asimismo, estudia su composición, estructura, propiedades, comportamiento y cambios que resultan de su reacción con otras sustancias (Kim, 2020).

Por ciencias forenses se entiende a la aplicación de las ciencias en materia de ley o cuestiones de derecho. Siguiendo el hilo que plantean ambas definiciones, se podría establecer que la química forense consiste en la aplicación de los conocimientos que se tienen sobre la materia, su composición y transformación, al ámbito de la ley. Es decir, a la administración y procuración de justicia (Barros, 2021).

De acuerdo al principio de transferencia propuesto por Edmond Locard y recuperado por Morrish (1955): “Siempre que dos objetos entran en contacto, transfieren parte del material que incorporan al otro objeto”, o con otras palabras: “Todo contacto deja un rastro”. A dicho rastro o vestigio relacionado con un hecho presuntamente delictivo, se le denomina indicio (Secretaría de Gobernación, 2015).

En la investigación en materia forense interfieren una serie de factores que requieren de análisis por parte de distintas áreas, ciencias y disciplinas, ninguna independiente de otra, debido a que todas convergen en algún punto, y coadyuvan las unas con las otras para poder llevar a cabo una investigación fructífera.

Justificación

Personas desaparecidas y fosas clandestinas son dos fenómenos que se encuentran directamente relacionados. La presencia de fosas es recurrente en la mayor parte de México. La cifra de personas desaparecidas en México al 30 de junio del 2024 es de 15,021 (González, 2017; SISOVID, 2024).

La descomposición en cuerpos que han sido inhumados presenta un progreso distinto a aquellos cuerpos cuya descomposición ocurre en la superficie y están expuestos a las condiciones regulares del ambiente. Su descomposición se verá afectada por distintas variables, tales como el tratamiento de la inhumación y las condiciones del suelo en que fue inhumado. El ritmo de descomposición de cuerpos que han sido inhumados es ocho veces más lento que en superficie (Rodríguez, 1997).



En el contexto de inhumaciones clandestinas, suelen utilizarse elementos adicionales que pueden cumplir distintas funciones según sea el objetivo de los perpetradores, algunos de ellos por practicidad al momento del traslado del cuerpo al sitio, o bien, para evitar el escape de olores que puedan atraer atención al sitio de inhumación.

De ahí nace la necesidad de realizar investigaciones respecto a los efectos ocurridos en suelo debido a la descomposición en sitios de inhumación. El conocer los cambios que ocurren es fundamental para tener precisión y velocidad al identificar sitios de inhumación clandestina, además de tener una base científica que respalde la información obtenida y que sea de utilidad para investigaciones futuras respecto al tema. Siendo así parteaguas para que en el futuro se lleguen a desarrollar más herramientas y metodologías que permitan afrontar la problemática de los sitios de inhumación clandestina.

Objetivos

Analizar los cambios en las propiedades físicas del suelo que son afectadas por una inhumación.

Observar las alteraciones del comportamiento de los distintos métodos de inhumación en las características químicas del suelo.

II. Marco teórico

Al suelo se le define como un cuerpo natural compuesto de materiales sólidos, líquidos y gaseosos, los cuales se encuentran en la superficie terrestre, ocupan un espacio y presentan horizontes o capas que son distinguibles del material inicial, debido a los resultados de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones en la energía y materia de dicho cuerpo (Soil Survey Staff, 2022). El suelo es un ser natural en cambio y evolución constante, debido a factores bióticos y abióticos tales como: el clima, organismos, relieve y tiempo (Maycotte, 2011).

El suelo está conformado por distintos estratos, también llamados horizontes. Cada uno presenta distintas características de acuerdo a su composición mineral, cantidad de materia orgánica, grado de descomposición de la roca, textura de los gránulos, entre otras variables. Dichos horizontes, se catalogan de la siguiente manera (FAO, 2006):



- Horizonte O: se encuentra en la superficie de un suelo mineral u orgánico, y a cualquier profundidad. Predomina el material orgánico como desechos intactos o parcialmente descompuestos acumulados sobre la superficie.
- Horizonte A: a partir de este se denomina horizonte mineral. Se forma en la superficie del suelo o por debajo de un horizonte O. Presenta una acumulación de materia orgánica humificada mezclada con una fracción mineral que viene de la roca original. Puede diferenciarse de un horizonte E si lo que predomina es la materia orgánica humificada sobre la fracción mineral.
- Horizonte E: es un horizonte mineral que usualmente presenta una coloración más clara que su capa subyacente. Su principal característica es la pérdida de silicatos de arcilla, hierro, aluminio; siendo sustituido por una concentración de arena y limo. En este horizonte la mayor parte de la roca madre ha sido desintegrada. Suele encontrarse debajo de un horizonte A u O y sobre un horizonte B.
- Horizonte B: llamado igualmente zona de precipitado o acumulación. Su principal característica es la desintegración de toda o de una gran porción de la roca original. Presenta una concentración de agua, en ocasiones combinada con silicatos de arcilla, hierro, aluminio, humus, yeso o carbonatos.
- Horizonte C: este horizonte está conformado de capas minerales y material rocoso fragmentado. Se les puede llamar horizonte C a sedimentos, saprolita y la roca madre en estado no consolidado. Las raíces de las plantas aún podrían alcanzar este horizonte.
- Horizonte R: en este se encuentra material rocoso que conforma un suelo sin alteraciones. Aquí es donde se encuentra la roca madre. Algunos ejemplos de roca madre pueden ser el granito, caliza y cuarcita.

Propiedades Físicas

Textura

Se pueden clasificar los tipos de suelo de la siguiente manera según su textura: arenosos, arcillosos y limos. Sin embargo, se le puede agregar una clasificación más cuando la superficie es mixta, es decir, cuando hay una combinación entre los diferentes tipos de suelo o existen



partículas de distinto tamaño en el mismo, y a esa clasificación se le denomina franco. A esta última se le agrega el tipo de suelo que más predomina, por ejemplo: franco arenoso, si las partículas de arena son más abundantes que de algún otro tipo (FAO, 2006).

En ese sentido, las siguientes son algunas características de cada uno de los suelos (Andrades, 2022):

- Un suelo de tipo arenoso suele ser más suelto y fácil de trabajar al tener partículas más grandes, sin embargo, no presenta una gran cantidad de nutrientes debido a su baja fertilidad. Retiene poca humedad y tiende a secarse, aunque presenta buena aireación.
- Los suelos limosos, al tener gránulos de tamaño intermedio, suelen ser fértiles y sencillos de trabajar y permiten que las raíces penetren en la tierra con facilidad, tanto secos como húmedos. Similar al suelo arenoso, presenta buena aireación.
- El suelo arcilloso, al presentar partículas muy finas, cuando se encuentra seco tiende a compactarse haciéndolo difícil de trabajar. Sin embargo, en caso de encontrarse húmedo forma barro el cuál es más sencillo de manipular. Suelen ser pesados y con una reserva decente de nutrientes que retienen junto con el agua. Presentan mala aireación y difícil drenaje y labranza.

Estructura

La estructura del suelo es reflejada por la presencia de grupos de partículas (arena, arcilla y limo) a los que se denominan: agregados, son consecuencia de procesos de formación del suelo. Toma en cuenta tanto el grado de desarrollo como el tamaño. Tiene una clasificación principal que se divide en tres: débil, en el que los grupos de partículas o agregados apenas son visibles, por lo que se observa bastante uniforme; moderado, en el cual es un poco más notoria la presencia de agregados y al quebrarse se separa en agregados de distintos tamaños pero con poco material suelto; y fuerte, donde hay agregados visibles, los cuales al romperlos se dividen en más agregados (Vargas, 2020; FAO, 2009).

De igual manera, existe una clasificación referente a los tipos de estructura de suelo (Moorberg & Crouse, 2023):

- Granular: son pequeños y no porosos. No permiten la incorporación de agregados.
- Laminar: presenta agregados en forma de capas o láminas sobrepuestas entre sí.



- Bloques angulares: agregados en bloque con delimitados por otros agregados que le otorgan una superficie puntiaguda.
- Bloques subangulares: agregados en bloque con delimitados por otros agregados que le otorgan una superficie redondeada.
- Prismática: son agregados que se extienden de forma vertical y presentan caras bien definidas, así como superficies planas.
- Columnar: similar a agregados prismáticos pero con una superficie redondeada.

Densidad Aparente (Compactación)

En suelos el valor de densidad aparente se refiere a la relación que existe entre partículas sólidas y el espacio poroso; permite conocer el grado de compactación de un suelo siendo una de las propiedades más significativas de este. Este valor puede verse modificado constantemente por factores como la remoción del suelo, cambios en la porosidad producto de fuerzas externas o bien el porcentaje de humedad. (Cid et al., 2021).

Permeabilidad

Dependiendo de la textura del suelo, existe un mayor o menor espacio poroso a través del cual el agua puede filtrarse en el suelo. Se le llama permeabilidad a la facilidad con que el agua puede pasar a través del espacio poroso del suelo. Existen dos flujos diferentes en que el agua se desplaza a través del suelo según su espacio poroso: flujo laminar y flujo turbulento. El laminar consiste en que cada partícula sigue una senda definida, de modo que se sigue un camino de forma ordenada. Por el contrario, un flujo turbulento consiste en sendas indefinidas que cruzan unas con otras y que se desplazan de forma desordenada. En los suelos poco porosos se presenta un flujo laminar, mientras que en suelos más porosos el flujo es turbulento (Taylor, 1962).

Color

El suelo puede presentar distinta coloración variando desde negro, rojo, amarillo, pardo, anaranjado, entre otros. El color refleja la composición, condiciones pasadas y presentes relacionadas al proceso de óxido-reducción del suelo. Las tonalidades oscuras pueden deberse a la presencia de materia orgánica humificada; los tonos amarillos, pardos, rojos y anaranjados

a óxidos de hierro; el color negro a óxidos de manganeso; o también alguna otra coloración podría ser consecuencia del color de la roca madre. La coloración afecta indirectamente la temperatura y la humedad presentes en el suelo (FAO, 2009).

Propiedades Químicas

pH

Tiene una influencia significativa en las reacciones de los suelos. Un pH ácido provoca una intensa alteración de los minerales del suelo, por consiguiente, su estructura se hace inestable. En un pH alcalino, destruye la estructura debido a que la arcilla se dispersa, y esto da como consecuencia malas condiciones físicas. De igual forma, puede afectar la absorción de nutrientes, bloqueando ciertos tipos de ellos en función de su pH.

Existen factores naturales que afectan o tienen un efecto sobre el pH, y una de ellas es la precipitación. Las altas precipitaciones provocan que el pH se vuelva más ácido por la acumulación del ion de H₂ contenido en el agua. En cambio, las precipitaciones bajas hacen que el pH aumente y sea más básico o alcalino (Maycotte, 2011).

Fertilidad de los suelos

Existen ciertos elementos que las plantas aprovechan como nutrientes para su desarrollo, se encuentran en cierta cantidad en el suelo y deben presentar algunas condiciones para que sean absorbidos por las plantas. Se dividen en dos grupos: macroelementos y oligoelementos. Los primeros son aquellos requeridos en mayor cantidad, entre los cuales se encuentran los siguientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S). Mientras que los oligoelementos, o elementos que se encuentran en cantidades más pequeñas, son los siguientes: boro (B), zinc (Zn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), molibdeno (Mo) y cloro (Cl) (Maycotte, 2011).

Potasio

Es un elemento del grupo de los metales alcalinos, con número atómico 19 y símbolo K. Activa más de 60 enzimas involucradas en distintos procesos metabólicos y puede encontrarse en 4 distintas formas en el suelo: en solución, intercambiable, no intercambiable y mineral (Mengel y Kirby, 2000). La concentración del potasio suele incrementarse en suelos arcillosos.



La cantidad de potasio en solución del suelo es mínima, ya que es absorbido rápidamente. Al ser asimilado por las plantas, el potasio es reemplazado por otras formas menos accesibles. El potasio se fija entre láminas de arcilla por medio del proceso de meteorización. Este potasio fijado o no intercambiable pasa a ser parte del material coloidal para poder servir de reserva del potasio en solución del suelo, y así reponerlo cuando este último sea absorbido por las plantas (INTAGRI, 2017).

Fósforo

Es un elemento del grupo de los no metales, con número atómico 15, que junto al oxígeno, carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre, forman más del 97% de masa de la gran mayoría de organismos. En la naturaleza suele encontrarse en forma de fosfato mineral. Los compuestos con presencia de fósforos son los más importantes hablando de bioquímica y de fertilizantes (Brown et al., 2012). El fósforo es un elemento muy reactivo en el suelo (INTAGRI, 2017). Una vez que se fija en el mismo, puede convertirse en formas más complejas que no permiten a las plantas asimilarlo y, por ende, se vuelve inmóvil. Entre más alto el potencial de retención, menor fósforo puede ser absorbido por las plantas (Kochian, 2012).

En cuanto al ciclo biogeoquímico del fósforo, está conformado por cuatro fases principales (INECOL, 2017):

- Meteorización: en esta etapa, el fósforo que está presente en rocas se libera por acción de erosión o descomposición de las mismas hacia el suelo.
- Absorción por plantas: el fósforo presente en el suelo, que es asimilable por las plantas, es absorbido por ellas en forma de fosfatos.
- Absorción por animales: seguimiento de la cadena trófica, es decir, las plantas son consumidas por animales y, por consiguiente, transfieren el fósforo presente en las mismas.
- Retorno al suelo: existen dos formas en que el fósforo puede regresar al suelo una vez absorbido por los animales. Una de ellas es por excreción y, la otra, por descomposición. También es posible que se transmita el fósforo al suelo en caso de fosilización.

Adicional a las antes mencionadas, hay una ruta alternativa del fósforo posterior a la meteorización. Ésta es la sedimentación y ocurre cuando se libera en cuerpos de agua. En este caso el fósforo puede precipitarse y formar rocas sedimentarias, presentándose en una forma mineral.



Nitrógeno

Es el elemento más abundante en todo el planeta; se presenta en distintas formas, tales como óxido nitroso (NO_2), nitrógeno (N_2), nitrógeno orgánico e inorgánico, entre otras. Presenta disponibilidad debido a que es bastante soluble, sin embargo, para que éste pueda ser asimilable por las plantas, debe encontrarse en dos formas específicas: en nitratos (NO_3^-) o amonio (NH_4^+). Este elemento proporciona coloración verdosa a las plantas y aporta a su crecimiento. En caso de que la presencia de este elemento sea mínima, ese tono verdoso se palidece y su crecimiento se detiene. En contraste, si existe un exceso de nitrógeno, la planta crece aún más, sin embargo su calidad se ve afectada. Presenta su propio ciclo que se compone las siguientes etapas (Maycotte, 2011):

- Fijación: consiste en la transformación del nitrógeno presente en la atmósfera (N_2) en amoníaco (NH_3) o amonio (NH_4^+); lo anterior por la acción de bacterias y cianobacterias, gracias a una enzima llamada nitrogenasa.
- Nitrificación: transformación de cualquier forma de nitrógeno a nitratos. Los nitrosomas, convierten compuestos amoniacales en nitritos (NO_2), para que después otra bacteria llamada nitrobacter la oxide, resultando así un nitrato (NO_3).
- Asimilación: en esta parte del ciclo, tanto los nitratos como el amonio, son absorbidos por las raíces de las plantas, las cuales a su vez pueden ser consumidas por animales.
- Amonificación: otras formas nitrogenadas tales como la urea, el ácido úrico y los desechos animales se convierten en Amonio (NH_4^+); para más tarde degradarlo en compuestos aminados como proteosas, peptonas y eventualmente aminoácidos, ya absorbidos por las plantas.
- Desnitrificación: acción de bacterias desnitrificadoras que resultan en la transformación de nitrógeno (N_2) para ser enviado a la atmósfera. Este proceso se presenta en situaciones donde existe mucha humedad en el suelo, provocando que los microorganismos utilicen el oxígeno de los nitratos en vez de oxígeno (O_2) en su respiración, dejando únicamente al nitrógeno y expulsándolo hacia la atmósfera en forma no asimilable.



Proceso de descomposición de un cuerpo

Es el proceso que ocurre después de la muerte de un organismo, en el cual ocurren cambios físicos y químicos en el cuerpo en descomposición; hasta, finalmente, llegar al estadio de reducción esquelética. El inicio del proceso de descomposición de un organismo comienza con la autólisis, un proceso de destrucción celular sin intervención bacteriana, mientras que la putrefacción ocurre cuando, por acción bacteriana, se produce la descomposición de materia orgánica (Serrano, 2018).

El espacio de inhumación es un medio anaerobio en que se llevan a cabo los procesos químicos de desintegración de las células. Al comenzar la putrefacción, hay presencia de olores característicos como consecuencia de actividad bacteriana; lo anterior debido a la emanación de gases tales como amoníaco (NH_3), ácido sulfhídrico (H_2S), dióxido de azufre (SO_2), indol ($\text{C}_8\text{H}_7\text{N}$), escatol ($\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$), cadaverina ($\text{C}_5\text{H}_{14}\text{N}_2$) y putrescina ($\text{C}_4\text{H}_{12}\text{N}_2$). La putrescina y cadaverina son responsables del olor característico (Statheropoulos et al., 2005).

A nivel molecular, el nitrógeno se encuentra presente en los aminoácidos. Éste, es liberado inmediatamente en forma de amoníaco (NH_3). En suelos con pH bajo, tiene la capacidad de convertirse en amonio (NH_4) para ser consumido por las plantas cercanas al sitio de concentración; además, es usual que se acompañe de un aumento considerable de vegetación en comparación al resto del terreno, como consecuencia de la concentración de amonio y otros gases producto de la descomposición. Asimismo, pueden ocurrir diferencias significativas en frutos y flores. Aquellos iones que no son utilizados por las plantas pueden entrar en proceso de nitrificación que prolifera en un ambiente con pH de 7 a 9 y desnitrificación que se beneficia en un ambiente con pH de 5 a 8. La acumulación de amoníaco puede ocurrir con mayor facilidad en ambientes anaeróbicos, ya que la nitrificación se inhibe por la ausencia de oxígeno (Forbes, 2008).

Fases de la descomposición

Una de las variables más evidentes en la descomposición de cuerpos inhumados es el paso del tiempo. En un estado de condiciones normales, es decir, en un ambiente aerobio, resulta posible afirmar que el avance del tiempo aumenta el grado de descomposición. Se conoce que el periodo de inhumación en fosas clandestinas abarca un rango de entre 5 días a 15 años y, durante el paso del tiempo, los fenómenos tafonómicos van sobreponiéndose y evolucionando (Cinzia, 2023).



Los periodos de descomposición se dividen en cuatro grandes fases: cromática, enfisematosa, licuefactiva y reducción esquelética (Takajashi et al., 2019):

- Fase cromática: se distingue por signos macroscópicos, tales como la mancha verde en la zona de la fosa iliaca; misma que aparece, aproximadamente, 24 horas después de la muerte y que se caracteriza por la acumulación de bacterias, generando ácido sulfúrico.
- Fase enfisematosa: los gases se acumulan en intestino y colon, ya que no encuentran vía de escape se produce una distensión abdominal y el volumen del cuerpo se contrae, provocando una depresión en la compactación del suelo, la cual se ve reflejada en un hundimiento cóncavo en la superficie del terreno. Además del abdomen, el gas comienza a infiltrarse en todos los tejidos, provocando en el cadáver hinchazón generalizada, incluyendo el rostro y la zona genital. El gas acumulado en la capa subcutánea de la piel produce un efecto crepitante al tacto y desprendimiento dermoepidérmico. Este proceso comienza después de las 72 horas del fallecimiento y puede durar hasta 7 o 10 días (Vargas, 1999).
- Fase licuefactiva: comienza de 2 a 4 semanas después de la muerte y se subdividen en dos fases: licuefacción inicial, en la que ocurre el desprendimiento de uñas, cabello, y tejido blando; y licuefacción tardía, en la que el cuerpo adquiere un tono acaramelado, la dermis se desprende de la epidermis y los tejidos entran en proceso de licuación en el cual los órganos comienzan a perder su estructura y delimitación. Comenzando por las partes bajas e integrándose en una masa de tejido putrefacto, mientras que los restos de la licuefacción se integrarán en el subsuelo y cuerpos de agua subterráneos (Hernández, 2000).
- Fase de reducción esquelética: comienza con la pérdida total de tejido blando y la desarticulación, hasta llegar al estado de esqueletización. A comparación de ambientes aeróbicos, el proceso de esqueletización tomará más tiempo en sitios de inhumación debido a la falta de oxígeno y acción bacteriana. Una vez en reducción esquelética, la desintegración del tejido óseo dependerá, en parte, de las condiciones ambientales en las que se encuentre (Forbes, 2008).



Descomposición cadavérica en suelos

De acuerdo a la textura del suelo, uno permeable, como es el caso de los suelos arenosos, permite la pérdida acelerada de humedad que propicia la desecación del cuerpo. A nivel químico, la actividad de las enzimas hidrolíticas asociadas al ciclo de carbono y de nutrientes se reduce producto de la baja humedad en suelo. Los suelos arcillosos permiten conservar por mayor tiempo la humedad en el suelo, reteniéndola debido a la baja permeabilidad; en inhumaciones profundas, en las que el grado de evaporación de la humedad contenida en suelo es casi nula, es común un retraso en el proceso de descomposición e incluso, en algunos casos, puede favorecer la formación de saponificación. El porcentaje de humedad regularmente aumenta conforme mayor es la profundidad de inhumación; la cual, a su vez, juega un papel significativo en el ritmo de descomposición, no solo por el porcentaje de humedad, sino porque un cuerpo inhumado tiene mayor protección a efectos que tendría el mismo organismo en un ambiente expuesto (Gutiérrez, 2021).

La adipocira o saponificación, una fase alternativa, es un fenómeno químico de hidrólisis e hidrogenación, en el que la grasa corporal se desdobra en glicerol y ácidos grasos que, sumados a la falta de oxígeno, resulta en la saponificación de minerales como potasio, sodio y magnesio, transformando la grasa corporal en jabón. Dando como resultado una capa blanca que comienza en sitios donde se encontraba acumulada grasa corporal y se extiende a otras regiones del cuerpo, este fenómeno suele ocurrir en aguas estancadas y ambientes muy húmedos (Vargas, 1999).

El grado de acceso al cuerpo, dependerá de la profundidad de la inhumación; en enterramientos superficiales, la exposición del cuerpo puede presentarse a través de grietas en el suelo, esto como resultado de la inflamación del cuerpo en descomposición -en la fase enfisematosa- y, posteriormente, aparecerá una depresión en el centro de la fosa; mientras que en enterramientos mayores a un metro, se restringirá la entrada de insectos y animales carnívoros, permitiendo conservar el cuerpo por un periodo de tiempo más amplio (Carter y Tibbett, 2008).

Conforme a la profundidad de la inhumación aumente se reducirá la temperatura del ambiente de manera proporcional, por lo que cuando la temperatura del suelo disminuye también lo hará el ritmo de descomposición (Gutiérrez, 2021).

El efecto que tiene la temperatura en procesos de descomposición se relaciona con la proliferación de actividad bacteriana; en ese sentido, sus condiciones óptimas oscilan entre los 21°C y 38°C, mientras que la situación opuesta sería en ambientes con una temperatura



menor a 10°C o mayor a 40°C. El aumento de temperatura en sitios de inhumación corresponde, además de los procesos químicos, al incremento de microorganismos. De lo anterior se puede inferir que las bajas temperaturas alentarán el progreso de la descomposición, mientras que un aumento no exponencial de la temperatura propicia un ambiente idóneo para el cultivo bacteriano.

Generalmente, un cuerpo que ha sido enterrado con ropa mostrará mejor preservación que un cuerpo desnudo, la efectividad de la barrera textil dependerá del tipo de material de la prenda de vestir. La ropa constituye un factor importante en la formación de saponificación en restos que han sido inhumados, teniendo así un efecto de preservación de las partes cubiertas por dicha barrera (Carter & Tibbett, 2008).

Aquellas circunstancias donde el cuerpo es envuelto en material plástico ocurre un proceso más lento de descomposición, en muchos casos se ha encontrado abundante formación de saponificación en inhumaciones en las que el cadáver, además de estar cubierto en plástico, presentaba algún material textil en prendas de vestir (Leeuwe, 2017) .

En el caso de las lesiones que resultan como consecuencia de trauma permiten una aceleración en la descomposición del organismo, esto debido a la atracción de insectos a las heridas abiertas donde depositan sus huevecillos y permiten la entrada de fluidos corporales al suelo (Carter & Tibbett, 2008).

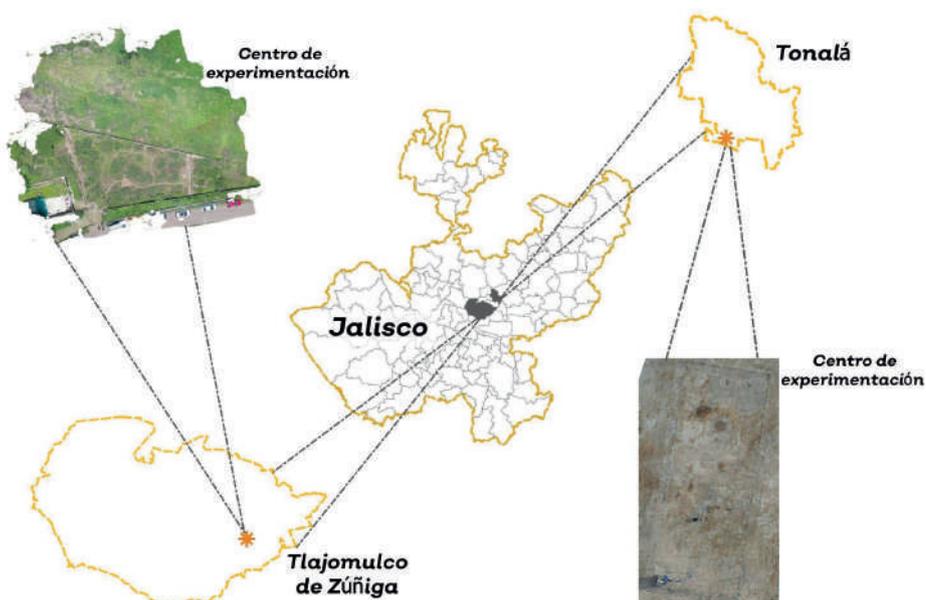
La cal, dentro del contexto nacional de inhumaciones clandestinas, se ha usado como método inhibitor de olores provenientes de la descomposición de los cuerpos. Estudios han demostrado que el uso de cal en enterramientos retrasa el proceso de descomposición, pero no lo inhibe: aunque la actividad bacteriana externa se vea afectada por la alcalinidad, la descomposición bacteriana interna continua (Maiken, 2017). La formación de una capa de cal alrededor del cuerpo forma una barrera entre este y el sedimento, disminuyendo el intercambio de nutrientes con el suelo y reduciendo el crecimiento de vegetación en superficie, contrastando con aquellos cuerpos enterrados sin cal y en contacto directo con el sedimento. Sin embargo, también se toma en cuenta que el uso de cal en el espacio de experimentación tiene efectos casi nulos en el retraso del proceso de descomposición (Gutiérrez, 2021).



III. Materiales y métodos

La presente investigación se llevó a cabo en dos espacios de experimentación⁵ ubicados en Jalisco, donde se realizaron las inhumaciones de 27 cerdos de granja en un total de 32 fosas distribuidas 16 y 16 en cada sitio. El Polígono 1 ubicado en el Centro Universitario de Tonalá (CUTonalá) de la Universidad de Guadalajara en el municipio de Tonalá, presenta suelo Vertisol pélico de textura fina con abundantes cantidades de arcilla y roca toba ígnea; y el Polígono 2, localizado en la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara (UPZMG) en la localidad de Cajititlán perteneciente al municipio Tlajomulco de Zúñiga.

Figura 1. Representación geográfica de los centros de experimentación Polígono 1 y Polígono 2

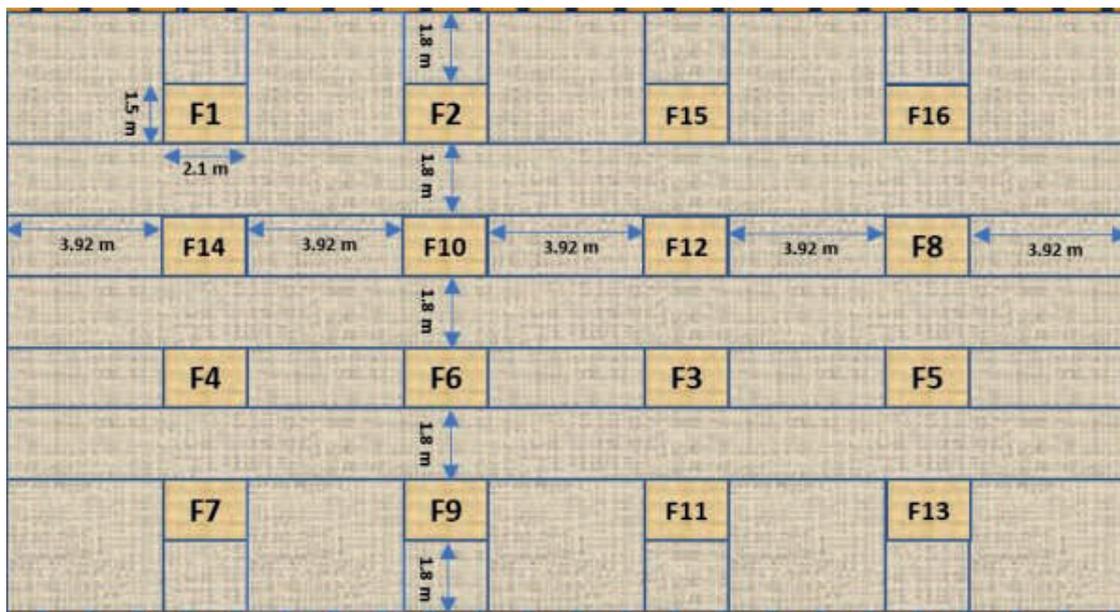


Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

5 Para ahondar en información referente a la descripción de las zonas de estudio, se sugiere la consulta del capítulo: “Experimentación forense: la historia de un proyecto” perteneciente al apartado de Planteamiento General.

Las inhumaciones del Polígono 1 fueron realizadas el 31 de mayo del 2023 y se implementaron siete tratamientos de cuerpo compatibles con técnicas utilizadas con regularidad en inhumaciones clandestinas. Se agregaron dos fosas de control F1 y F2, las cuales fueron excavadas pero dejadas vacías de manera que desempeñarán un papel diferenciador al resto de fosas con porcinos.

Figura 2. Plano de distribución de fosas en Polígono 1



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

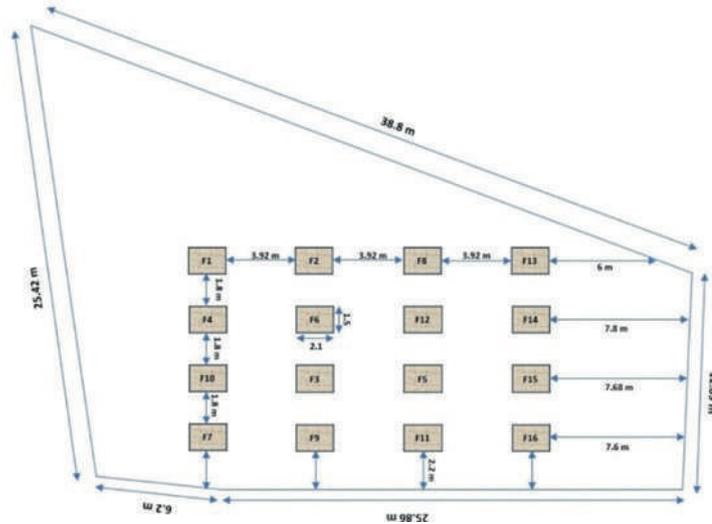
Tabla 1. Nomenclatura de fosas, tratamientos de cuerpo y profundidad de inhumación en Polígono 1

TRATAMIENTO DEL CUERPO	PROFUNDIDAD (m)	IDENTIFICACIÓN DE FOSA
SIN CUERPO	0.75	F1
SIN CUERPO	1.25	F2
CUERPO COMPLETO (CC)	0.75	F3
CUERPO COMPLETO (CC)	1.25	F4
CUERPO SECCIONADO (CS)	0.75	F5
CUERPO SECCIONADO (CS)	1.25	F6
CUERPO CON CAL (CL)	0.75	F7
CUERPO CON CAL (CL)	1.25	F8
CUERPO DENTRO DE BOLSA (CB)	0.75	F9
CUERPO DENTRO DE BOLSA (CB)	1.25	F10
CUERPO CON COBIJA (CJ)	0.75	F11
CUERPO CON COBIJA (CJ)	1.25	F12
CUERPO QUEMADO (CQ)	0.75	F13
CUERPO QUEMADO (CQ)	1.25	F14
REDUCCIÓN ESQUELÉTICA (RE)	0.75	F15
REDUCCIÓN ESQUELÉTICA (RE)	1.25	F16

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En el Polígono 2, las inhumaciones se llevaron a cabo alrededor de 4 meses después, el 11 de septiembre del 2023. De igual manera se agregaron F1 y F2 como fosas de control y se aplicaron cinco tipos de tratamientos de cuerpo.

Figura 3. Plano de distribución de fosas en Polígono 2



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Tabla 2. Nomenclatura de fosas, tratamientos de cuerpo y profundidad de inhumación en Polígono 2

TRATAMIENTO DEL CUERPO	PROFUNDIDAD	IDENTIFICACIÓN DE FOSA
SIN CUERPO (SC)	0.75	F1
SIN CUERPO (SC)	1.25	F2
CUERPO COMPLETO (CC)	0.75	F3
CUERPO COMPLETO (CC)	1.25	F4
CUERPO CON CAL (CL)	0.75	F5
CUERPO CON CAL (CL)	1.25	F6
CUERPO SEGMENTADO DENTRO DE BOLSA (CB)	0.75	F7
CUERPO SEGMENTADO DENTRO DE BOLSA (CB)	1.25	F8
CUERPO CON PIEDRAS (CP)	0.75	F9
CUERPO CON PIEDRAS (CP)	1.25	F10
CUERPO CON CEMENTO (CM)	0.75	F11
CUERPO CON CEMENTO (CM)	1.25	F12
CUERPO COMPLETO PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO (CCT)	1	F13
CUERPO SEGMENTADO DENTRO DE BOLSA, PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO (CBT)	1	F14
CUERPO SEGMENTADO, PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO (CST)	1	F15
CUERPO CON CAL, PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO (CMT)	1	F16

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En el Polígono 1 se realizaron un total de 6 muestreos para la obtención de parámetros de N, P, K, y pH (véase Tabla 3).

Tabla 3. Fechas de muestreo Polígono 1

Fecha de muestreo	No.	Profundidades muestreadas	Tiempo de inhumación	Metodología de muestreo
11 mayo 2023	0	0-20 cm	Pre-inhumación	Puntos cardinales y centro de fosa
26 junio 2023	1	0-20 cm	26 días	Puntos cardinales y centro de fosa
15 agosto 2023	2	0-20 cm	2 meses y medio	Puntos cardinales y centro de fosa
21 octubre 2023	3	0-20 cm	4 meses y medio	Puntos cardinales y centro de fosa
06 noviembre 2023	4	0-20 cm	5 meses y 1 semana	Puntos cardinales y centro de fosa
26 enero 2024	5	0-20 cm	8 meses 3 semanas	Cuadrícula

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Mientras que en el Polígono 2 se llevaron a cabo 5 muestreos para la recolección de parámetros de N, P, K, y pH, agregando una segunda profundidad (véase Tabla 4).

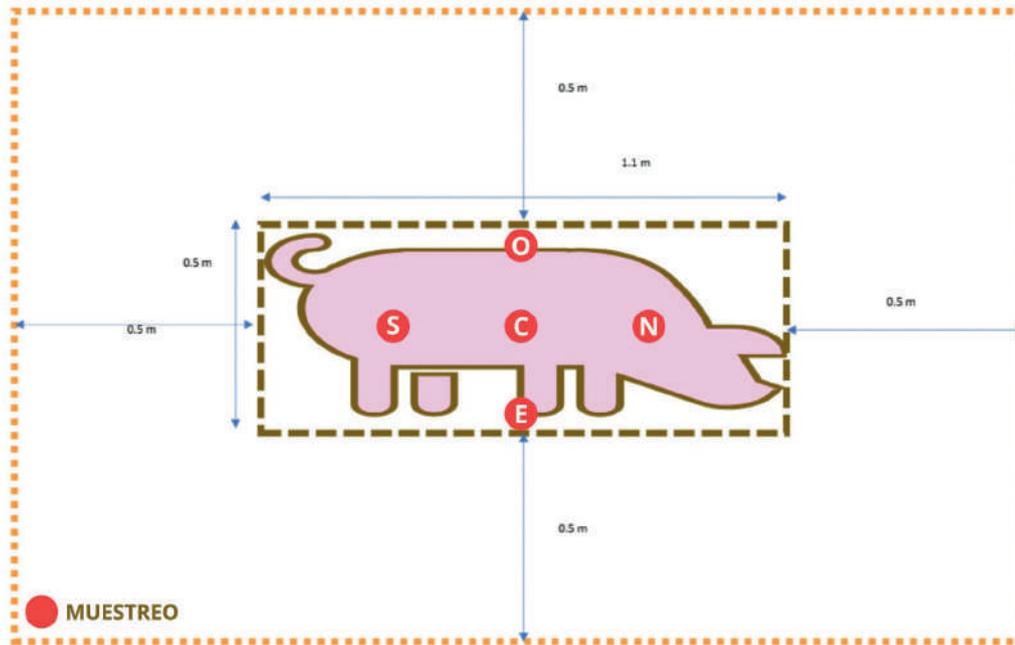
Tabla 4. Fechas de muestreo Polígono 2

Fecha de muestreo	No.	Profundidades muestreadas	Tiempo de inhumación	Metodología de muestreo
26 septiembre 2023	1	0-20 cm	5 días	Puntos cardinales y centro de fosa
06 octubre 2023	2	0-20 cm 20-40 cm	3 semanas	Puntos cardinales y centro de fosa
27 octubre 2023	3	0-20 cm 20-40 cm	1 mes y medio	Puntos cardinales y centro de fosa
17 enero 2024	4	0-20 cm 20-40 cm	4 meses	Puntos cardinales y centro de fosa
15 marzo 2024	5	0-20 cm	6 meses	Cuadrícula

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

La metodología de muestreo por puntos cardinales y centro de fosa consistió en cinco tomas de suelo en cada una de las fosas. Las muestras de suelo fueron recolectadas tomando en cuenta la orientación. Se tomaron los puntos: centro de fosa, norte, sur, este y oeste a 20 cm de distancia a partir del centro (véase Figura 4).

Figura 4. Representación gráfica: metodología de muestreo puntos cardinales y centro de fosa



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Se utilizaron palas de punta redonda y rectangular, barras para construcción, picos y guantes de carnaza para la remoción y excavación del suelo. Para el trabajo de recolección, se utilizaron guantes de nitrilo y bolsas plásticas rotuladas con cierre hermético.

Para la metodología de cuadrícula en el Polígono 1, se dividió el terreno en una cuadrícula de 2 x 2 metros, de la cual resultaron 8 trazos a lo largo, denominados líneas, a las que se les atribuyó un número consecutivo y 5 puntos a lo ancho, designados como puntos a los que se les asignó una letra. Las muestras fueron tomadas en los vértices línea-punto dando como resultado un total de 40 sitios de intersección (véase Figura 5).

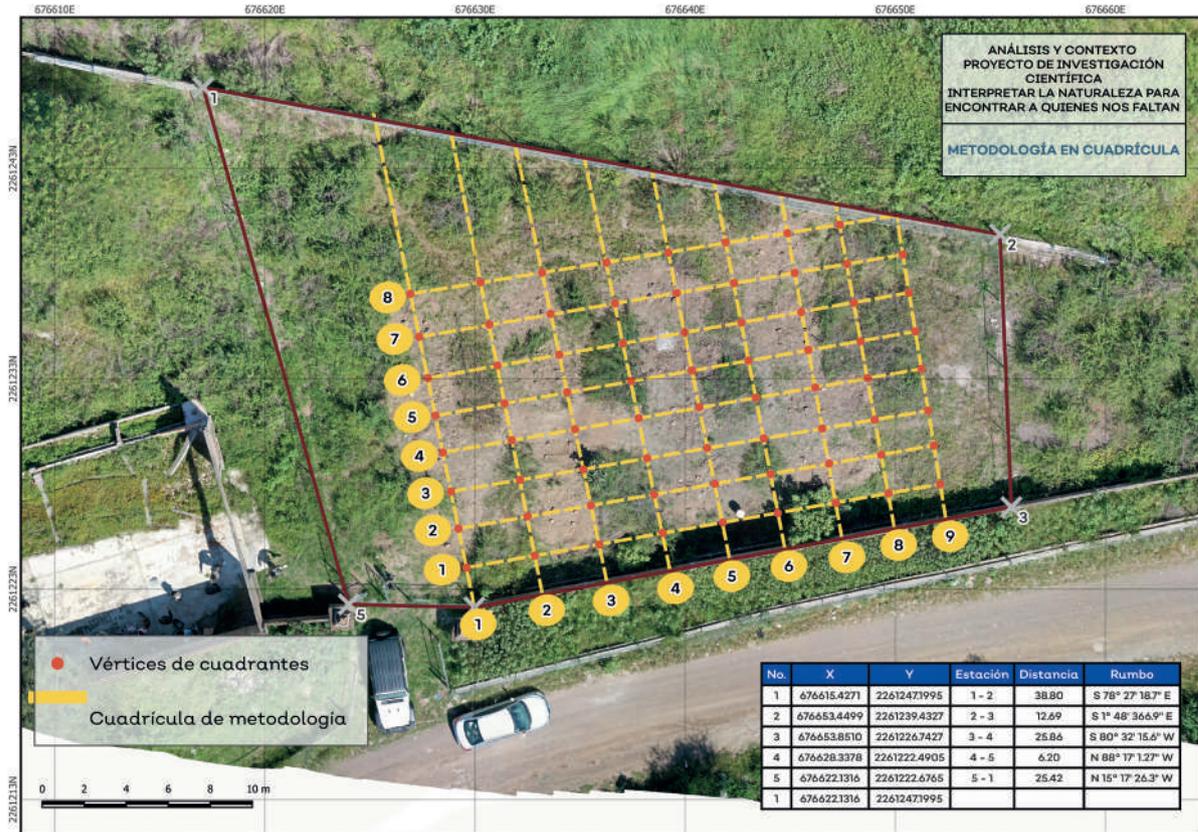
Figura 5. Metodología en cuadrícula, muestreo 26 enero 2024 en Polígono 1



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En el Polígono 2 se siguió el mismo principio, con el cual se obtuvieron 9 trazos a lo largo, a los que se denominó líneas y se les ubicó con una numeración consecutiva, y 8 segmentos a lo ancho, designados como puntos y nombrados con números consecutivos (véase Figura 6).

Figura 6. Metodología en cuadrícula, muestreo 15 marzo 2024 en Polígono 2



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En ambos polígonos se llevó a cabo un muestreo en el mes de mayo de 2024, con el objetivo de identificar diferencias entre estratos de suelo y calcular el porcentaje de humedad en el mismo. Se realizó la toma de muestras desde una de las esquinas de cada fosa con el fin de intervenir lo menos posible en el espacio de inhumación. Se denominó estrato A (EA) al estrato

más superficial de 0 - 30 cm y estrato B (EB) el segundo estrato que abarca aproximadamente 30 - 120 cm. Para determinar la dimensión de los estratos, anteriormente mencionados, se utilizó una de las imágenes generadas por el georadar⁶ en el Polígono 1.

En la recolección de suelo de los estratos se utilizó una barrena de sondeo hueca, constituida por un cilindro de metal que permite la acumulación de suelo para su extracción. La medición de la humedad de cada estrato se realizó mediante el método gravimétrico, utilizando una balanza digital para obtener la diferencia entre el suelo húmedo y seco, y calcularlo con base a el porcentaje de humedad al momento del muestreo.

En el análisis de pH y nutrientes de suelo -nitrógeno, fósforo y potasio- se utilizó, para las muestras de ambos espacios de experimentación, un sensor de suelo portátil marca Slicetex Electronics, que permite medir temperatura, humedad, conductividad, pH, nitrógeno, fósforo y potasio mediante cinco electrodos resistivos de uso agrícola.

El procedimiento de medición fue el siguiente:

- 1) Tamizado del suelo para remover piedras o restos de flora de la muestra de suelo.
- 2) Se agregó a la muestra agua destilada hasta formar una masa semilíquida o lodo.
- 3) Se colocó la sección con los cinco electrodos resistivos en una bandeja de menor tamaño sobre la que se vertió la masa semilíquida de muestra.
- 4) Una vez estabilizados los datos del sensor, se tomó la lectura de los parámetros medidos.

Este procedimiento se repitió para cada uno de los muestreos de nutrientes en suelo. Vale pena destacar que los resultados generados con el Sensor Slicetex Electronics, por la naturaleza del aparato, no son compatibles con los parámetros normales de N, P y K encontrados en suelo a partir de técnicas de laboratorio, debido a que no ocurrió una fase de calibración del sensor y, por lo tanto, no refleja cifras reales. Estos resultados se usaron únicamente con fines comparativos entre las distintas temporalidades, profundidades, tratamiento y métodos de muestreo.

6 Véase: “Reflejos de una búsqueda: el uso del Radar de Penetración Terrestre (GPR) para la detección de inhumaciones clandestinas”. Capítulo perteneciente al apartado de Geofísica.

IV. Resultados

Cambios en las propiedades físicas del suelo afectadas por la inhumación

Transcurridos 12 meses de las inhumaciones del Polígono 1, se observan cambios en el estado de las fosas, así como en el sedimento en general. En comparación al momento previo a las inhumaciones, se observa crecimiento de nuevas especies de vegetación, dos de ellas destacan por su tamaño y coinciden en los sitios de inhumación con tratamiento de cuerpo con cobija correspondientes a F11 y F12; en relación a las especies que existían con anterioridad es notable su aumento de volumen. Los cambios en patrones de vegetación del Polígono 2, a 9 meses de las inhumaciones no destacan en relación a la vegetación que se encontraba previo a las excavaciones.

Figuras 7 y 8. Fotografías a F11 (CCO) Polígono 1, 15 agosto 2023 y 09 mayo 2024, respectivamente



Fuente: COBUPEJ.

Nota. Crecimiento de vegetación en F11 (CCO).

Los cambios en la compactación del suelo donde se llevaron a cabo las inhumaciones del Polígono 1, muestran una leve depresión -poco perceptible- que delimita a las fosas. Sin embargo, es posible observar cambios en la continuidad del suelo en aquellos espacios donde existe la presencia de roca toba ígnea, de manera que es visible una interrupción del aspecto rocoso y duro del suelo en la superficie de espacios donde no se realizaron excavaciones, en contraste con aquellos donde se realizaron las inhumaciones. Estos últimos presentan un suelo menos compacto y partículas más finas y sueltas, así como rocas de menor tamaño dispersas alrededor del sitio. A diferencia del Polígono 1, en el suelo del Polígono 2 es visible la presencia de hundimientos cóncavos en cada una de las fosas.

Figuras 9 y 10. Fotografías a F16 (CL) Polígono 2, 09 noviembre 2023
y 8 de mayo de 2024, respectivamente



Fuente: COBUPEJ.

Nota. Hundimiento cóncavo de la F16 (CL).

El proceso de formación de las depresiones ocurrió de manera paulatina a lo largo del periodo de inhumación, resultando en la clara delimitación de los bordes de la fosa. Dicho hundimiento varía en profundidad según cada una de las fosas, pero mantiene un rango de entre los 2 cm a 10 cm.

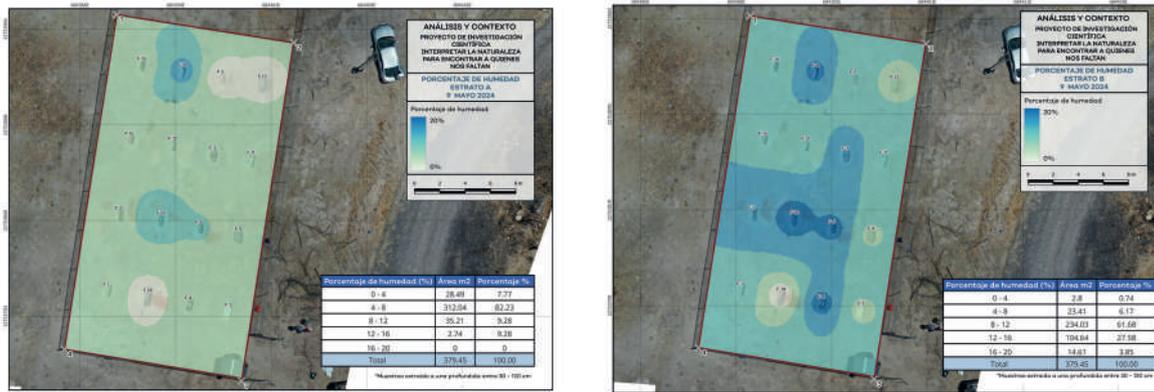
En el Polígono 1 como resultado de las mediciones gravimétricas en dos estratos para el análisis de humedad, se encontró que el porcentaje de humedad promedio en áreas de inhumación del EA es de 6.3%. La F8 (CL) y la F10 (CB) son las que presentan mayores concentraciones de humedad en relación al resto de fosas en este estrato. En el EB el porcentaje de humedad es mayor, presenta un 11.2% en promedio. La F10 (CB), F4 (CC), F6 (CS) y la F8 (CL) presentan los mayores porcentajes de humedad en el EB. En F13 y F14, que corresponden al tratamiento de cuerpo calcinado, se encontraron índices bajos de humedad en relación al resto de fosas.

Figura 11. Representación colorimétrica de escalas para porcentaje de humedad



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Figuras 12 y 13. Porcentajes de humedad del Polígono 1, EA y EB, respectivamente



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

El Polígono 2 muestra un promedio del 1% de humedad en ambos estratos. La fosa que contiene un mayor porcentaje de humedad en el EA es la F1 (SC), mientras que en el EB se observa un alza en la F12 (CCO).

Figuras 14 y 15. Porcentajes de humedad del Polígono 2, EA y EB, respectivamente

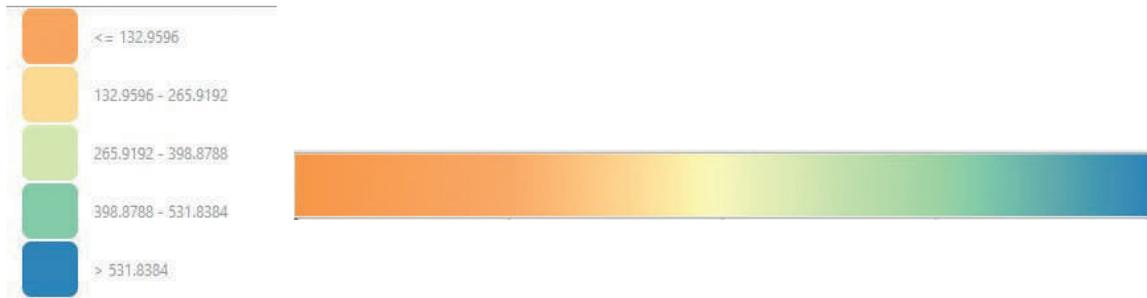


Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Alteraciones del comportamiento de los distintos métodos de inhumación en las características químicas del suelo

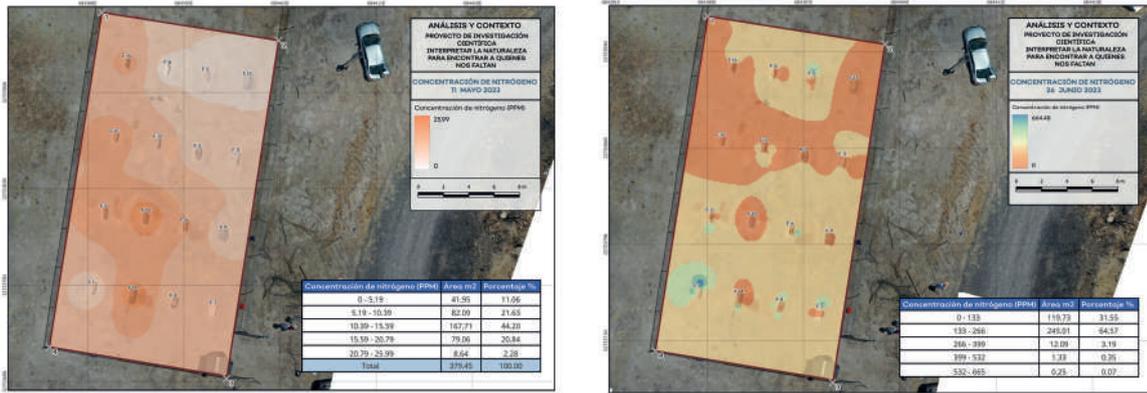
En la medición de elementos químicos presentes en suelo, el Polígono 1 arrojó un aumento en los niveles de N en el primer muestreo, en comparación a uno realizado previo a las inhumaciones, con un especial aumento de N en la F1 y F2 de control (SC).

Figura 16. Representación colorimétrica de escalas para nitrógeno (N)



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Figuras 17 y 18. Concentración de nitrógeno (N) pre-inhumación y primer muestreo del Polígono 1, respectivamente



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En el caso de las fosas que contienen restos, se observa un particular aumento de N en el primer muestreo de suelo en la F3 y F4, correspondientes al tratamiento de cuerpo completo (CC). Así mismo, se identificó un aumento mayor al promedio en la F5 y F6 con tratamiento de cuerpo segmentado (CS).

Figura 19. Concentración de nitrógeno (N) segundo muestreo Polígono 1



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

A partir del segundo muestreo, abarcando el tercero y el cuarto, los parámetros de N se mantuvieron en un promedio similar, con un rango que oscila entre los 19 y los 132 ppm en un 96.71 % del terreno.

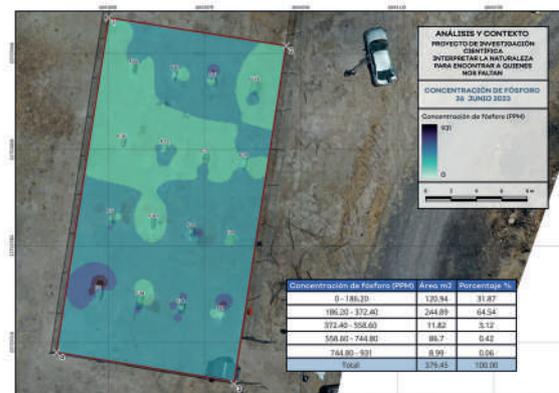
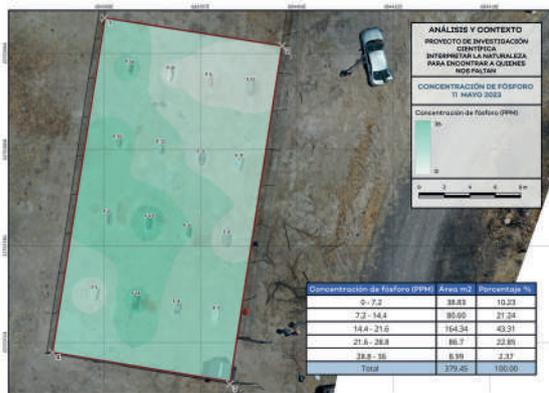
En los parámetros de P del segundo muestreo, se encuentra un incremento de los valores del Polígono 1 en general, con particular aumento de la F1 (SC), F5 y F6, correspondientes a cuerpo segmentado (CS), así como F7 (CL) y F4 (CC).

Figura 20. Representación colorimétrica de escalas para fósforo (P)



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

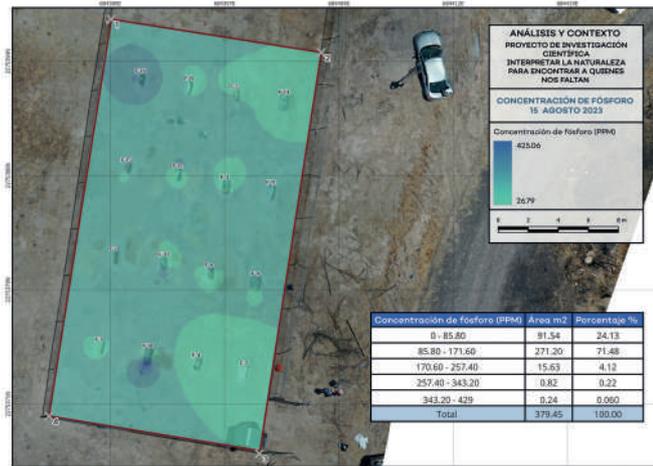
Figuras 21 y 22. Concentración de fósforo (P) pre-inhumación y primer muestreo del Polígono 1, respectivamente



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Durante el segundo muestreo, los valores presentaron un decremento en la mayoría de las fosas, sin embargo, los valores de la F14 (CCA) y F16 (RE), caracterizados por ser métodos de inhumación sin humedad, presentan un aumento en los valores de P.

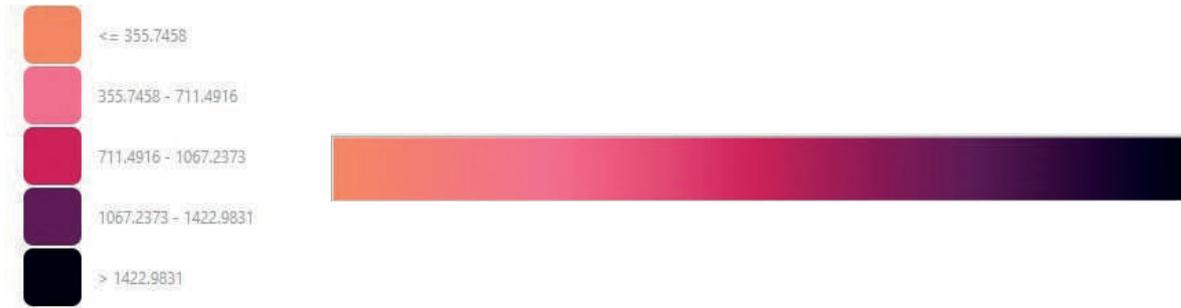
Figura 23. Concentración de fósforo (P) segundo muestreo del Polígono 1



Fuente: elaboración propia. Dirección de
Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En las mediciones de K, los resultados arrojaron un importante aumento de valores entre el muestreo pre-inhumación y el primero, siendo la F1 (SC) -de control- la que presenta mayor concentración de K, a lado de aquellas que contienen tratamiento de cuerpo seccionado, F5 y F6.

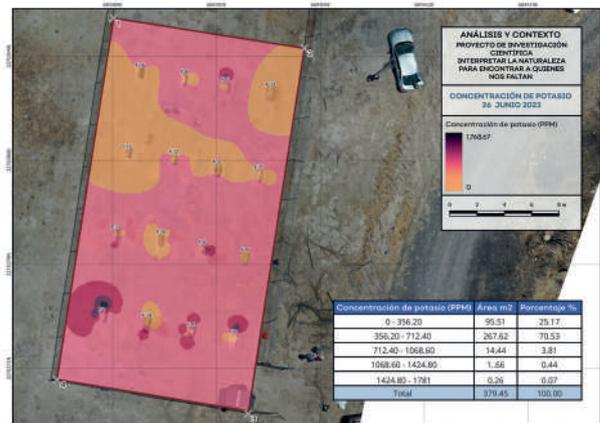
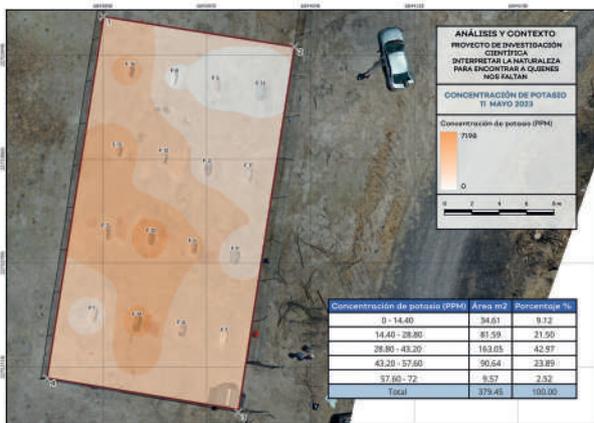
Figura 24. Representación colorimétrica de escalas para potasio (K)



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Las fosas relacionadas a tratamientos de cuerpo que no contienen humedad, presentan los parámetros de K más bajos en esta fecha.

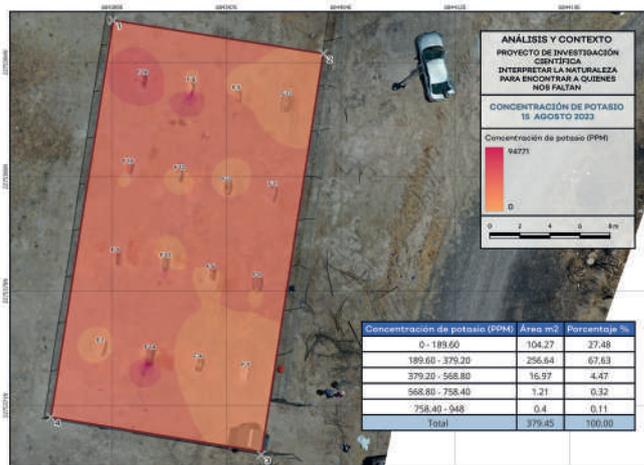
Figuras 25 y 26. Concentración de potasio (K) pre-inhumación y primer muestreo del Polígono 1, respectivamente



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En el tercer muestreo aparece una baja en el repunte anterior de parámetros y, a su vez, mayor homogeneización de la concentración de K en el terreno. Las concentraciones más altas se observan en las fosas F8 (CL) y F14 (CCA).

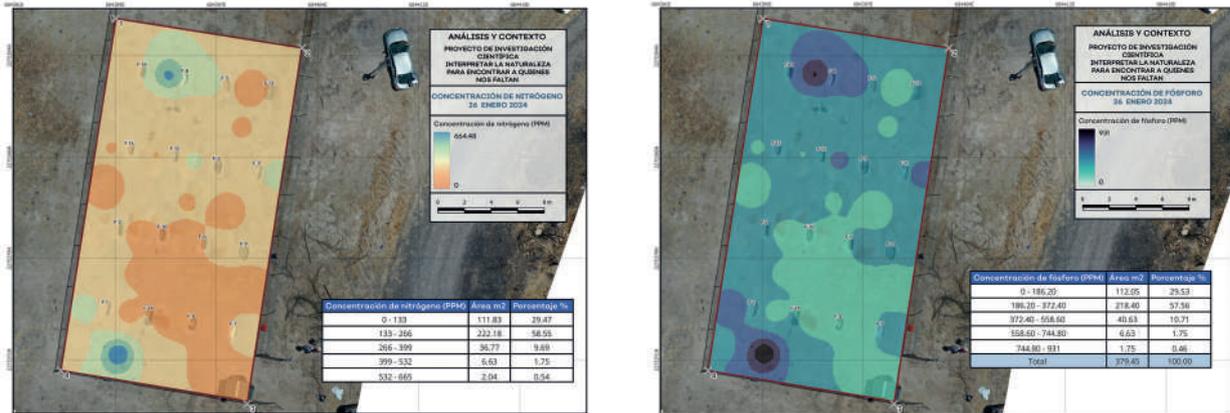
Figura 27. Concentración de potasio (K) segundo muestreo del Polígono 1



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

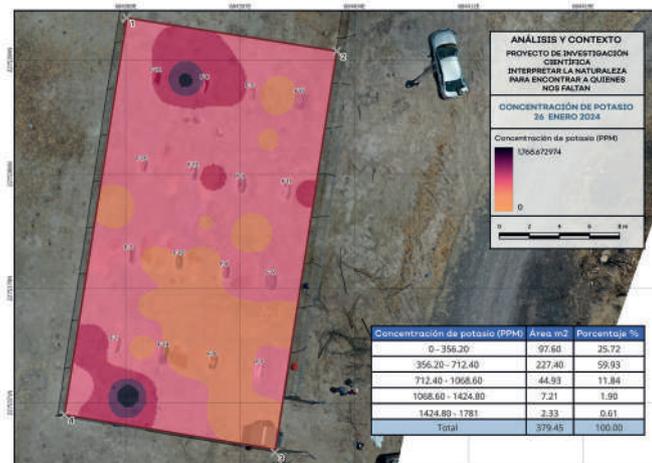
En el muestreo en cuadrícula se encontró un alza en los parámetros de N, P y K en los vértices que intersectan en 15 de las 16 fosas. Por el contrario, la F14 con tratamiento de cuerpo calcinado (CCA) presenta una disminución en los elementos químicos. Se advierte un incremento mayor al promedio en la F11 y F12, correspondientes al tratamiento de cuerpo con cobija (CCO), así como en la fosa 8 relacionada al tratamiento de cuerpo con cal (CL).

Figuras 28 y 29. Concentración de nitrógeno (N) y concentración de fósforo (P) quinto muestreo del Polígono 1, respectivamente



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Figura 30. Concentración de potasio (K) quinto muestreo del Polígono 1



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Figura 31. Concentración de nitrógeno (N) primer muestreo del Polígono 2



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En el Polígono 2 no se realizó un muestreo previo a las inhumaciones, sin embargo, existe la referencia de un primer muestreo. Tomando lo anterior en consideración, los resultados arrojan que no hubo cambios significativos en los parámetros de N, P y K en el segundo muestreo, a excepción de un incremento de N en la F14 (CB) y la F11 (CM) y aumento de P en F9.

Figura 32 y 33. Concentración de fósforo (P) y concentración de potasio (K) del primer muestreo del Polígono 2, respectivamente



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Durante el tercer muestreo se encontró, nuevamente, una homogeneización de los parámetros en rangos que oscilan entre los 40 y 80 ppm para N, con exclusión de la F2 (SC). Por otra parte, los parámetros de P se encuentran en rangos de 60 a 90 ppm, a excepción de las fosas F1 y F2 (SC), la F10 (CP) y F7 (CSB).

En este espacio de investigación se registraron dos profundidades en el cuarto muestreo, gracias a este podemos advertir que los niveles de N tienen mayores concentraciones en el estrato más superficial.

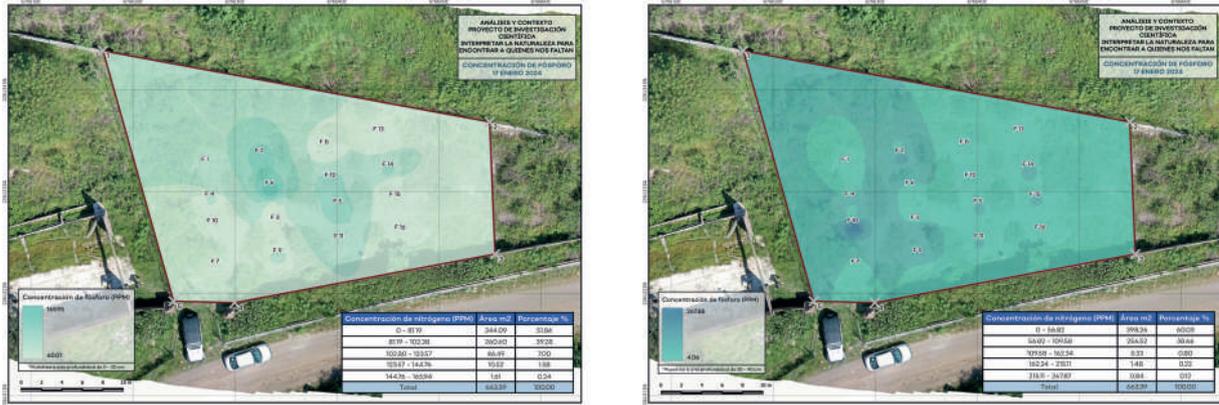
Figura 34 y 35. Concentración de nitrógeno (N) cuarto muestreo del Polígono 2, profundidad 0-20 cm y 20-40 cm, respectivamente



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

La misma situación es visible en los parámetros de P, en los cuales ocurre un crecimiento significativo en la F6 (CL) en la profundidad más superficial; mientras que en el estrato más profundo, encontramos valores elevados en la F10 (CP).

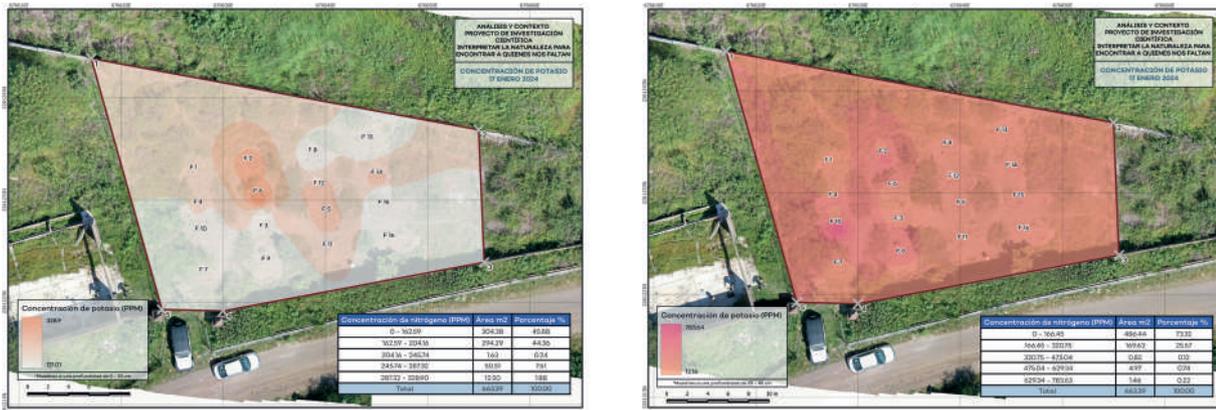
Figura 36 y 37. Concentración de fósforo (P) cuarto muestreo del Polígono 2, profundidad 0-20 cm y 20-40 cm, respectivamente



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En los resultados derivados de K, la cantidad de concentración en el estrato más profundo es considerablemente mayor al que se obtuvo en superficie, con especial implicación en la F10 (CP) correspondiente a método de inhumación cuerpo con piedras.

Figura 38 y 39. Concentración de potasio (K) cuarto muestreo del Polígono 2, profundidad 0-20 cm y 20-40 cm, respectivamente



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En los resultados del quinto muestreo se advierte un incremento promedio de niveles de N en el terreno. Considerando la metodología implementada en este muestreo, es visible una concentración mayor de N en la fosa 2 (SC), fosa 3 (CC) y fosa 14 (CB).

Figura 40 y 41. Concentración de nitrógeno (N) y concentración fósforo (P) del quinto muestreo del Polígono 2, respectivamente



Nota: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Además, se advierten niveles elevados de P y K en F14 (CB), F12 (CM), F2 (SC) y F3 (CC).

Figura 42. Concentración de potasio (K) quinto muestreo Polígono 2



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

A partir del muestreo realizado con la barrena de sondeo, para el análisis de estratos, se observa una sutil diferencia en los parámetros, resultado de la medición de N, P y K entre los estratos A y B del Polígono 1, siendo EB el mayor en valores promedio.

En la F8 (CB), F9 y F10 (CP) se percibe un decremento en los valores de nutrientes respecto al resto, en ambos estratos.

Tabla 5. Parámetros nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) del EA y EB del Polígono 1

FOSA	N		P		K	
	EA	EB	EA	EB	EA	EB
F1	42	28	60	39	120	79
F2	42	24	58	34	118	69
F3	42	42	60	58	120	118
F4	42	42	59	59	119	118
F5	43	54	61	62	122	124
F6	18	23	25	32	50	65
F7	42	42	60	58	120	117
F8	17	4	24	6	49	12
F9	15	43	20	61	41	123
F10	13	21	18	29	37	58
F11	43	44	60	62	120	124
F12	43	43	60	61	121	122
F13	44	44	62	75	124	123
F14	42	42	59	59	119	119
F15	43	43	60	61	121	122
F16	42	25	5.9	35	119	71

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

De igual manera, en el Polígono 2 los resultados de nutrientes demuestran una leve disparidad entre estratos, siendo EB superior a EA. En EB se encuentra una diferencia con mayor aumento en F8, F14 (CB) y F10 (CP); las cuales presentan parámetros bajos de N, P y K en contraste con las demás fosas.

Tabla 6. Parámetros nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) del EA y EB del Polígono 2

FOSA	N		P		K	
	EA	EB	EA	EB	EA	EB
F1	43	5	60	7	121	14
F2	43	43	60	60	122	122
F3	44	44	62	62	124	124
F4	43	44	60	61	121	123
F5	42	42	59	59	117	119
F6	43	44	60	62	121	124
F7	42	54	59	60	118	122
F8	4	5	5	6	11	13
F9	43	19	61	28	122	55
F10	4	44	6	61	11	123
F11	44	43	61	61	123	123
F12	43	43	60	60	121	121
F13	42	42	60	59	120	119
F14	4	43	6	61	12	122
F15	27	42	38	59	76	118
F16	43	42	60	59	120	118

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.



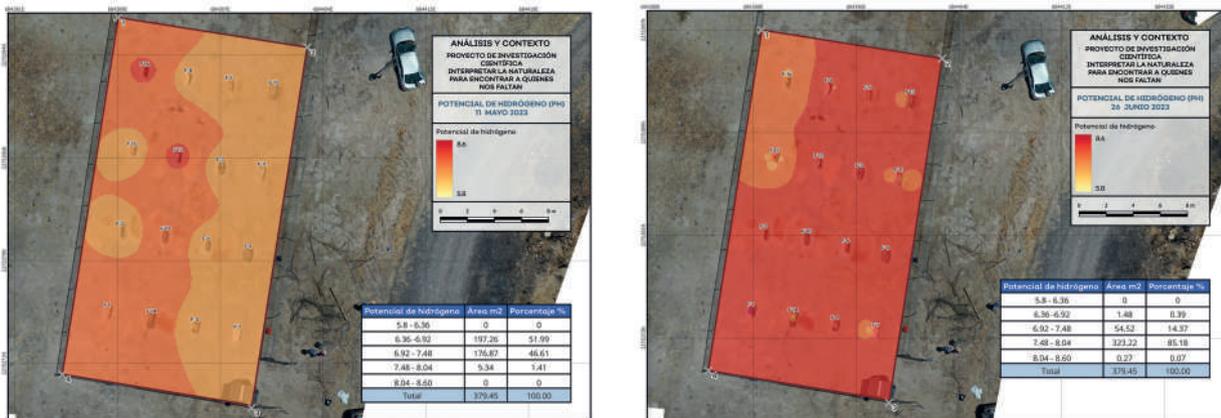
En el Polígono 1, derivado del primer muestreo pre-inhumaciones, el pH aumentó en promedio 0,8, volviendo más alcalino a la gran mayoría del terreno en relación a las condiciones previas al enterramiento. Además, mantienen valores más bajos de pH la F15 y F16, correspondientes a tratamiento de reducción esquelética, así como la F7(CL), correspondiente al tratamiento con cal, y el más elevado resultó la F1(SC).

Figura 43. Representación colorimétrica de escalas para pH



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

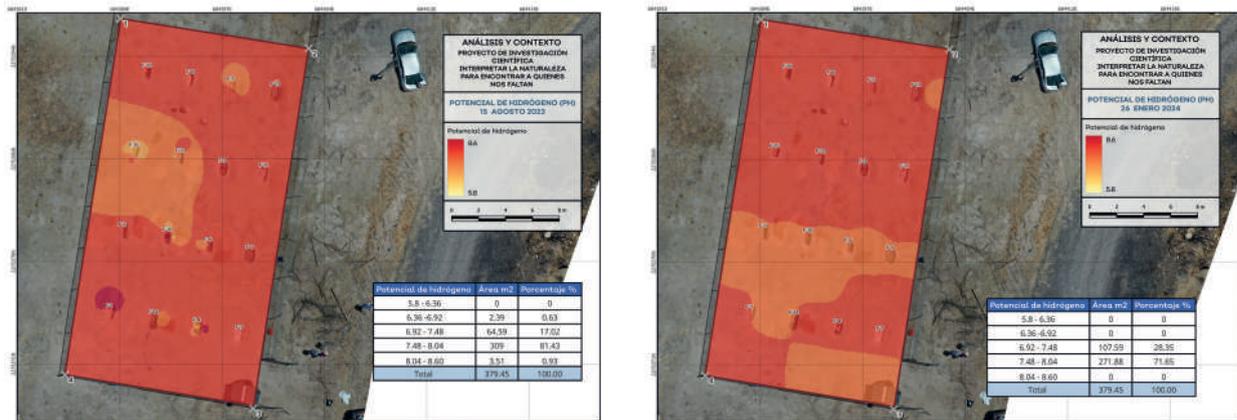
Figura 44 y 45. Concentración de pH pre inhumación y primer muestreo del Polígono 1, respectivamente.



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Para el segundo muestreo, los niveles de pH del espacio de experimentación se mantienen oscilando en los mismo rangos, sin embargo, la F15 (RE) continúa bajando su nivel de pH, de igual manera la F5(CS), F12 (CCO), F4 (CC) y F10 (CB) presentan el mismo fenómeno, reduciendo sus valores. Por el contrario, la fosa de control F1 y la F4 (CC) aumentan a valores superiores de pH.

Figura 46 y 47. Concentración de pH segundo y quinto muestreo del Polígono 1, respectivamente

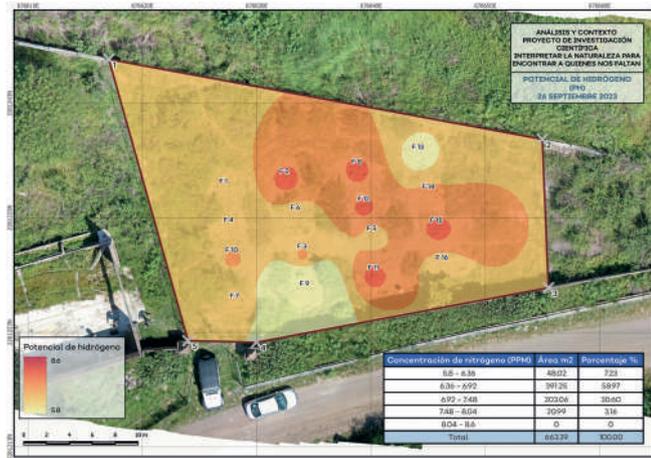


Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Después del segundo muestreo, los parámetros fluctúan entre 0.1 y 0.2 de diferencia entre ellos, lo anterior durante el tercer y cuarto muestreo. En el quinto muestreo, realizado en cuadrícula, se observa nuevamente una unificación en los parámetros del Polígono 1, los cuales se inclinan a niveles altos en un 71.65% del terreno, exceptuando la segunda hilera de fosas que presentan niveles levemente menores al resto.

En el Polígono 2, los valores de pH oscilan entre 6.3 y 8.2, con variaciones promedio de 0.1 del primer al segundo muestreo, en este último se observa un aumento; mientras que entre el tercer y cuarto muestreo, existe una baja de la misma cantidad, mostrando valores menores en el terreno.

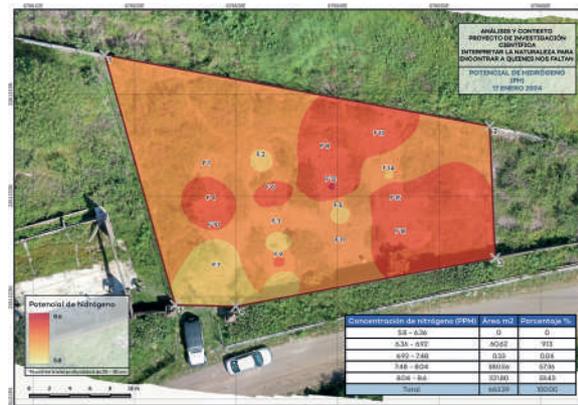
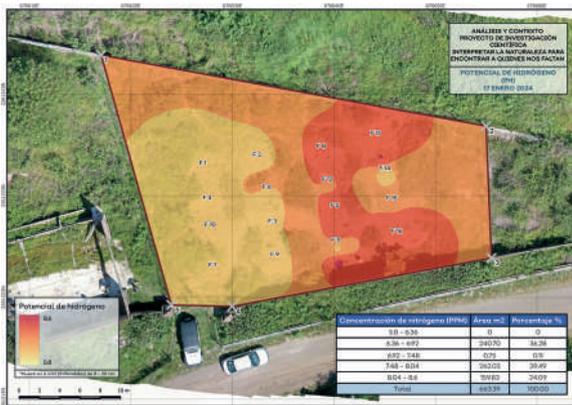
Figura 48. Concentración de pH primer muestreo del Polígono 2



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

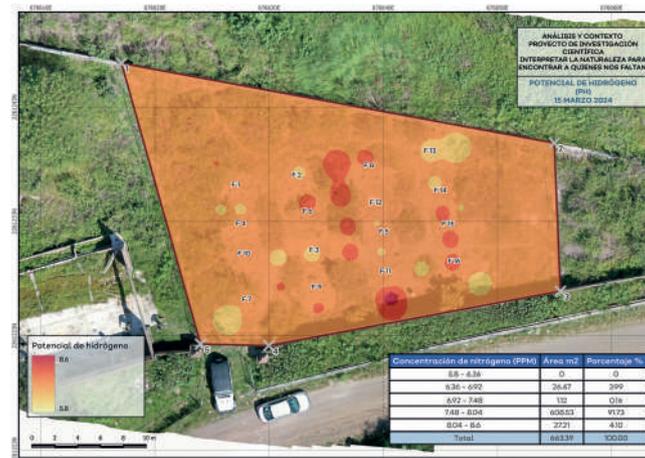
En el primer muestreo, los niveles más altos de pH se registraron en las fosas F2 (SC), F8 (CB), F12 (CM), F15 (CS) y F11(CM).

Figura 49 y 50. Concentración de pH cuarto muestreo del Polígono 2 profundidad 0-20 y 20-40 cm, respectivamente.



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Figura 51. Concentración de pH quinto muestreo del Polígono 2



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

V. Discusión

Hallazgos físicos

El motivo por el que existen hundimientos en la ubicación de las fosas, se describe a continuación. Cuando existe remoción de tierra, esta misma aumenta su volumen. Una vez devuelta a su punto de origen, puede ocurrir que se reúna más tierra -aparentemente-. Lo que ocurre, es que al realizar la remoción de tierra, el espacio poroso aumenta por la descompactación, dando así la apariencia de que existe más tierra. Con el paso del tiempo, este aumento de volumen disminuye por acción de la gravedad y la humedad que va rellenando ese espacio poroso, compactando nuevamente el suelo y propiciando la delimitación de la fosa. Este fenómeno está más presente en el Polígono 2. En el Polígono 1, este cambio es menos notorio, particularmente en la F14 con cuerpo calcinado. Al quemar el cuerpo en el lugar, se reduce la humedad y el volumen del cuerpo, por lo tanto, hay menos hundimiento.

En cuanto a la humedad, se observa más presente en estratos más profundos, debido a que la que se almacena de forma superficial se evapora por el calor del sol. La F14 del Polígono 1 presenta menor humedad debido a su tratamiento.

Hallazgos químicos

En el suelo existe una cualidad denominada variabilidad espacial. Esto se define como los cambios presentes en el suelo por consecuencia de distintos factores físicos tales como topografía, compactación, geomorfología, profundidad del suelo, entre otros (Vargas & Best, 2022). Los nutrientes presentes en el suelo tienen una alta variabilidad. La variabilidad espacial de las propiedades químicas en los suelos es un problema al que se enfrentan los investigadores que trabajan la agricultura de precisión; sobre todo cuando se desea saber cómo se distribuye la concentración de nutrientes o algunas otras variables químicas útiles para la experimentación (Acevedo et al., 2008).

Esto explicaría el porqué los parámetros en los elementos son distintos entre sí tan solo en el mismo polígono. No se define un patrón de comportamiento de los nutrientes N, P y K en un mismo polígono, ni por tratamiento de inhumación. Las fosas que tienen tratamientos en común cambian de distinta forma, lo que podría deberse a que la variabilidad tiene un mayor papel en los parámetros de los nutrientes, con respecto al tratamiento de inhumación que se le dio.

En el Polígono 1, las fosas que presentan los cuerpos completos (CC) y segmentados (CS), son aquellas que presentan un aumento más notable en los parámetros de los elementos medidos. Sin embargo, no aumentaron en la misma proporción.

Tratamientos que ayudan a retrasar, más no inhibir, la etapa de putrefacción de un cuerpo en descomposición, como el tratamiento con cal (CL) o con cobija (CCO), presentan cambios sólo en una de dos o tres fosas con mismo tratamiento. Se registran aumentos en las fosas de control -sin inhumación-. El comportamiento de los nutrientes presenta bastante variabilidad.

Respecto al pH, no se observaron diferencias significativas en alguno de los dos polígonos de forma general. En un principio, la mayoría de las fosas presentaron un incremento en el pH hasta de 1.0 más que inicialmente. Unos otros, como en el caso de la fosa 16 con cuerpo en reducción esquelética del Polígono 1, se encontraron niveles bajos de pH, sin embargo, fue solo en una de las fosas con dicha característica. Es decir, no hay un patrón. En el Polígono 2 también

ocurrió un declive del pH en la fosa 3 con cuerpo completo, nuevamente no presentando un patrón aparente. En el segundo y tercer muestreo en el Polígono 1, coincidiendo con temporal de lluvias, algunas fosas presentan una disminución del pH, una con cuerpo encobijado, otra con características de reducción esquelética y una con cuerpo completo. Eventualmente, en el resto de los muestreos, los valores del pH en ambos polígonos no presentaron más variaciones notables, únicamente cambios no significativos a nivel decimal.

El pH es el factor que menos cambios presenta en cuanto a variabilidad, lo que coincide con la literatura existente. (Acevedo et al., 2008).

VI. Conclusiones

Considerando que a lo largo del estudio las condiciones metodológicas, de muestreo y medición fueron construidas a medida que el experimento progresaba, fue inviable establecer una homologación de los resultados que permitiera la comparativa de cambios en las propiedades químicas del suelo de los espacios de inhumación.

Tomando en consideración que existen variables de tipo de inhumación y profundidad, no fue posible determinar con certeza si existe o no una relación entre los cambios en la firma química del suelo en sitios de inhumación, en contraste con suelos sin esta característica. Siendo a su vez imposible determinar la dinámica de afección química entre suelo y descomposición de un organismo en subsuelo.

La inviabilidad de un análisis comparativo reside en el uso de distintas metodologías de muestreo en un mismo sitio, en la ausencia de un muestreo previo en ambos espacios, la aleatoriedad en fechas de muestreo, la profundidad seleccionada -ya que se considera superficial para reflejar cambios químicos consecuencia de la inhumación- y la falta de fiabilidad en las mediciones arrojadas por el sensor de suelos -que si bien tiene la ventaja de tener un uso sencillo y práctico, no tiene elementos suficientes que avalen su calibración-. Además, se considera deficiente la falta de homologación en las cantidades de suelo y agua destilada para la medición de N, P y K con el sensor de suelos.

Recapitulando que el objetivo principal de este texto es valorar la posibilidad de implementar nuevas técnicas científicas para la búsqueda de sitios de inhumación clandestina



-como resultado de la crisis forense actual- se determinó, tras la revisión bibliográfica y el avance de la investigación, que el análisis químico de suelos no es una herramienta recomendable para la búsqueda de fosas clandestinas. Principalmente, debido al factor de variabilidad química en suelos mencionado con anterioridad.

Si bien la mayoría de los estudios relacionados a la variabilidad química de suelos tienen origen en el campo de la agronomía, podemos asumir entonces que no es posible determinar parámetros químicos normales de suelo porque estos serán sumamente distintos entre sí aún cuando se hable del mismo tipo de suelo. Otro factor a considerar es el costo de las mediciones, de modo que para que los resultados sean precisos el análisis de laboratorio es la mejor vía, infortunadamente estos tienen un costo elevado y aún con estos datos se necesitaría una referencia previa de ese suelo en particular.

Sin embargo, el suelo cuenta propiedades además del aspecto químico que sí pueden actuar como una herramienta eficiente en la detección de fosas clandestinas, es por ello que se considera importante apostar a la investigación de las características físicas del suelo en sitios de inhumación.

Algunas de estas propiedades fueron descritas en la presente investigación como precedente, no obstante no tuvieron un seguimiento propio es por ello que se exhorta, para estudios futuros, ahondar más en la interpretación del paisaje mediante técnicas que permitan analizar la humedad, densidad aparente, abundamiento, presencia de vegetación, cambios en la estructura del terreno en sitios de inhumación clandestina y que permitan su detección en campo o vía remota. Encaminando, de esta manera, los estudios de suelos para detección de fosas a un ámbito físico en lugar de químico.

VII. Consideraciones finales

Para futuras investigaciones, presentamos una serie de recomendaciones a considerar para la metodología:

- El uso de recipientes que mantengan en condiciones favorables las muestras de tierra. Preservarlas lo mejor posible para su posterior análisis es recomendable. Se aconseja realizar un análisis gravimétrico para las mediciones de humedad tanto para obtener

una cantidad similar de muestra de todos los puntos de interés, como para obtener información exacta respecto a la humedad en caso de que se pierda por algún factor externo.

- La implementación de métodos criminalísticos para la documentación fotográfica y recolección de muestras con el fin de llevar un mejor control de la información. Además, se sugiere homologar que los muestreos se realicen en lapsos de tiempo similares entre cada uno, metodología a realizar, para obtener una mayor precisión en información.
- Se considera fundamental realizar un análisis de las condiciones físicas del suelo previo a las inhumaciones. Es necesario realizar una comparativa y observar la evolución de las características físicas del suelo, además de procurar un seguimiento específico de cada uno de los tratamientos de los cuerpos en descomposición.
- Orientar investigaciones a análisis de microtopografía con énfasis en las características de abundamiento y densidad aparente del suelo. Así como mediciones en campo con el uso de un penetrómetro. Se sugiere el uso de vehículos aéreos no tripulados -coloquialmente conocidos como drones- para un monitoreo remoto⁷ de las condiciones microtopográficas de sitios de inhumación en distintas temporalidades y condiciones meteorológicas.

7

Véase artículos del apartado de Percepción Remota del presente libro.

Referencias

- ACEVEDO, D., ÁLVAREZ, M., HERNÁNDEZ, E., MALDONADO, R., PÉREZ, M. & CASTRO, R. (2008). *Variabilidad espacial de propiedades químicas del suelo y su uso en el diseño de experimentos*. Terra Latinoam, vol.26, n.4.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792008000400004&lng=es&nrm=iso
- ANDRADES, M. & MARTÍNEZ, M. (2022). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen*. Universidad de la Rioja.
<https://investigacion.unirioja.es/documentos/5c13b229c8914b6ed377892a>
- BARROS, F., KUHNEN, B., COSTA, M. & SILVA, C. (2021). *Ciencias forenses: principios éticos y sesgos*. Rev. bioét. 2021; 29 (1): 55-65.
<http://dx.doi.org/10.1590/1983-80422021291446>
- BEHRENSWEYER, A. (1984). *Taphonomy and the Fossil Record: The complex process that preserve organic remains in rocks also leave their own traces, adding another dimension of information to fossil samples*. American Scientist, Vol. 72, No. 6, pp. 558-566.
<http://www.jstor.org/stable/27852965>
- BOTTACIN, S. CACCIANIGA, & M. CATTANEO, C. (2012). *Vegetation Dynamics as a Tool for Detecting Clandestine Graves*. Journal of Forensic Sciences, 57(4), 1-6.
<https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2012.02071.x>
- BRAKEL, J. (1997). *Chemistry as the science of the transformation of substances*. Synthese (111) 1 253–282.
<https://doi.org/10.1023/A:1004953915874>
- BROWN, T., LEMAY, H., BURSTEN, B., MURPHY, C. & WOODWARD P. (2012). *Chemistry. The Central Science (12 ed.)*. Pearson.
<https://ghostwriter144.neocities.org/img/scienceChemistryTheCentralScience12th.pdf>

- CARTER, D. & TIBBETT, M. (2008). *Cadaver Decomposition and Soil: Processes*, in D. Carter & M. Tibbett (Ed.), *Soil Analysis in Forensic Taphonomy Chemical and Biological Effects of Buried Human Remains*. CRC Press, pp. 29-51.
<https://doi.org/10.1201/9781420069921>
- CID, G., LÓPEZ, T., HERRERA, J. & GONZÁLEZ, F. (2021). *Variación de la Densidad Aparente para diferentes contenidos de agua en suelos cubanos*. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(2). <https://www.redalyc.org/journal/5862/586266250001/html/>
- CINZIA, A. (2023). *Taphonomical Investigation Applied to Clandestine Graves*. *Advances And Applications in Geoforensics: Unraveling Crimes with Geology*, 101(1), 1-9.
<https://doi.org/10.1478/AAPP.101S1A6>
- FERTILAB. (2022). *El color del suelo como indicador de su fertilidad*. <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/El%20Color%20del%20Suelo%20como%20Indicador%20de%20su%20Fertilidad.pdf>
- FOA. (2006). *Guidelines for soil description*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
<https://www.fao.org/3/a0541e/a0541e.pdf>
- FORBES, S. (2008). *Decomposition Chemistry in a Burial Environment*, in D. Carter & M. Tibbett (Ed.), *Soil Analysis in Forensic Taphonomy Chemical and Biological Effects of Buried Human Remains*. CRC Press, pp. 203-223.
<https://doi.org/10.1201/9781420069921>
- GERBER, SAMUEL M. (1983). *Chemistry and Crime: From Sherlock Holmes to Today's Courtroom*. American Chemical Society. Recuperado el 02 de mayo del 2024 de <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED343778.pdf>
- GONZÁLEZ, D. (2019). *Violencia y terror. Hallazgos sobre fosas clandestinas en México 2006-2017*. Universidad Iberoamericana.
<https://ibero.mx/files/2019/violencia-y-terror.pdf>
- GUTIÉRREZ, A. (2021). *Estudio de los efectos tafonómicos observados en los restos cadavéricos de Sus scrofa domestica*. Universidad Autónoma de Barcelona. https://www.researchgate.net/publication/359399345_Estudio_de_los_efectos_tafonomicos_observados_en_los_restos_cadavericos_de_Sus_scrofa_domestica



- HERNÁNDEZ, M. (2000). *Fundamentos de medicina legal*. McGraw Hill Interamericana. <https://facdyc.uaeh.mx/wp-content/uploads/2024/04/GUIA-Fundamentos-Medicina-Legal.pdf>
- INTAGRI. (2017). *Fijación de Potasio en el Suelo*. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. Serie Suelos Núm. 31. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/fijacion-de-potasio-en-el-suelo>
- INTAGRI. (2017). *Uso Eficiente del Fósforo en la Agricultura*. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. Serie Nutrición Vegetal Núm. 105. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/uso-eficiente-del-fosforo-en-la-agricultura>
- INECOL. (2017). *Nuestro fósforo cada día*. Instituto de Ecología. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2017-06-26-16-35-48/17-ciencia-hoy/1693-nuestro-fosforo-de-cada-dia>
- KIM, B. (2020). *Short Communication on Modern Chemistry*. Modern Chemistry and Applications Vol. 8 Iss. 4 No. 281. <https://www.walshmedicalmedia.com/open-access/short-communication-on-modern-chemistry.pdf>
- KOCHIAN, L. (2012). *Plant Nutrition: Rooting for more phosphorus*. Macmillan Publishers Limited. https://www.researchgate.net/publication/230722025_Plant_nutrition_Rooting_for_more_phosphorus
- LEEUWE, R. & MIKE, W. (2017). *A Taphonomic Study Based on Observations of 196 Exhumations and 23 Clandestine Burials: Forensic Analysis of the Dead and the Depositional Environment*, in E. Schotsmans, N. Márquez-Grant & S. Forbes (Ed.), *Taphonomy of Human Remains: Forensic Analysis of the Dead and the Depositional Environment*. Wiley. (pp. 394-401). <https://doi.org/10.1002/9781118953358.ch26>
- MAIKEN, U. & STUART, B. (2017). *Degradation of Clothing in Depositional Environments*, in E. Schotsmans, N. Márquez & S. Forbes (Ed.), *Taphonomy of Human Remains: Forensic Analysis of the Dead and the Depositional Environment*. Wiley (pp. 120-133).
- MAYCOTTE, C. (2011). *Edafología 1*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/handle/123456789/7381>



- MENGEL, K. & KIRBY, E. (2000). *Principios de Nutrición Vegetal*. Internacional Potash Institute. <https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/64-principios-de-nutricion-vegetal.pdf>
- MOORBERG, C. & CROUSE, D. (2023). *Soils Laboratory Manual*. LibreTexts. [https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Soil_Science/Soils_Laboratory_Manual_\(Moorberg_and_Crouse\)/03%3A_Soil_Physics/03.1%3A_Soil_Texture_and_Structure](https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Soil_Science/Soils_Laboratory_Manual_(Moorberg_and_Crouse)/03%3A_Soil_Physics/03.1%3A_Soil_Texture_and_Structure)
- MORRISH, R. (1955). *The Police and Crime-Detection Today*. Oxford University Press.
- RODRIGUEZ, W. (1997). *Decomposition of Buried and Submerged bodies*, in W. Haglund & M. Sorg (Ed.), *Forensic Taphonomy. The postmortem fate of human remains*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781439821923.sec4>
- SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN. (2015). *Acuerdo A/009/15*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5381699&fecha=12/02/2015#gsc.tab=0
- SERRANO, M. (2018). *La química de los fenómenos cadavéricos*. Gaceta Internacional de Ciencias Forenses, 26(1), 57-70. https://www.uv.es/gicf/4A1_Serrano_GICF_29.pdf
- SISOVID. (2024). *Personas desaparecidas al 30 de junio del 2024*. Sistema de Información Sobre Víctimas de Desaparición. <https://sisovid.jalisco.gob.mx/#section-2>
- SOIL SURVEY STAFF (2014). *Claves para la Taxonomía de Suelos* (12 ed.). Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- SOIL SURVEY STAFF. (2015). *Illustrated Guide to Soil Taxonomy, version 2*. United States Department of Agriculture. https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/202206/Illustrated_Guide_to_Soil_Taxonomy.pdf
- SOIL SURVEY STAFF. (2022). *The 12 Orders of Soil Taxonomy*. United States Department of Agriculture. https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-06/orders_hi.pdf
- STATHEROPOULOS, M., SPILIOPOULOU, C. & AGAPIOU, A. (2005). *A study of volatile organic compounds evolved from decaying human body*. Forensic Science International



(153)1, 147-155. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379073804006188?via%3Dihub>

TAKAJASHI, F., SUSANO, P., GARCÍA, F. & CÁRDENAS, J. (2019). *Medicina Forense*. Manual Moderno. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25678w/saber1/s1_04_Medicina_forense_compressed.pdf

TAYLOR, D. (1962). *Principios Fundamentales de Mecánica de Suelos*. Compañía Editorial Continental. https://catalogo.uniquindio.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=13894&shelfbrowse_itemnumber=19957

VARGAS, E. (1999). *Medicina Legal*. Editorial Trillas. <https://medicinalegalunah.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/05/medicina-legal-eduardo-vargas-alvarado.pdf>

VARGAS, D., OLIVARES, L., CERÓN, A. & BOBADILLA, M. (2020). *Manual de Evaluación de Suelos. Énfasis en Memoria Edáfica, Materia Orgánica e Hidroedafología*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, 3(1), 1-35. https://www.researchgate.net/publication/346452883_Manual_de_Evaluacion_de_Suelos_Enfasis_en_Memoria_Edafica_Materia_Organica_e_Hidroedafologia

VARGAS, Q. & BEST, S. (2022). *Variabilidad microclimática, espacial de características fisicoquímicas del suelo y su efecto en la heterogeneidad a la respuesta productiva de los cultivos*. Moletín INIA N° 457, pp. 21-34. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68559/Capitulo%202.pdf?sequence=5#:~:text=Se%20entiende%20por%20variabilidad%20espacial,caracter%C3%ADsticas%20diferenciadoras%20en%20la%20productividad.>







Capítulo 13



La vida después de la vida: botánica forense aplicada al estudio y detección de fosas clandestinas

Ramón Cuevas Guzmán, María L. Baca Cruz, José Guadalupe Robles Estrada,
Fátima Yazmin Salcedo García y Melina Gil Meza

Contribución arbitrada

Resumen

La aplicación de la botánica forense representa una de las posibilidades más accesibles para coadyuvar en la búsqueda de personas desaparecidas que se encuentran inhumadas. Desde esta premisa, en el área metropolitana de Guadalajara (AMG) (en el estado mexicano de Jalisco), se establecieron dos polígonos de experimentación con fosas simuladas en las que se depositaron cuerpos de cerdos con diferentes tratamientos. Entre otros análisis, se estudió el establecimiento espontáneo de especies vegetales y su relación con el entorno que se modificó, tanto por la remoción de la tierra como por la degradación de los cuerpos — medida a través del registro de parámetros químicos —.

Es decir, además de la interpretación sistemática del paisaje, el establecimiento espontáneo de las especies de plantas fue relacionado con las variables del medio: pH, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), pendiente del terreno y el propio tratamiento de los cuerpos, a través de técnicas multivariadas.

En general, se observaron cambios en la composición química de los suelos asociados con los diferentes tratamientos de los cadáveres.

Para el Polígono 2, se registraron 16 especies de plantas vasculares, que su presencia podría estar respondiendo a variables como el N, P, K y pH, y/o bien, por la profundidad y remoción de la tierra. Algunas de estas especies fueron *Melampodium* sp., *Euphorbia chamaesyce*, *Cosmos sulfureus*, *Alopecurus pratensis*, *Sporobolus alopecuroides*, *Vachellia farnesiana*, *Setaria adhaerens*, *Digitaria sanguinalis*, *Cenchrus echinatus* y *Chloris radiata*.

Palabras clave: botánica forense, descomposición de cuerpos, flora vascular, inhumación.

I. Introducción

Las plantas han estado presentes en nuestro planeta por millones de años (Nassar, 2005). Su inherente relación con la historia humana ha permitido que las especies de plantas y sus partes se utilicen como fuente de información para el esclarecimiento de crímenes. Así se ha desarrollado la disciplina de la botánica forense, la cual se encarga del estudio de las plantas como fuente de información para la investigación criminal y civil (Nassar, 2005; Zúñiga, 1984).

En el caso de cuerpos de personas desaparecidas, depositados en fosas clandestinas, el suelo como ambiente de entierro es un espacio agresivo que promueve su biodeterioro (Janaway, 2008). Los elementos y compuestos que resultan de la descomposición podrían ser utilizados para generar información de importancia forense (Fancher et al., 2017).

Se podría considerar que la putrefacción de cadáveres genera disturbio a pequeña escala, con modificaciones químicas en la composición del suelo que, a su vez, provocan nuevas oportunidades para el establecimiento de plantas (Barton et al., 2016). Ante esta modificación, la aparición de especies vegetales¹ en el ambiente circundante a la fosa, podría ayudar en la inferencia de la existencia de cadáveres sepultados (Nassar, 2005; Zúñiga, 1984; Fernández et al., 2007; Jaramillo, 2019; Martínez, 2019).

La descomposición incrementa la actividad microbiana y el potencial redox (Janaway, 2008). Aunado, provoca la concentración de elementos como el nitrógeno (N), potasio (K) y fósforo (P) e impactos en el pH, que podrían representar oportunidades para el establecimiento de plantas (Barton et al., 2016).

1 Se denomina especie al conjunto de individuos con características morfológicas similares y con la capacidad de intercambiar material genético y producir descendencia fértil.



Estudios que han tratado de ver la descomposición de cadáveres inhumados, han utilizado como sustitutos de cuerpos humanos cadáveres porcinos, bajo el argumento de que ambos son omnívoros monogástricos, presentan similitudes fisiológicas y anatómicas, incluyendo la masa corporal, la vellosidad y la pigmentación (Schotsman et al., 2014; DeBruyn et al., 2021).

Si bien las descomposiciones difieren en varios elementos (Dautartas et al., 2018; DeBruyn et al., 2021), se considera que un estudio con el empleo de cadáveres de cerdos, podría contribuir al entendimiento de la modificación del ambiente alrededor de las fosas y de la respuesta de especies vegetales a dichos cambios.

II. El origen

En la experiencia latinoamericana, países como Chile han desarrollado proyectos para identificar la sucesión vegetal en los distintos estados de descomposición cadavérica (Romero-Mieres et al., 2016). Entre las contribuciones generadas se menciona el caso de la especie *Aristotelia chilensis*: una planta endémica del país, que fue reconocida en sitios de experimentación post mortem, por lo que se le determinó como una especie bioindicadora forense.

Con ello se abrió camino a una nueva herramienta que permite la contribución a la vinculación entre evidencia forense y el sitio del suceso (Romero-Mieres et al., 2016).

Ante el fenómeno de las personas desaparecidas, se buscan herramientas para caracterizar sitios de inhumación y generar indicadores que faciliten el hallazgo de tumbas clandestinas.

En el estado mexicano de Jalisco, el estudio de la botánica forense ha sido fuertemente explorada desde una visión empírica. Los familiares de personas desaparecidas son quienes, a fuerza de experiencia, han articulado el conocimiento sobre el crecimiento diferenciado de la vegetación o la ausencia de la misma en lugares con cuerpos inhumados. Valorando cada una de las modificaciones sutiles que son susceptibles de pasar desapercibidas para otros actores.

También, desde el año 2022, la Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco (COBUPEJ), inició con la recopilación de datos de la flora presente en inhumaciones clandestinas, detectadas localmente, con lo que se logró establecer algunos conocimientos previos:



1. La prevalencia de especies con raíz pivotante². Características en sitios de ocultamiento de personas sin vida, manifestadas en especies como huizaches (*Vachellia* sp) ó mezquites (*Prosopis* sp).
2. Establecimiento de especies pioneras³. Dado que en los sitios la superficie del suelo es removida, se abren espacios que favorecen la llegada de especies de plantas. Ejemplo de ellas son *Ricinus communis* y *Verbesina* spp.
3. Composición florística presumiblemente influenciada por la presencia de un bioelemento principal: el nitrógeno (N). Perdomo (2013) mencionó que en campos agrícolas donde hay baja disponibilidad de dicho elemento se constituye una ventaja para el crecimiento de leguminosas u otras especies fijadoras de N atmosférico; por lo contrario, en condiciones de altos suministros de nitrógeno, se favorece a la familia⁴ Gramineae ó Poaceae (Barton et al., 2016).

III. Materiales y Métodos

Para la simulación de fosas clandestinas se utilizaron 28 cerdos domésticos (*Sus scrofa*), con un peso entre 40-60 kilogramos y edades en un rango de los 6-8 meses. Su alimentación fue una dieta líquida (leche) hasta cumplir casi los 6 meses de edad, posteriormente se cambió a alimentos sólidos. Se garantizó un tratamiento ético y normativo para que los animales tuvieran una muerte rápida, sin sufrimiento innecesario. Se utilizó el método de punción al miocardio y se conservaron los órganos, líquidos y sangre de los porcinos⁵.

En el Polígono 1 (en el municipio de Tonalá, Jalisco) se efectuó la primera inhumación de los ejemplares, el 31 de mayo de 2023. Se depositaron 14 cerdos en un mismo número de fosas, replicando tratamientos comúnmente detectados en escenas criminales (Tabla 1). Se consideraron dos profundidades: 0.75 y 1.25 metros, con las siguientes dimensiones: 1.6 metros

2 Es el tipo de raíz que crece verticalmente hacia abajo y se convierte en la principal de la planta. Un ejemplo común es el caso de la zanahoria.

3 Las primeras plantas que llegan y se establecen después de una perturbación o el surgimiento de un área nueva.

4 Una familia botánica es una jerarquía taxonómica que reúne géneros y especies.

5 Para una mejor comprensión del proyecto de investigación, se recomienda la lectura del capítulo “Experimentación forense: la historia de un proyecto”.



de ancho por 2.1 metros de largo. Los ejemplares se orientaron de sur a noreste. Dos cavidades se dejaron vacías y fueron utilizadas como tratamientos control. En total se realizaron 16 fosas distribuidas en cuatro filas, separadas entre sí por un intervalo de 1.8 metros. Cada fila tuvo una separación de 3.90 metros.

En el Polígono 2 (en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco), los porcinos se depositaron el 11 de septiembre de 2023. Nuevamente se realizaron 16 fosas: dos quedaron vacías para control; en tanto que en los 14 restantes se distribuyeron 14 cerdos. Se replicaron las dimensiones y profundidades del primer polígono⁶ y se agregaron dos tratamientos nuevos: cobertura con piedras y colocación de cemento (Tabla 2).

Tabla 1. Tratamiento aplicado, profundidad e identificación de fosa por cada ejemplar en el Polígono 1

TRATAMIENTO DEL CUERPO	PROFUNDIDAD (m)	IDENTIFICACIÓN DE FOSA
SIN CUERPO	0.75	F1
SIN CUERPO	1.25	F2
CUERPO COMPLETO (CC)	0.75	F3
CUERPO COMPLETO (CC)	1.25	F4
CUERPO SECCIONADO (CS)	0.75	F5
CUERPO SECCIONADO (CS)	1.25	F6
CUERPO CON CAL (CL)	0.75	F7
CUERPO CON CAL (CL)	1.25	F8
CUERPO DENTRO DE BOLSA (CB)	0.75	F9
CUERPO DENTRO DE BOLSA (CB)	1.25	F10
CUERPO CON COBIJA (CJ)	0.75	F11
CUERPO CON COBIJA (CJ)	1.25	F12
CUERPO QUEMADO (CQ)	0.75	F13

⁶ Es de resaltar que, a diferencia del Polígono 1, se inhumaron dos porcinos a un metro de profundidad, debido a que sus cuerpos se aprovecharían para realizar un análisis tafonómico.

TRATAMIENTO DEL CUERPO	PROFUNDIDAD (m)	IDENTIFICACIÓN DE FOSA
CUERPO QUEMADO (CQ)	1.25	F14
REDUCCIÓN ESQUELÉTICA (RE)	0.75	F15
REDUCCIÓN ESQUELÉTICA (RE)	1.25	F16

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Tabla 2. Tratamiento aplicado, profundidad e identificación de fosa por cada ejemplar en el Polígono 2

TRATAMIENTO DEL CUERPO	PROFUNDIDAD	IDENTIFICACIÓN DE FOSA
SIN CUERPO (SC)	0.75	F1
SIN CUERPO (SC)	1.25	F2
CUERPO COMPLETO (CC)	0.75	F3
CUERPO COMPLETO (CC)	1.25	F4
CUERPO CON CAL (CL)	0.75	F5
CUERPO CON CAL (CL)	1.25	F6
CUERPO SEGMENTADO DENTRO DE BOLSA (CB)	0.75	F7
CUERPO SEGMENTADO DENTRO DE BOLSA (CB)	1.25	F8
CUERPO CON PIEDRAS (CP)	0.75	F9
CUERPO CON PIEDRAS (CP)	1.25	F10
CUERPO CON CEMENTO (CM)	0.75	F11
CUERPO CON CEMENTO (CM)	1.25	F12
CUERPO COMPLETO PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO (CCT)	1	F13
CUERPO SEGMENTADO DENTRO DE BOLSA, PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO (CBT)	1	F14
CUERPO SEGMENTADO, PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO (CST)	1	F15
CUERPO CON CAL, PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO (CMT)	1	F16

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

3.1. Colectas botánicas

En el Polígono 1⁷, en cuatro fechas distintas: 11 de mayo de 2023, 15 de agosto de 2023, 2 de octubre de 2023 y 6 de noviembre de 2023, se realizaron registros fotográficos y colectas botánicas, mismas que fueron colocadas en una prensa de madera para su posterior identificación taxonómica (Figura 1).

Figura 1. Prensa botánica



Fuente: COBUPEJ.

En el caso del Polígono 2⁸, los eventos de documentación se efectuaron en cinco momentos: 7 de septiembre de 2023, 27 de octubre de 2023, 9 de noviembre de 2023, 17 de enero de 2024 y 3 de abril de 2024. La evidencia se recopiló bajo el mismo tratamiento que se utilizó para Polígono 1.

7 Ubicado en el municipio de Tonalá, Jalisco.

8 Localizado en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco.

La ubicación de cada espécimen detectado se relacionó con cada una de las fosas, según su localización. Es decir, se vinculó si creció sobre la fosa o en el área de influencia de cada una de las 32 oquedades⁹ en donde se depositaron cuerpos de porcinos y aquellas que sirvieron de tratamientos control.

La información de las especies se sistematizó en matrices y, en un segundo momento, se confrontó con los parámetros ambientales y químicos del suelo, presentes a lo largo del periodo de experimentación. Esto, con el objetivo de evaluar la posible influencia del ambiente sobre la presencia o ausencia de las especies vegetales.

3.2. Muestras y análisis del suelo¹⁰

Las muestras de suelos fueron tomadas en cada una de las 32 fosas de los dos polígonos. La muestra se tomó a 20 cm de profundidad. Se realizaron cinco submuestras, en cada fosa, la primera muestra se tomó en el centro de la fosa y las otras cuatro hacia cada uno de los puntos cardinales. Todas las submuestras fueron tomadas a 20 cm de profundidad (Tabla 3 y 4). Información más detallada sobre los análisis de los suelos y las variables determinadas se proporcionan en el capítulo de este libro “Desenterrando la verdad: análisis de cambios en la firma química y características del suelo en sitios de inhumación clandestina”.

9 Como área de influencia se determinó un metro a partir del centro de cada excavación.

10 Para una mejor comprensión del análisis químico, se recomienda consultar el capítulo “Desenterrando la verdad: análisis de cambios en la firma química y características del suelo en sitios de inhumación clandestina”.



Tabla 3. Fechas de muestreo de suelo y profundidades en Polígono 1

Fecha de muestreo	No. Muestreo	Profundidad muestreada	Tiempo de inhumación	Método de muestreo
11 mayo 2023	0	20 cm	Pre inhumación	Puntos cardinales y centro de fosa
26 junio 2023	1	20 cm	26 días	Puntos cardinales y centro de fosa
15 agosto 2023	2	20 cm	2 meses y medio	Puntos cardinales y centro de fosa
21 octubre 2023	3	20 cm	4 meses y medio	Puntos cardinales y centro de fosa
06 noviembre 2023	4	20 cm	5 meses 1 semana	Puntos cardinales y centro de fosa
26 enero 2024	5	20 cm	8 meses 3 semanas	Cuadrícula

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Tabla 4. Fechas de muestreo de suelo y profundidades en Polígono 2

Fecha de muestreo	No. Muestreo	Profundidad muestreada	Tiempo de inhumación	Método de muestreo
16 septiembre 2023	1	20 cm	5 días	Puntos cardinales y centro de fosa
06 octubre 2023	2	20 cm	3 semanas	Puntos cardinales y centro de fosa
27 octubre 2023	3	20 cm	1 mes y medio	Puntos cardinales y centro de fosa
17 enero 2024	4	20 cm	4 meses	Puntos cardinales y centro de fosa
15 marzo 2024	5	20 cm	6 meses	Cuadrícula

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.



Las variables de suelo determinadas en las submuestras de los suelos se realizaron con un analizador portátil de suelos marca Slicetex Electronics¹¹. Las variables que fueron determinados con el analizador portátil fueron pH, nitrógeno total (N)¹², fósforo (P) y potasio (K). El dispositivo, además de registrar los elementos descritos, registra temperatura y humedad, mediante cinco electrodos resistivos de uso agrícola.

La obtención de las variables del suelo se hizo a través de la siguiente secuencia (para cada uno de los muestreos):

1. Tamizado del suelo;
2. Incorporación de agua destilada a la muestra, hasta formar una masa semilíquida;
3. Colocación de cinco electrodos resistivos en una bandeja sobre la que se vertió la masa semilíquida de la muestra;
4. Una vez estabilizados los datos del sensor, se tomó la lectura de los parámetros.

3.3. Análisis de los datos

Se hizo un análisis del comportamiento de las variables ambientales para los dos polígonos. Se consideró, para cada uno, un mes de la temporada seca y otro mes de la temporada lluviosa: para el Polígono 1, se consideraron los meses de mayo y noviembre de 2023; para el Polígono 2, octubre de 2023 y marzo de 2024.

Aquellas variables que no presentaron varianza fueron retiradas del análisis, quedando sólo: pH, N, P, K, promedio de la pendiente (Ptprom) y Tratamiento del Cuerpo (TC). Las variables fueron estandarizadas y sometidas a un Análisis de Componentes Principales (ACP), para lo que se utilizó el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

11 En el capítulo “Desenterrando la verdad: Análisis de cambios en la química y compactación del suelo en sitios de inhumación clandestina” se describe a profundidad el método de toma de muestras y valoración de la composición química del suelo. Sobre el sensor de suelo es relevante destacar que no se recurrió a una fase de calibración, por lo que sus valores deben tomarse con reserva.

12 Se midió el nitrógeno total.



Las fosas que no presentaron especies también se removieron del ejercicio. Dado que las matrices presentaron una gran cantidad de valores en cero, es decir, muchas ausencias de especímenes, y para evitar el problema de que las fosas fueran más parecidas por las especies que no comparten que por las que sí, se realizó un suavizado de los datos, lo que se conoce como la transformación Beals¹³ (Beals, 1984). Con la matriz de las especies y las variables ambientales por mes y por polígono, se aplicó una ordenación directa a través de un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) con el software PC-ORD V.7, que sirve para analizar comunidades (McCune y Mefford, 2011). El ACC es una técnica estadística para entender y visualizar la relación entre dos tipos de datos; para el caso, permite la creación de un gráfico que refleja cómo se agrupan las especies en función de las fosas y los valores de las variables en cada una de ellas.

Además, para encontrar un sustento matemático en la fortaleza de la relación entre las especies y el contexto derivado de la descomposición de los cuerpos, la técnica hace uso de la regresión múltiple (McCune y Mefford, 2011) y para probar si hay una relación significativa entre las matrices de las especies y los factores ambientales se utiliza la correlación y la significancia de esta correlación se evalúa a través de la prueba de Monte Carlo: una técnica que utiliza simulaciones aleatorias para evaluar probabilidad.

IV. La vida se abre paso: los hallazgos

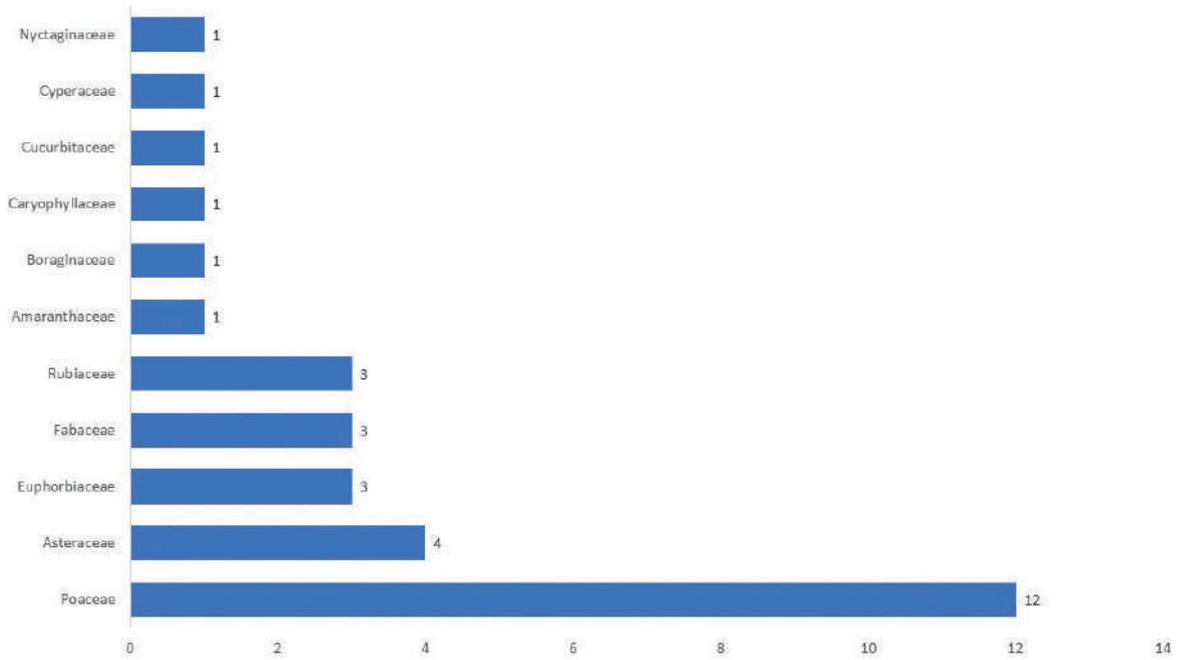
Durante el tiempo de muestreo de la vegetación en el Polígono 1, se registraron 31 especies. F13, el cuerpo incinerado, concentró ligeramente una mayor cantidad de ejemplares. La familia botánica con más registro de especies fue *Poaceae*, con 38.7 % del total (Figura 2). En la visita de mayo de 2023 se registraron 12 especies (Tabla 3), 9 en agosto (Tabla 4), 11 en octubre (Tabla 5) y 16 en noviembre (Tabla 6).

Al confrontar las especies identificadas previamente a la inhumación y las documentadas de forma posterior, se encontró que 77.42 % serían especies pioneras o malezas.

13 Es una técnica matemática que se utiliza para matrices de especies, en las cuales predomina la ausencia de especies y el procedimiento busca quitar el efecto de que los sitios se parezcan más por las especies que no se comparten que por las que comparten.



Figura 2. Riqueza de especies registradas por familia en el Polígono 1



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Tabla 5. Registro de 12 especies en la visita del 11 de mayo de 2023 (Polígono 1)

Especie	Familia	Nombre científico
SP1	Fabaceae	<i>Vachellia farnesiana</i>
SP5	Fabaceae	<i>Astragalus mollissimus</i>
SP7	Boraginaceae	<i>Borago pygmaea</i>
SP10	Poaceae	<i>Chloris barbata</i>
SP11	Poaceae	<i>Chloris virgata</i>
SP14	Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i>
SP15	Poaceae	<i>Distichlis spicata</i>
SP18	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia maculata</i>
SP21	Asteraceae	<i>Lactuca saligna</i>
SP24	Poaceae	<i>Microchloa caffra</i>
SP26	Rubiaceae	<i>Oldenlandia corymbosa</i>
SP27	Poaceae	<i>Panicum hirticaule</i>

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Tabla 6. Registro de 9 especies en la visita del 15 de agosto de 2023 y su localización, según fosa de hallazgo (Polígono 1) y especies dentro del área de estudio, aunque fuera de las fosas. La F1 y F2 corresponden a los tratamientos control.

Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
1	<i>Vachellia farnesiana</i>												1				
3	<i>Ambrosia psilostachya</i>																
11	<i>Chloris virgata</i>													1			
15	<i>Cyperus esculentus</i>																
17	<i>Drymaria viscosa</i>																
18	<i>Echinochloa colonum</i>																



Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
22	<i>Galium verum</i>																
27	<i>Okenia hypogaea</i>																
30	<i>Pectis prostrata</i>													1			

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Nota: debido a complejidades enfrentadas en la sistematización, en algunos casos no fue posible relacionar la especie identificada con alguna inhumación específica.

Tabla 7. Registro de 11 especies en la visita del 10 de octubre de 2023 y su localización, según fosa de hallazgo (Polígono 1). La F1 y F2 corresponden a los tratamientos control.

Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
1	<i>Vachellia farnesiana</i>					1							1				
2	<i>Agrostis gigantea</i>				1												
7	<i>Borago pygmaea</i>					1											
9	<i>Cathestecum brevifolium</i>			1													
11	<i>Chloris virgata</i>					1	1							1		1	1
12	<i>Corispermum sibiricum</i>																
13	<i>Cucumis myriocarpus</i>												1		1	1	
14	<i>Cynodon dactylon</i>		1										1		1		
20	<i>Euphorbia polycarpa</i>													1			
25	<i>Melinis repens</i>			1													
29	No identificada													1			
30	<i>Pectis prostrata</i>	1	1				1	1									1

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Nota: debido a complejidades enfrentadas en la sistematización, en algunos casos no fue posible relacionar la especie identificada con alguna inhumación específica.

Tabla 8. Registro de 16 especies en visita del 6 de noviembre de 2023 y su localización, según fosa de hallazgo (Polígono 1) y especies dentro del área de estudio, aunque fuera de las fosas. La F1 y F2 corresponden a los tratamientos control.

Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
1	Vachellia farnesiana																
2	Agrostis gigantea																
3	Ambrosia psilostachya																
4	Astragalus micranthus													1			
5	Astragalus mollissimus																
6	Boeberastrum anthemidifolium													1			
7	Borago pygmaea																
8	Borreria spinosa																
9	Cathestecum brevifolium																
10	Chloris barbata																
11	Chloris virgata		1					1									
12	Corispermum sibiricum	1															
13	Cucumis myriocarpus																
14	Cynodon dactylon				1			1						1			
24	Leptochloa fusca																
30	Pectis prostrata				1			1						1			

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

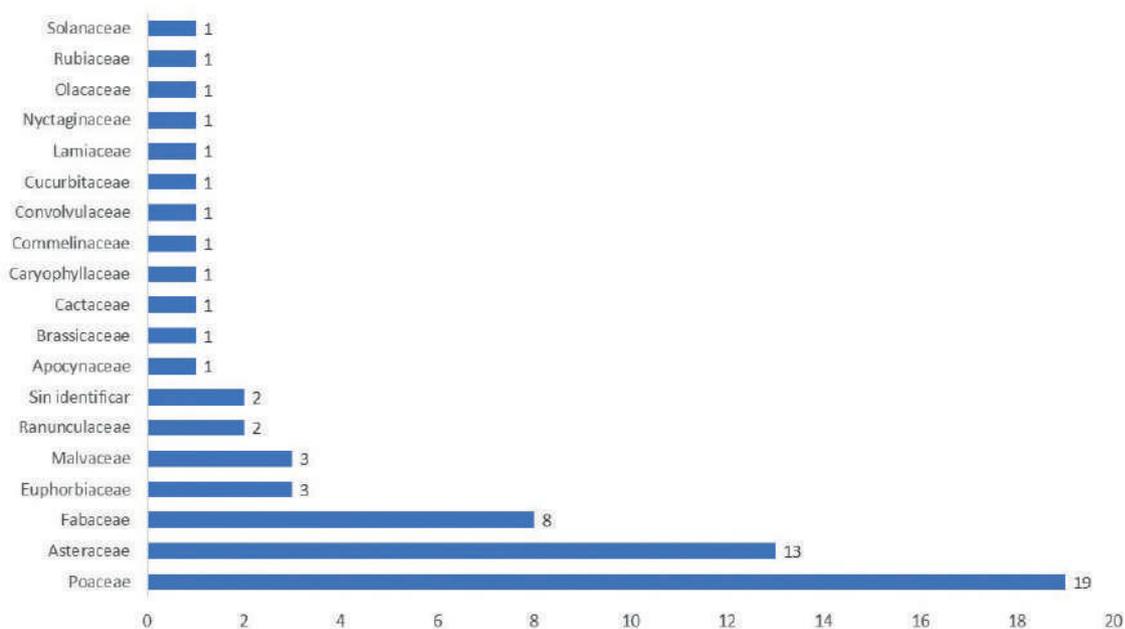
Nota: debido a complejidades enfrentadas en la sistematización, en algunos casos no fue posible relacionar la especie identificada con alguna inhumación específica.

En el Polígono 2 se encontraron 62 especies, durante cinco tiempos de muestreo. Particularmente, el 27 de octubre de 2023 se identificó la mayor cantidad de especies, principalmente asociadas a F16, es decir, al porcino cubierto con cal. En los trabajos de campo subsecuentes, realizados en el sitio, la flora se diversificó entre las distintas excavaciones (Tabla 7 a Tabla 11).



De forma similar al comportamiento de Polígono 1, la familia *Poaceae* acumuló la proporción más elevada de la flora registrada, con 30.6 % del total. En cuanto al comportamiento de especies pioneras se registró que, 91.94 % de las plantas detectadas, son de clases diferentes a las que existían antes del inicio del experimento (Figura 3).

Figura 3. Frecuencia de especímenes totales localizados en Polígono 2, según familia de pertenencia



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Nota: debido a complejidades enfrentadas en la sistematización, en algunos casos no fue posible relacionar la especie identificada con alguna inhumación específica.

Tabla 9. Registro de 20 especies en la visita del 7 de septiembre de 2023 (Polígono 2)

Especie	Familia	Nombre científico
SP1	Malvaceae	Heliocarpus sp
SP3	Fabaceae	Vachellia farnesiana
SP6	Asteraceae	Ambrosia peruviana
SP8	Asteraceae	Bidens pilosa
SP9	Fabaceae	Chamaecrista nictitans
SP12	Asteraceae	Chromolaena odorata
SP13	Commelinaceae	Commelina erecta
SP14	Asteraceae	Cosmos caudatus
SP27	Euphorbiaceae	Euphorbia heterophylla
SP29	Fabaceae	Eysenhardtia polystachya
SP31	Asteraceae	Galeana pratensis
SP35	Fabaceae	Macroptilium atropurpureum
SP36	Malvaceae	Malvastrum hispidum
SP37	Asteraceae	Melampodium divaricatum
SP38	Poaceae	Melinis repens
SP42	Poaceae	Pennisetum setaceum
SP44	Sin identificar	Sin identificar
SP53	Solanaceae	Solanum rostratum
SP58	Poaceae	Tridens flavus
SP59	Asteraceae	Xanthium strumarium

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.



Tabla 10. Registro de 13 especies en la visita del 27 de octubre de 2023 y su localización, según inhumación de hallazgo (Polígono 2) y especies dentro del área de estudio (y fuera de las fosas). La F1 y F2 corresponden a los tratamientos control

Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
1	<i>Heliocarpus</i> sp.																1
3	<i>Vachellia farnesiana</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	<i>Anastatica hierochuntica</i>	1			1				1				1				
12	<i>Chromolaena odorata</i>																1
19	<i>Dactyloctenium aegyptium</i>					1				1	1	1	1				1
20	<i>Desmodium tortuosum</i>																
21	<i>Desmostachya bipinnata</i>	1	1			1		1	1	1	1	1	1			1	1
23	<i>Echinochloa colonum</i>	1			1												
26	<i>Euphorbia chamaesyce</i>																1
38	<i>Melinis repens</i>			1		1	1		1			1	1	1	1	1	1
41	<i>Pectis prostrata</i>							1		1	1	1					1
42	<i>Pennisetum setaceum</i>					1	1	1		1				1		1	
51	<i>Sicyos deppei</i>					1			1				1				

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Tabla 11. Registro de 7 especies en la visita del 9 de noviembre de 2023 y su localización, según inhumación de hallazgo (Polígono 2) y especies dentro del área de estudio (y fuera de las fosas). La F1 y F2 corresponden a los tratamientos control

Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
3	<i>Vachellia farnesiana</i>				1	1		1								1	1
7	<i>Anastatica hierochuntica</i>																
21	<i>Desmostachya bipinnata</i>																
23	<i>Echinochloa colonum</i>						1		1	1	1	1	1	1	1		
24				1													
25	<i>Eriophyllum lanatum</i>																
26	<i>Euphorbia chamaesyce</i>																
30				1													
31	<i>Galeana pratensis</i>			1													

Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
37	Melampodium divaricatum		1	1													
38	Melinis repens																

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Tabla 12. Registro de 7 especies en la visita del 17 de enero de 2024 y su localización, según inhumación de hallazgo (Polígono 2) y especies dentro del área de estudio (y fuera de las fosas). La F1 y F2 corresponden a los tratamientos control

Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
3	Vachellia farnesiana				1												1
10	Chloris halophila	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1					
48	Sagina procumbens																
53	Solanum rostratum																
54	Sporobolus alopecuroides													1	1	1	
57	Tricholaena monachne																
60	Ximenia parviflora																

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Tabla 13. Registro de 15 especies en la visita del 3 de marzo de 2024 y su localización, según inhumación de hallazgo (Polígono 2) y especies dentro del área de estudio (y fuera de las fosas). La F1 y F2 corresponden a los tratamientos control

Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
2	Abronia fragrans																
3	Vachellia farnesiana	1									1		1				
5	Alopecurus pratensis				1												
11	Chloris radiata		1														
17	Cymbopogon marginatus						1										
18	Digitaria sanguinalis			1								1			1		
24	Erioneuron pilosum																



Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
40	Opuntia ficusindica					1											
43	Phagnalon saxatile															1	
45	Prosopis glandulosa																
46	Ranunculus acris													1			
49	Seteria adhaerens											1					
50	Cenchrus echinatus		1														
54	Sporobolus alopecuroides				1		1										
61	Sin identificar	1															

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

4.1. Resultados del análisis de los suelos

Los diferentes muestreos de N,P,K y pH en ambos polígonos de experimentación — en conjunto con los valores de promedio de la pendiente (Ptprom) y Tratamiento del Cuerpo (TC) de las inhumaciones— presentaron los siguientes valores¹⁴. Se presentan únicamente los valores registrados para los meses de mayo y noviembre de 2023 para el polígono 1 y octubre de 2023 y marzo de 2024 para el polígono 2, que fueron los que se utilizaron en los análisis multivariados (Tablas 14-17).

14 Para la lectura de las tablas de este apartado debe entenderse: SC = sin cuerpo, CC = con cuerpo completo, CS = cuerpo seccionado, CL = cuerpo con cal, CSB = cuerpo seccionado en bolsa, CB = cuerpo completo en bolsa, CCO = cuerpo en cobija, CCA = cuerpo calcinado, RE = reducción esquelética. Las celdas que se marcan “sin dato” corresponden a muestras con características insuficientes para el uso del sensor (debido a alta cantidad de rocas, por ejemplo).

Tabla 14. Resultados de muestreo 11 de mayo de 2023. Polígono 1

	pH	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Pendiente (PT)	Tratamiento de Cuerpo (TC)
F1	7.24	7	10	20	0.57° - 1.15°	SC
F2	6.8	17	25	50	0.57° - 1.15°	SC
F3	6.75	9	13	26	0 - 0.57°	CC
F4	6.86	12	18	36	0 - 0.57°	CC
F5	6.67	1	1	3	1.15° - 2.86°	CS
F6	6.88	16	22	46	0 - 0.57°	CS
F7	6.82	11	16	32	0 - 0.57°	CL
F8	6.78	3	5	11	1.15° - 2.86°	CL
F9	6.8	7	10	20	0 - 0.57°	CSB
F10	7	26	36	72	0.57° - 1.15°	CB
F11	6.88	7	10	21	0 - 0.57°	CCO
F12	7.7	11	15	31	0.57° - 1.15°	CCO
F13	6.75	1	2	5	1.15° - 2.86°	CCA
F14	7	24	33	67	0.57° - 1.15°	CCA
F15	6.73	19	27	54	0.57° - 1.15°	RE
F16	7.6	17	24	48	0.57° - 1.15°	RE

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Tabla 15. Resultados de muestreo 6 de noviembre de 2023. Polígono 1

	pH	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Pendiente (PT)	Tratamiento de Cuerpo (TC)
F1	6.7	42	59	119	0.57° - 1.15°	SC
F2	7.8	43	60	120	0.57° - 1.15°	SC
F3	7.79	43	60	121	0 - 0.57°	CC
F4	7.79	30	42	86	0 - 0.57°	CC
F5	7.76	42	59	119	1.15° - 2.86°	CS
F6	7.8	24	34	69	0 - 0.57°	CS

	pH	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Pendiente (PT)	Tratamiento de Cuerpo (TC)
F7	7.84	18	25	50	0 - 0.57°	CL
F8	7.81	43	61	122	1.15° - 2.86°	CL
F9	6.61	21	30	60	0 - 0.57°	CSB
F10	7.78	21	29	58	0.57° - 1.15°	CB
F11	7.81	26	36	72	0 - 0.57°	CCO
F12	7.85	31	44	88	0.57° - 1.15°	CCO
F13	7.8	26	37	72	1.15° - 2.86°	CCA
F14	7.78	56	79	158	0.57° - 1.15°	CCA
F15	7.76	30	43	86	0.57° - 1.15°	RE
F16	7.86	139	198	361	0.57° - 1.15°	RE

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Tabla 16. Resultados de muestreo 6 de octubre de 2023. Polígono 2

	pH	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Pendiente (PT)	Tratamiento de Cuerpo (TC)
F1	7	43	61	120	1.15° - 2.86°	SC
F2	7	43	61	123	1.15° - 2.86°	SC
F3	6.7	65	100	200	1.15° - 2.86°	CC
F4	6.89	40	60	120	0.57° - 1.15°	CC
F5	8.2	44	61	123	1.15° - 2.86°	CL
F6	6.76	43	60	120	1.15° - 2.86°	CL
F7	7.33	44	62	124	1.15° - 2.86°	CSB
F8	7.35	40	60	122	0.57° - 1.15°	CSB
F9	6.85	66	94	189	1.15° - 2.86°	CP
F10	7	123	176	354	1.15° - 2.86°	CP
F11	6.83	100	142	282	1.15° - 2.86°	CM
F12	7.5	44	62	124	1.15° - 2.86°	CM

	pH	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Pendiente (PT)	Tratamiento de Cuerpo (TC)
F13	7.73	42	58	119	1.15° - 2.86°	CC
F14	7.82	68	97	196	1.15° - 2.86°	CSB
F15	6.82	55	77	155	1.15° - 2.86°	CS
F16	6.78	97	132	276	1.15° - 2.86°	CL

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Tabla 17. Resultados de muestreo 15 de marzo de 2024. Polígono 2

	pH	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Pendiente (PT)	Tratamiento de Cuerpo (TC)
F1	6.76	43	61	122	1.15° - 2.86°	SC
F2	6.82	70	111	226	1.15° - 2.86°	SC
F3	6.82	70	95	191	1.15° - 2.86°	CC
F4	7	86	122	251	0.57° - 1.15°	CC
F5	7.28	101	145	291	1.15° - 2.86°	CL
F6	6.87	62	87	173	1.15° - 2.86°	CL
F7	7	42	60	120	1.15° - 2.86°	CSB
F8	7	43	60	122	0.57° - 1.15°	CSB
F9	6.87	62	87	173	1.15° - 2.86°	CP
F10	7	78	111	222	1.15° - 2.86°	CP
F11	7	64	92	186	1.15° - 2.86°	CM
F12	7	43	61	123	1.15° - 2.86°	CM
F13	6.86	43	61	123	1.15° - 2.86°	CC
F14	7	42	59	150	1.15° - 2.86°	CSB
F15	7	44	62	124	1.15° - 2.86°	CS
F16	7	44	61	123	1.15° - 2.86°	CL

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.



El establecimiento de las especies descritas, y su vinculación con los resultados de N, P, K, pH, Tratamiento del Cuerpo (TC) así como el valor promedio de la pendiente (Ptprom)¹⁵, presentó particularidades demostradas a través de las valoraciones arrojadas por el ACP y el ACC. Con éstas, se logró acotar la incidencia del medio en la presencia y ausencia de las especies de flora.

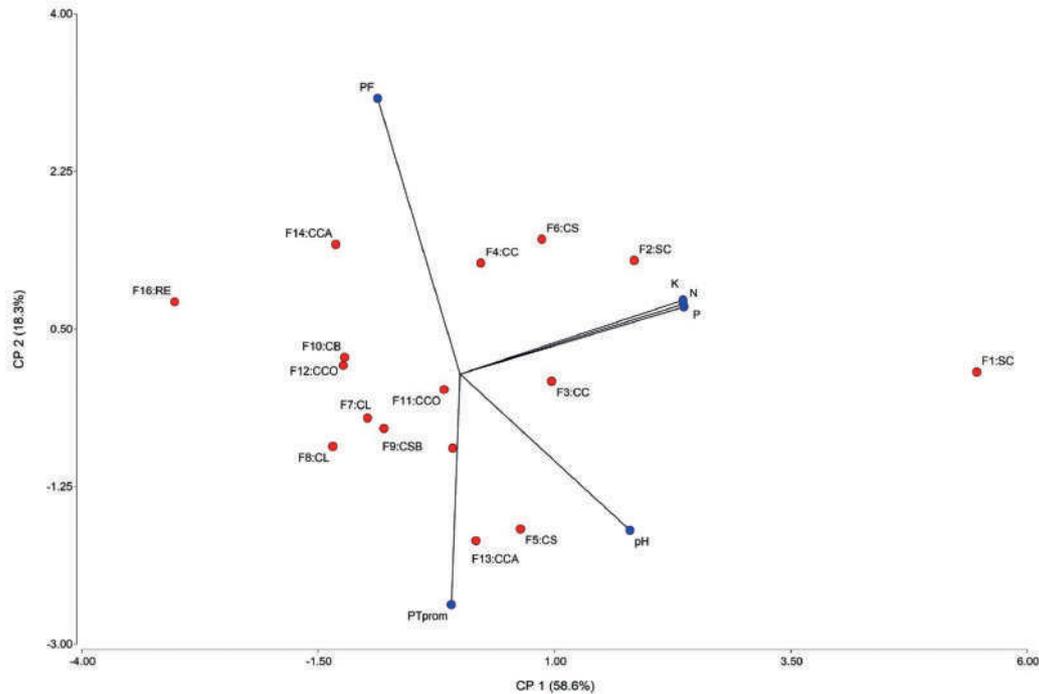
4.2. El medio y las especies, ¿vinculados?

El análisis de componentes principales para el Polígono 1, para los datos de mayo de 2023, presentó un gradiente de los elementos N, P y K, los cuales registraron sus mayores valores en F1, F2, F3 y F6 (sin cuerpo, cuerpo completo y porcino seccionado). Mientras que los valores más bajos de estos elementos se encontraron en F16, F14 y F8: reducción esquelética, cuerpo calcinado y porcino cubierto con cal. En lo que respecta a pH, las concentraciones más elevadas se detectaron en las mayores pendientes¹⁶ (Figura 4). Estas características químicas del suelo representan la condición ambiental previa al efecto del depósito de las inhumaciones.

15 Es decir, se obtuvo el promedio de la variable Pendiente (PT), descrita en las tablas que acompañan los parámetros químicos.

16 La varianza extraída por los dos primeros ejes fue 77%; el primero extrajo 59%; el segundo, 18%. La varianza es una medida estadística que habla sobre qué tanto se dispersan los valores en un conjunto de datos: si hay valores similares, la varianza será baja, caso contrario cuando hay disparidades relevantes en éstos.

Figura 4. Variables ambientales y su distribución en función de las fosas y los tratamientos de los cuerpos para mayo de 2023



Fuente: elaboración propia.

Nota. SC = sin cuerpo, CC = con cuerpo completo, CS = cuerpo seccionado, CL = cuerpo con cal, CSB = cuerpo seccionado en bolsa, CB = cuerpo completo en bolsa, CCO = cuerpo en cobija, CCA = cuerpo calcinado, RE = reducción esquelética.

Los datos de noviembre de 2023, para el mismo Polígono 1¹⁷, mostraron que F16 y F14 (con reducción esquelética y cuerpo calcinado) contaba con los valores más altos de los tres elementos; en contraparte, los menores se encontraron en F7 y F9 (cuerpo con cal y seccionado en bolsa). Ésta última fosa, junto a la excavación F1 de control, exhibieron los menores pH (Figura 5). La F1 y F2 SC en la condición inicial contaban con los mayores valores de N, P,

17

Los dos primeros ejes explicaron 75% de la varianza de los datos; el primero extrajo 54% y el segundo, 21%.

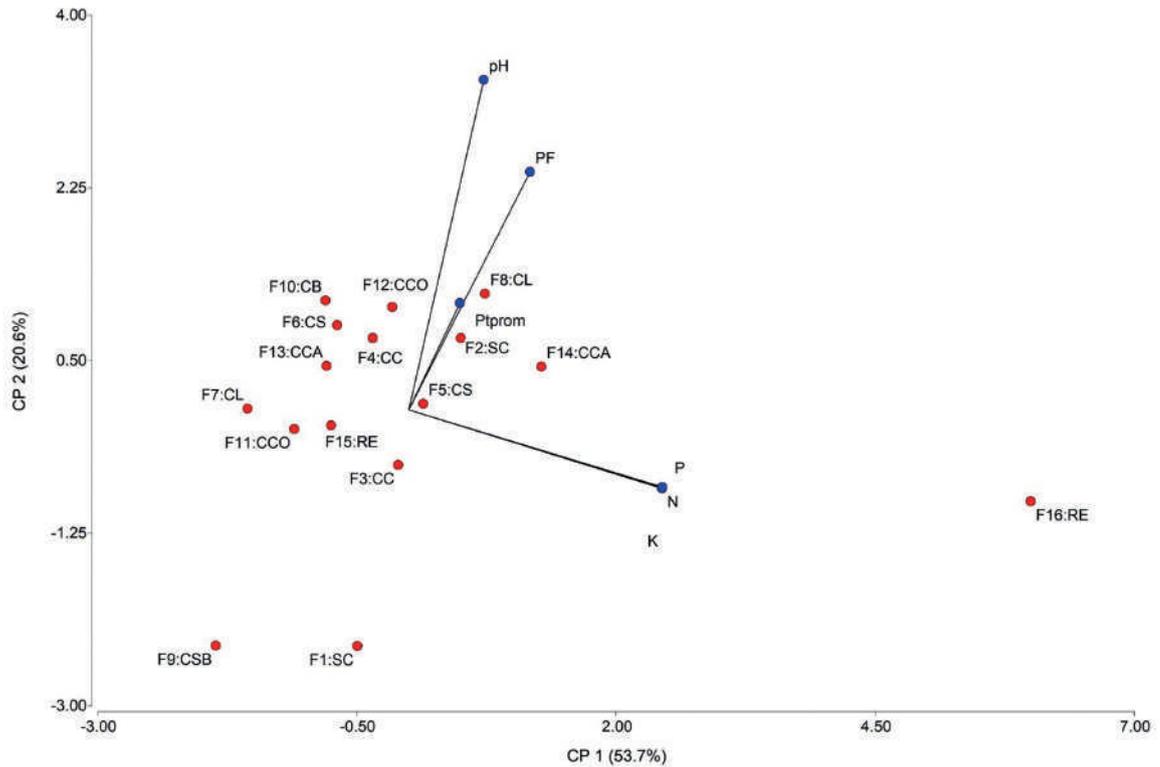
K, pero para noviembre del mismo año, los valores de los parámetros quedaron por debajo de fosas con inhumaciones, lo que es un indicativo de un efecto en el incremento de estos elementos por el efecto de la descomposición de los cuerpos que no se tuvo en las fosas de control (Figura 4 y 5).

La F7 y F9, en cuerpos con cal y seccionado en bolsa, registraron los valores más bajos de N, P y K, lo que indica que mientras estos elementos se incrementaron en otros tratamientos, en F7 y F9 se mantuvieron con muy ligero cambio. Al compararlos con otros tratamientos, que tuvieron incremento, quedaron por debajo de ellos (Figura 4 y 5).

Ya ha sido documentado en otras investigaciones que, en el caso de la cal, esta anula parcialmente los efectos del ambiente general del suelo y retrasa la descomposición de los cuerpos (Schotsman et al., 2014). En el caso del cuerpo seccionado y encerrado en bolsa, se espera que también tenga un retraso en su descomposición, pues se sabe que cadáveres en ambientes encerrados tienen una descomposición más lenta (Janaway, 2008).



Figura 5. Variables ambientales y su distribución en función de las fosas y tratamiento de los cuerpos para noviembre de 2023



Fuente: elaboración propia.

Nota. SC = sin cuerpo, CC = con cuerpo completo, CS = cuerpo seccionado, CL = cuerpo con cal, CSB = cuerpo seccionado en bolsa, CB = cuerpo completo en bolsa, CCO = cuerpo en cobija, CCA = cuerpo calcinado, RE = reducción esquelética.

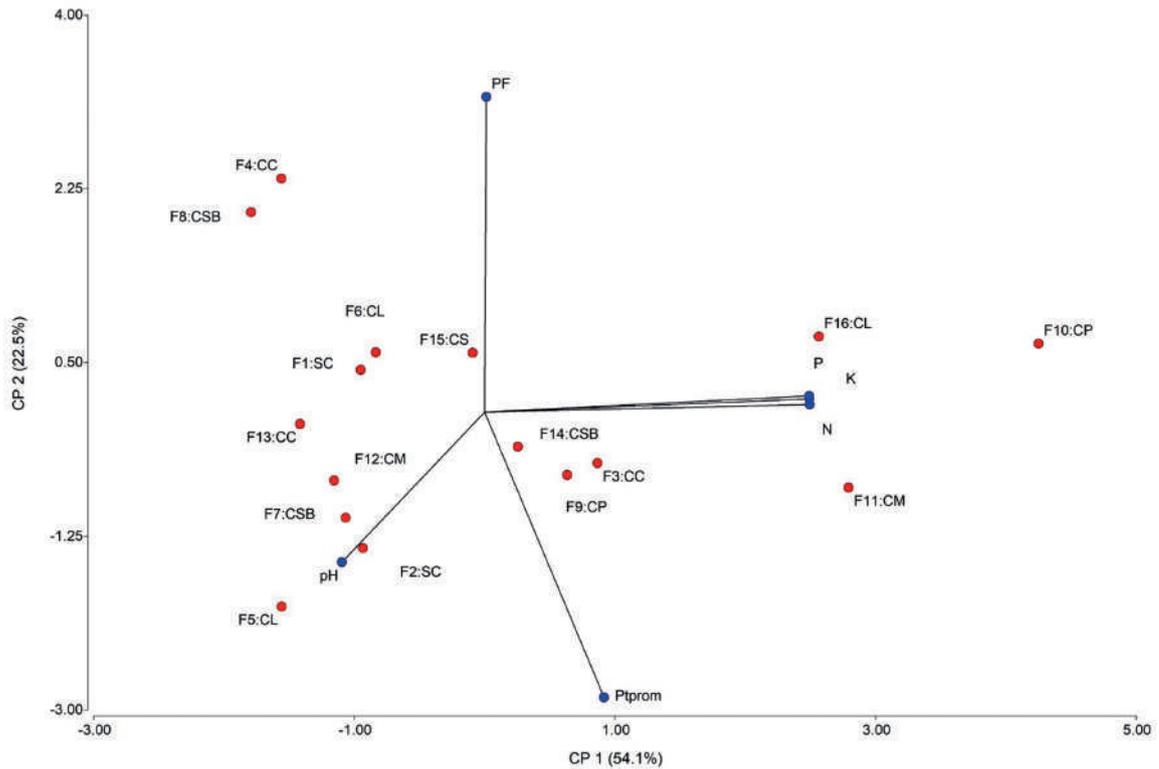
En cuanto al Polígono 2 (Cajititlán), con los datos de octubre de 2023, a través del ACP se encontró que las fosas relacionadas con los mayores valores de N, P y K fueron la F10, F11 y F16: es decir, cuerpo con piedras, con cemento y con cal¹⁸. Por su parte, los niveles más elevados de pH se encontraron en F5, F2 y F7 — porcinos con cal, fosa de control y cuerpo seccionado y en bolsa, respectivamente.

Las variaciones se encontraron influidas en función de la profundidad de las inhumaciones, así como del aumento de la pendiente del terreno (Figura 6). Es de considerarse que la información química de los suelos para octubre de 2023, debe de representar la condición inicial de las características del suelo, pues el análisis se realizó a menos de un mes de haber realizado las inhumaciones y ya se ha registrado que los mayores cambios en la composición química del suelo podrían darse hacia los seis meses y permanecer por varios años (Macdonald et al., 2014; Fancher et al., 2017).

18 77% de la varianza de los datos se encontró en los primeros dos ejes: del primero se extrajo 54% y, del segundo, 23%. Las variables de mayor peso en la formación de la primera dimensión fueron el N, P, K en forma positiva y el pH en forma negativa.



Figura 6. Variables ambientales y su distribución en función de las fosas y tratamiento de los cuerpos para octubre de 2023



Fuente: elaboración propia.

Nota. SC = sin cuerpo, CC = con cuerpo completo, CS = cuerpo seccionado, CL = cuerpo con cal, CSB = cuerpo seccionado en bolsa, CB = cuerpo completo en bolsa, CP= cuerpo con piedra, CM = cuerpo con cemento.

La información del ACP de marzo 2024, también de Polígono 2, reflejó los valores más altos de N, P y K en F5, F4, F10 y F2, correspondientes a porcino inhumado con cal, cuerpo completo, cuerpo con piedras y sin cuerpo, respectivamente. En contraste, las concentraciones menores

se detectaron en F1 y F13: fosa sin cuerpo y con cuerpo completo. En cuanto a pH, tanto F4 como F10, cuerpo completo y cuerpo con piedras, mostraron los valores más elevados.¹⁹

La F10 con cuerpo con piedra, en octubre de 2023, fue la que presentó los valores mayores de N, P y K, con una disminución para marzo de 2024, pero a pesar de ello se colocó entre las fosas con mayor contenido de nutrimentos (Figura 6 y 7).

La disminución en sus concentraciones podría atribuirse a que muy posiblemente el contenido de sus nutrimentos tenga una manifestación mayor hacia la parte baja del cadáver (que se estableció a 1 metro de profundidad) y no se manifiesta un enriquecimiento sustancial hacia la parte superior del cadáver, sobre todo a las profundidades que fueron tomadas las muestras de suelo para análisis.

Lo anterior encuentra fundamento en que la F13 con cuerpo completo, también a 1 metro de profundidad, no cambió en sus contenidos de N, P y K para marzo de 2024, seis meses después de haberse realizado la inhumación, muy posiblemente el mismo efecto de que la profundidad a la que se tomó la muestra de suelo no tuvo impacto de la descomposición del cadáver (Figura 6 y 7): hay investigaciones que ya han encontrado que la deposición de los cadáveres tiene un mayor efecto hacia la parte baja del mismo (Carter et al., 2007; Fancher et al., 2017; DeBruyn et al., 2021) y su influencia hacia la parte superior puede estar limitada a pocos centímetros, además de que a mayor profundidad del entierro la descomposición parece ralentizarse (Janaway, 2008).

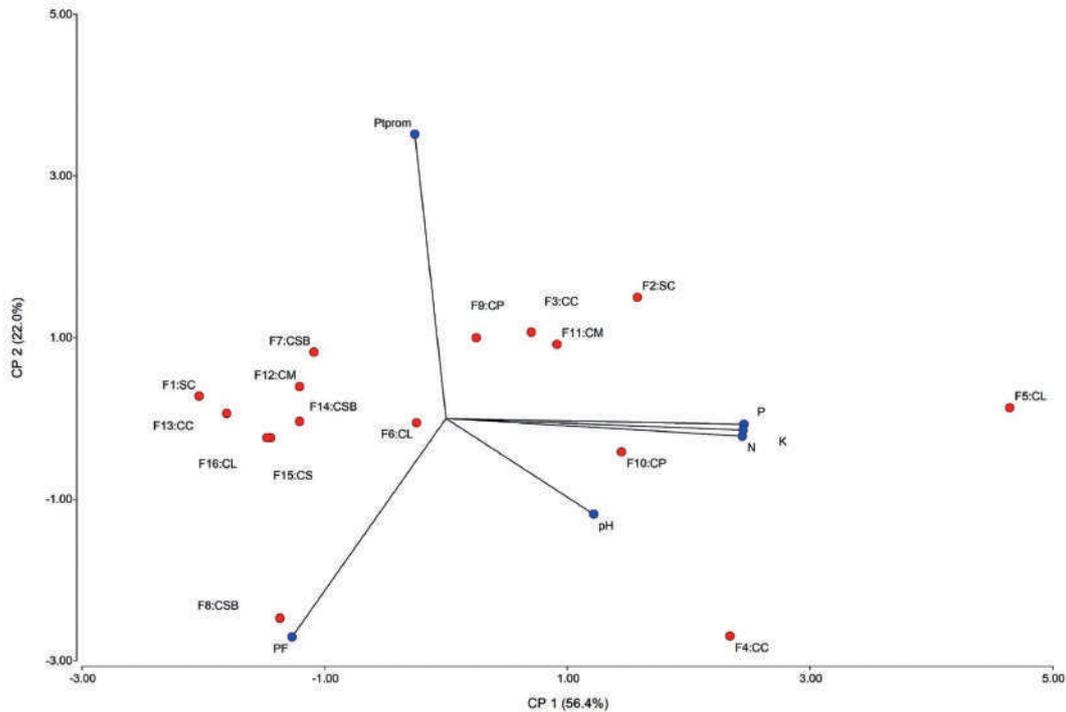
Los incrementos observados en N, P y K en la F5, cuerpo con cal, podrían atribuirse a que la inhumación se realizó a menos profundidad y que el efecto retardador de la cal sobre la descomposición del cadáver (Schotsman et al., 2014), está apenas permitiendo la mayor manifestación de los elementos en el ambiente del suelo en esa fosa.

La F1, sin cuerpo, que sirvió de control, no tuvo cambios en sus contenidos de N, P y K, pero en las dos ordenaciones, octubre de 2023 y marzo de 2024, pareciera haber perdido concentración de los elementos, lo cual se debe a que como las otras fosas ganaron valor en las concentraciones de N, P y K, quedaron en el componente 1 más a la derecha que la F1 (Figura 5 y 6).

19 El ACP obtuvo, en los dos primeros ejes, 78% de la varianza de los datos. El primer eje extrajo el 56% y estuvo asociado en forma positiva con el N, P, K y el pH.



Figura 7. Variables ambientales y su distribución en función de las fosas y tratamiento de los cuerpos para marzo de 2024



Fuente: elaboración propia.

Nota. SC = sin cuerpo, CC = con cuerpo completo, CS = cuerpo seccionado, CL = cuerpo con cal, CSB = cuerpo seccionado en bolsa, CB = cuerpo completo en bolsa, CP= cuerpo con piedra, CM = cuerpo con cemento.

El Análisis de Correspondencia Canónica mostró que existe una correlación significativa entre la matriz de las especies y la matriz ambiental ($r = 0.92$) y la prueba de Monte Carlo obtuvo una $p = 0.02$ para Polígono 2. Así, podría interpretarse un efecto de las variables del ambiente sobre la presencia de las especies que no se debe al azar (Figura 8). De esta forma, se detectaron 16 especies específicas relacionadas con el contexto de degradación de los cuerpos depositados en el espacio de experimentación forense.

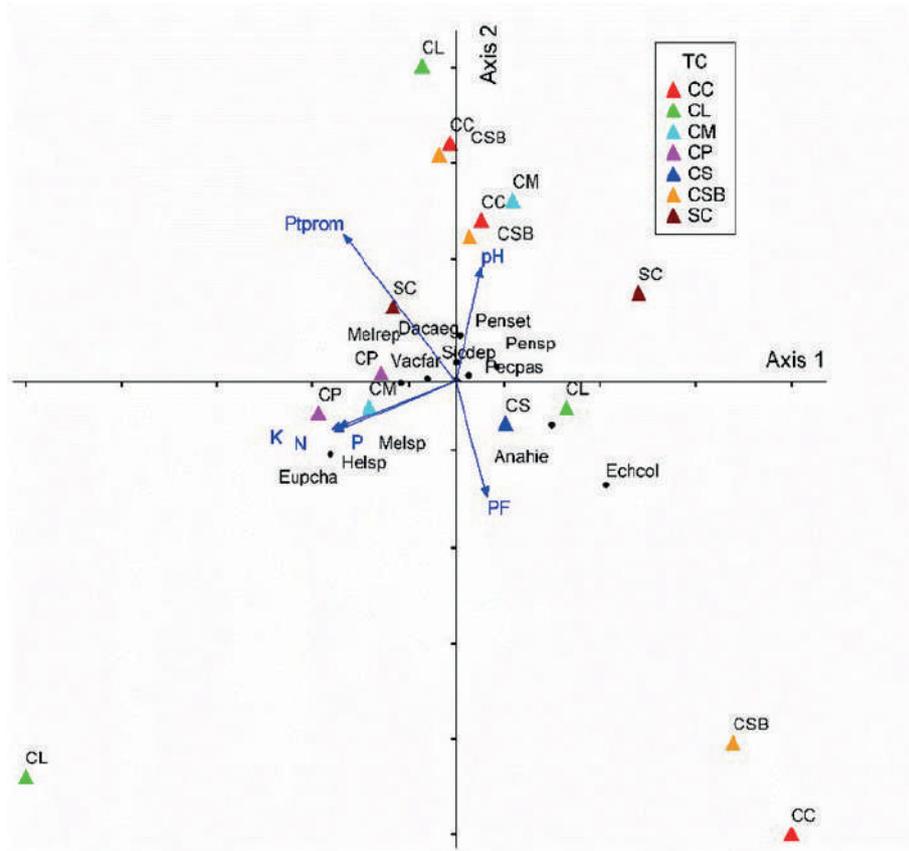
El Análisis de Correspondencia Canónica con los datos de la época de lluvias²⁰, encontró que los mayores valores de N, P y K se registraron para las fosas que contienen cuerpos con piedras y con cemento, a mayor profundidad.

Las especies de plantas que parecen estar ligadas con estas condiciones son *Melampodium* sp, *Heliocarpus* sp, y *Euphorbia chamaesyce*. Mientras que *Anastatica hierochuntica* y *Echinochloa colona* mostraron preferencia por las fosas de mayor profundidad con menores niveles de pH; también por las excavaciones en las que no se inhumó cuerpo, se depositó con bolsa, con cal o donde hubo menos concentración de N, P y K (Figura 8).

Es de considerar que la relación encontrada entre las fosas y las especies, podría deberse a las condiciones iniciales que presentaban los suelos, previo a las inhumaciones, ya que a menos de 1 mes aún no se esperarían un efecto marcado derivado de la descomposición de los cuerpos (que generalmente se identifica hasta cerca o después de los seis meses del establecimiento de los cadáveres (Macdonald et al., 2014)). Para este conjunto de datos, podría ser que sea la remoción del suelo sea la variable de más peso que este influyendo en la presencia de las especies y aún no a cambios en la composición química del suelo.

20 Para octubre de 2023, el CCA obtuvo que los tres primeros ejes explicaron 65.2% de la varianza de los datos; el 1 explicó 50.1 %; el 2, 11.8 %; y el 3, 3.2%.

Figura 8. Biplot en el que se muestra la relación de las variables ambientales con las fosas y las especies para el Polígono 2, para el mes de octubre de 2023



Fuente: elaboración propia.

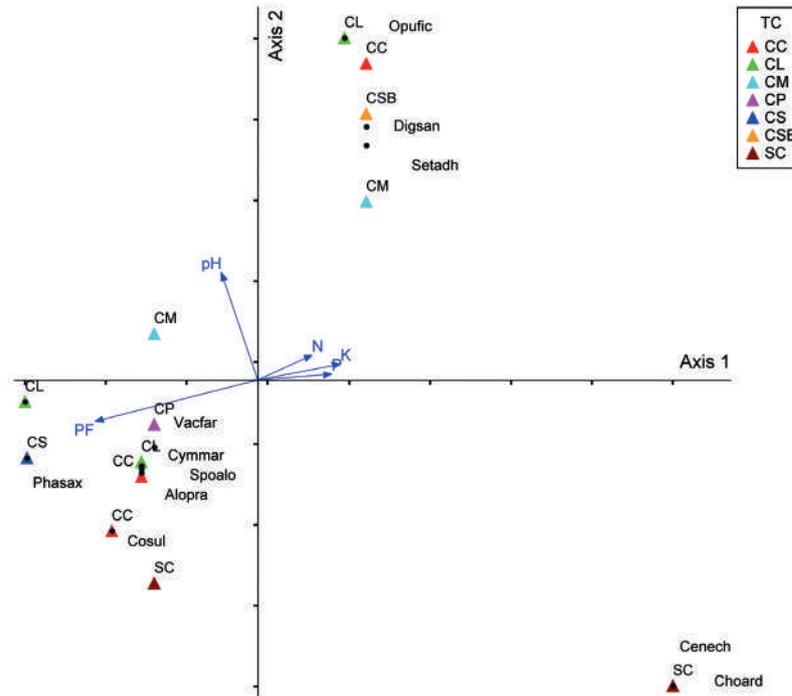
Nota. SC = sin cuerpo, CC = con cuerpo completo, CS = cuerpo seccionado, CL = cuerpo con cal, CSB = cuerpo seccionado en bolsa, CB = cuerpo completo en bolsa, CB = cuerpo con piedra, CM = cuerpo con cemento. Anahie = *Anastatica hierochuntica*, Daccaeg = *Dactyloctenium aegyptium*, Echcol = *Echinochloa coloum*, Eupcha = *Euphorbia chamaesyce*, Helsp = *Heliocarpus* sp., Melrep = *Melinis repens*, Melsp = *Melampodium* sp., Pectas = *Pectis prostrata*, Penset = *Pennisetum setaceum*, Sicdep = *Sicyos deppei*, Vacfar = *Vachellia farnesiana*.

El Análisis de Correspondencia Canónica entre las variables químicas del suelo y las especie registradas para marzo de 2024, mostró una correlación de 1 entre las variables ambientales y las especies para el eje 1, aunque la prueba de Monte Carlo registró una $p = 0.07$. Se encontró que la variable de mayor peso fue la profundidad de la excavación. Así, las inhumaciones a mayor profundidad con porcino con cal, cuerpo seccionado, cuerpo completo, sin cuerpo y cuerpo con piedra, favorecieron la presencia de *Phagnalon saxatile*, *Cosmos sulfureus*, *Alopecurus pratensis*, *Sporobolus alopecuroides*, *Cymbopogon marginatus* y *Vachellia farnesiana*.

La presencia de *Setaria adhaerens*, *Digitaria sanguinalis* y *Opuntia ficusindica* se relacionaron con mayores concentraciones de N, P, K y pH, en fosas con cuerpos con cemento, seccionados en bolsa, cuerpo completo y cuerpo con cal; mientras que *Cenchrus echinatus* y *Chloris radiata* tuvo relación con la fosa sin cuerpo y con mayor concentración de N, P y K (Figura 9).



Figura 9. Biplot en el que se muestra la relación de las variables ambientales con las fosas y las especies para el Polígono 2, para el mes de marzo de 2024



Fuente: elaboración propia.

Nota. SC = sin cuerpo, CC = con cuerpo completo, CS = cuerpo seccionado, CL = cuerpo con cal, CSB = cuerpo seccionado en bolsa, CB = cuerpo completo en bolsa, CB = cuerpo con piedra, CM = cuerpo con cemento. Alopra = *Alopecurus pratensis*, Cenech = *Cenchrus echinatus*, Choard = *Chloris radiata*, Cosul = *Cosmos sulfureus*, Cymmar = *Cymbopogon marginatus*, Digsan = *Digitaria sanguinalis*, Opufic = *Opuntia ficusindica*, Phasax = *Phagnalon saxatile*, Setadh = *Setaria adhaerens*, Spoalo = *Sporobolus alopecuroides*, Vacfar = *Vachellia farnesiana*.

Es de considerar que, aunque los resultados presentados, podrían reflejar una respuesta de las especies a la modificación del ambiente, éstos deben ser interpretados con cautela, pues se reitera que, hay investigaciones que indican que un efecto marcado de la modificación

del ambiente por la inhumación de cadáveres, en las especies vegetales, se expresa 12 meses o más después de realizadas las inhumaciones (Barton, 2016).

La relación de la modificación de los factores ambientales producto de las inhumaciones en el Polígono 1, y su vinculación con especies de plantas vasculares, no fue factible, debido a la escasez de especies vegetales registradas: los resultados obtenidos con la ordenación no obtuvieron estabilidad.

V. Conclusiones y recomendaciones

Los resultados presentados en este capítulo deben ser tomados como preliminares, ya que el tiempo de establecimiento de las fosas aún es corto. De acuerdo con algunas investigaciones, los efectos notorios del ambiente sobre las especies vegetales podrían darse después de un 12 meses de las inhumaciones y, su efecto, podría durar por varios años. Por lo cual, sería necesario continuar con los muestreos por más tiempo y, posteriormente, realizar la búsqueda de patrones de respuesta de las especies.

En ambos polígonos de experimentación, la principal familia botánica identificada fue *Poaceae*: los especímenes de esta categoría representan una tercera parte del total de la flora localizada (38.7 % en Polígono 1; 30.6 % en Polígono 2). Su presencia resulta compatible con la literatura existente, respecto a la ventaja que obtienen ante la acumulación de N.

El Análisis de Correspondencia canónica, así como las valoraciones estadísticas y probabilísticas mostraron, para el Polígono 2, una relación significativa entre el crecimiento de especies y las condiciones ambientales vinculadas con los procesos de degradación y excavación. En contraste, las estimaciones alcanzadas para el Polígono 1 no resultaron relevantes.

A partir de la perspectiva matemática, en el Polígono 2, se determinaron 16 especies que podrían estar inducidas por las concentraciones de N, P, K y pH, y/o bien, por la profundidad y remoción de la tierra (Tabla 18 y Figura 10).

Un dato relevante, que además resulta congruente con los antecedentes de sistematización de botánica forense en Jalisco, es la presencia de especies pioneras en ambos sitios de experimentación. En Polígono 1, se detectó que 77.42 % de las especies documentadas no se encontraban de forma previa a la inhumación. En el caso del Polígono 2, el porcentaje de esta



situación es aún mayor: 91.94 %. No obstante, el dato debe entenderse con reserva, dado que el registro de especies originales se realizó en una única temporada del año.

Entender, e interpretar de forma objetiva, el comportamiento de las especies, representa una de las posibilidades más relevantes para el conocimiento forense. Leer su crecimiento resulta una de las herramientas más accesibles para la identificación de excavaciones clandestinas, en donde víctimas de desaparición permanecen inhumadas. La flora, abriéndose paso, trasciende a partir de quienes perdieron la vida para tornarse en una huella.

En el rastro que le retorne a casa.

Tabla 18. Especies de Polígono 2 y variables de probable inducción²¹

Especie	Familia	Factores ambientales	Tratamiento de cuerpo	Profundidad de inhumación
Melampodium sp	Asteraceae	Concentración de N, P y K	Cuerpos con piedras, cuerpo con cemento	Mayor profundidad
Heliocarpus sp	Malvácea	Concentración de N, P y K	Cuerpos con piedras, cuerpo con cemento	Mayor profundidad
Euphorbia chamecrista	Euforbiácea	Concentración de N, P y K	Cuerpos con piedras, cuerpo con cemento	Mayor profundidad
Anastatica hierochuntica	Brassicaceae	Bajos niveles en pH	Sin cuerpo, cuerpos en bolsa plástica	Mayor profundidad
Echinochloa colona	Poaceae	Bajos niveles en pH	Sin cuerpo, cuerpos en bolsa plástica	Mayor profundidad
Phagnalon saxatile	Asteraceae		Cuerpo con cal, cuerpo seccionado, cuerpo completo, sin cuerpo y cuerpo con piedra	Mayor profundidad
Cosmos sulfureus	Asteraceae		Cuerpo con cal, cuerpo seccionado, cuerpo completo, sin cuerpo y cuerpo con piedra	Mayor profundidad
Alopecurus pratensis	Poaceae		Cuerpo con cal, cuerpo seccionado, cuerpo completo, sin cuerpo y cuerpo con piedra	Mayor profundidad

21

Las imágenes de las especies se presentan a continuación.



Especie	Familia	Factores ambientales	Tratamiento de cuerpo	Profundidad de inhumación
<i>Sporobolus alopecuroides</i>	Poaceae		Cuerpo con cal, cuerpo seccionado, cuerpo completo, sin cuerpo y cuerpo con piedra	Mayor profundidad
<i>Cymbopogon marginatus</i>	Poaceae		Cuerpo con cal, cuerpo seccionado, cuerpo completo, sin cuerpo y cuerpo con piedra	Mayor profundidad
<i>Vachellia farnesiana</i>	Fabaceae		Cuerpo con cal, cuerpo seccionado, cuerpo completo, sin cuerpo y cuerpo con piedra	Mayor profundidad
<i>Setaria adhaerens</i>	Poaceae	Concentraciones de N, P, K y pH	Cuerpos con cemento, cuerpos seccionados en bolsa, cuerpo completo y cuerpo con cal	
<i>Digitaria sanguinalis</i>	Poaceae	Concentraciones de N, P, K y pH	Cuerpos con cemento, cuerpos seccionados en bolsa, cuerpo completo y cuerpo con cal	
<i>Opuntia ficusindica</i>	Cactácea	Concentraciones de N, P, K y pH	Cuerpos con cemento, cuerpos seccionados en bolsa, cuerpo completo y cuerpo con cal	
<i>Cenchrus echinatus</i>	Poaceae	Concentraciones de N, P, K y pH	Sin cuerpo	Mayor profundidad
<i>Chloris radiata</i>	Poaceae	Concentraciones de N, P, K y pH	Sin cuerpo	Mayor profundidad

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Figura 10. Especies de Polígono 2 con relación significativa respecto a variables ambientales



Botón de oro (*Melampodium* sp)



Jonote blanco (*Heliocarpus* sp)



(*Euphorbia chamaecrista*)



Rosa de Jericó (*Anastatica hierochuntica*)



(*Echinochloa colona*)



(*Phagnalon saxatile*)



Mirasol coreopsi ó girasol púrpura (*Cosmos sulfureus*)



Cola de zorra (*Alopecurus pratensis*)



(*Sporobolus alopecuroides*)

La vida después de la vida:
botánica forense aplicada al estudio y detección de fosas clandestinas



Cola de zorra pegajosa (*Setaria adhaerens*) Tomada de Naturalist México



Huizache (*Vachellia farnesiana*)



Hierba de limón (*Cymbopogon marginatus*)



(*Digitaria sanguinalis*)



Nopal (*Opuntia ficusindica*)



Zacate cadillo (*Cenchrus echinatus*)



Pata de gallo (*Chloris radiata*)

Fuente: Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Referencias

- BARTON, P. S., McINTYRE, S., EVANS, M. J., BUMP, J. K., CUNNINGHAM, S. A. & MANNING, A. D. (2016). *Substantial long-term effects of carcass addition on soil and plants in a grassy eucalypt woodland*. *Ecosphere* 7: e01537. [10.1002/ecs2.1537](https://doi.org/10.1002/ecs2.1537)
- BEALS, E. W. (1984). *Bray-Curtis ordination: an effective strategy for analysis of multivariate ecological data*. *Advances in Ecological Research*, 14, 1-55. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60168-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60168-3)
- CARTER, D. O., YELLOWLEES, D. & TIBBETT, M. (2007). *Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems*. *Naturwissenschaften*, 94:12–24. DOI 10.1007/s00114-006-0159-1
- DATA CÍVICA, ELEMENTA DDHH, CENTRO GEO, PROGRAMA DE DERECHOS HUMANOS DE LA UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA. (s.f.). *Modelo geoespacial para búsqueda de fosas clandestinas en Baja California, México*. <https://www.ohchr.org/sites/default/files/documents/issues/disappearances/cfi/newtechnologies/submissions/cso/wgeid-submission-data-civica.pdf>
- DAUTARTAS, A., KENYHERCZ, M. W., VIDOLI, G. M., MEADOWS, L. J., MUNDORFF, A. & WOLFE, D. S. (2018). *Differential decomposition among pig, rabbit, and human remains*. *Journal of Forensic Sciences*. Doi:10.1111/1556-4029.137.84
- DEBRUYN, J. M., HOELAND, K. M., TAYLOR, L. S., STEVENS, J. D., MICHELLE, A. M., BANDOPADHYAY, S., DEARTH, S.P., CASTRO, H. F., HEWITT, K. K., CAMPAGNA, S. R., DAUTARTAS, A. M., VIDOLI, G. M., MUNDORFF, A. Z. & STEADMAN, D. W. (2021). *Comparative decomposition of humans and pigs: soil biogeochemistry, microbial activity and metabolomic profiles*. *Front. Microbiol. Sec. Systems Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.608856>
- DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. (s.f). *InfoStat versión 2020*. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba <http://www.infostat.com.ar>
- FANCHER, J.P., AITKENHEAD-PETERSON J.A., FARRIS, T., MIX, K., SCHWAB, A.P., WESCOTT, D.J. & HAMILTON, M.D. (2017). *An evaluation of soil chemistry in human cadaver decomposition islands: Potential for estimating postmortem interval (PMI)*. *Forensic Science International*, 270: 130-139. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.08.002>



- FERNÁNDEZ, J.L., GALINDO, A. & IDOBRO, J.M. (2007). *Las plantas como evidencia legal. Desarrollo de la botánica forense en Colombia*. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 31 (119), 181-198. <http://hdl.handle.net/10261/32229>
- JANAWAY, R.C. (2008). *The decomposition of materials associated with buried cadavers*. In, M. Tibbed & D. O. Carter (ed.). *Soil analysis in forensic taphonomy*. Taylor & Francis Group, LLC. Boca Raton, FL. Pp. 153-202.
- JARAMILLO, V. (2019). *Los árboles como testigos de un crimen: aplicaciones de la dendrocronología a las ciencias forenses*. Revista ambiental Éolo, 18 (18), 177 – 183.
- MARTÍNEZ, O. (2019). *La botánica y su aplicación en las ciencias forenses*. En, M.R. Ayón (Ed.). *Biología Forense*. Fundación Miguel Lillo.
- MACDONALD, B. C.T., FARRELL, M., TUOMI, S., BARTON, P. S., CUNNINGHAM, S. A. & MANNING, A.D. (2014). *Carrion decomposition causes large and lasting effects on soil amino acid and peptide flux*. Soil Biology & Biochemistry 69: 132e14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.10.042>
- MCCUNE, B. & M. J. MEFFORD. (2011). *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 7.0*. MjM Software.
- McVAY, K.A. & RICE, C.W. (2005). *El carbono orgánico del suelo y el ciclo global del carbono*. <http://ceiba.agro.uba.ar/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=25211>
- NASSAR, J.M. (2005). *La botánica como herramienta de la investigación criminal*. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas.
- PERDOMO, C. (2013). *Área de suelos y aguas cátedra de fertilidad. Nitrógeno*. Universidad de la Republica.
- ROMERO-MIERES, M., VIVALLO, G., DONOSO, G., ESSE, C., DÍAZ, R., FRANCOIS, A., SOLANO, J., ORTLOFF, A., ALBORNOZ, S., BETANCOURT, O., COFRÉ., VALDIVIA, M., DE LA FUENTE, J., FIGUEROA, A. & LIZAMA, C. (2016). *Botánica Forense en Chile: El caso de Aristotelia chilensis (Molina) Stuntz y su potencial utilidad como especie bioindicadora forense*. Gayana. Botánica, 73(1), 156-160. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432016000100018>
- SCHOTSMANS, E. M. J., FLETCHER, J. N., DENTON, J., JANAWAY, R. C. & WILSON, A. S. (2014). *Long-term effects of hydrated lime and quicklime on the decay of human remains using pig cadavers as human body analogues: Field experiments*. Forensic Science International, 238: 141. e1–141e.13. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.12.046>
- ZÚÑIGA, M. (1984). *Diccionario de términos jurídicos y de medicina legal*. Editorial Papiro







Capítulo 14



¿Quiénes son los primeros en detectar una inhumación clandestina?

Entomología forense: los insectos y su relación con las fosas clandestinas

Jessica B. López-Caro^{1*}, Lizbeth G. Romero-Aguilar²,
José L. Navarrete-Heredia³ y María L. Baca Cruz²

Contribución arbitrada

Resumen

La entomología forense no es una disciplina reciente, sin embargo, en las últimas décadas se ha prestado más atención a la relevancia que los insectos y otros artrópodos pueden tener en casos legales de diferente índole: esto ha propiciado el desarrollo y avance de esta ciencia en varios países del mundo.

Este trabajo proporciona una síntesis del estado del arte de la entomología forense, destacando algunas de las contribuciones más importantes a nivel mundial.

Dados los altos índices de violencia que se han registrado en el estado de Jalisco en los últimos años, el número de fosas clandestinas localizadas ha ido en aumento y con ello, también ha crecido el interés —de los colectivos de búsqueda de personas— de interpretar cualquier indicio que pueda brindar datos valiosos.

Por ello, este capítulo presenta un primer acercamiento sobre la entomofauna de la entidad que, potencialmente, puede encontrarse en cadáveres o en restos en descomposición.

1 Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Universidad de Guadalajara.*jberenice.lopez@academicos.udg.mx

2 Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

3 Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara.

Aunado, precisa información relevante susceptible de obtenerse en una investigación, gracias a su estudio e interpretación.

Palabras clave: artrópodos necrócolos, coleópteros, dípteros, entomofauna cadavérica.

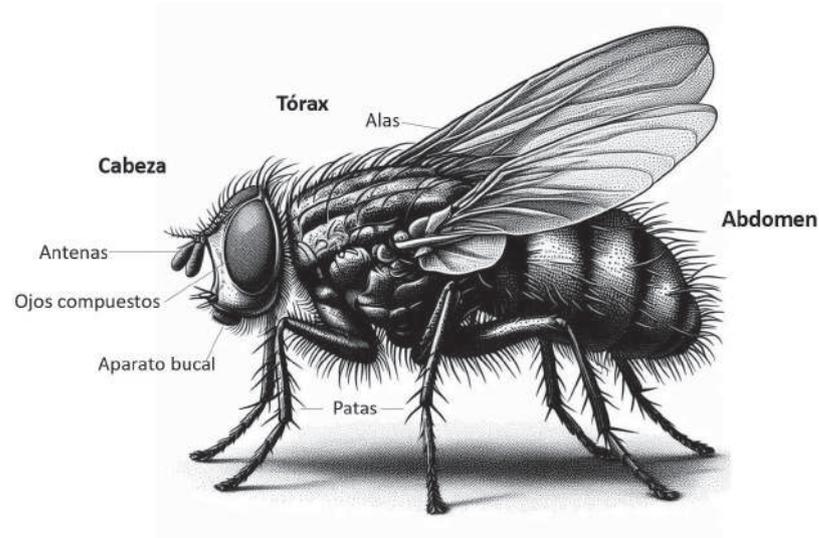
I. Introducción

La ciencia que se encarga del estudio de los insectos es la entomología; palabra grecolatina, del griego éntomon (insecto) y del latín logos (ciencia). El estudio de los insectos aborda desde su biología, sistemática, evolución, ecología, comportamiento, hasta otras áreas de estudio y aplicación de los diferentes grupos de la clase Insecta (Gullan y Cranston, 2014).

Los insectos (Insecta) son una clase de animales invertebrados del filo de los artrópodos, constituyen el grupo más diverso de todas las formas de vida en la Tierra. Actualmente, se conocen más de un millón de especies, no obstante, se estima que aún quedan varios miles por describir (Kremen, 1993; Zhang, 2011).

La morfología de los insectos es un tanto compleja, sin embargo, se puede distinguir de otros animales por su estructura corporal segmentada y su exoesqueleto de quitina. Su cuerpo está dividido en tres regiones principales: cabeza, tórax y abdomen. En la cabeza se encuentran órganos sensoriales como antenas y ojos compuestos, además del aparato bucal, que está adaptado a diversas funciones alimenticias. El tórax está especializado en la locomoción, ya que de éste surgen tres pares de patas articuladas y, en muchos casos, dos pares de alas. El abdomen contiene internamente los sistemas digestivo, excretor y reproductivo (Figura 1). Esta configuración morfológica permite a los insectos adaptarse a una amplia gama de entornos, lo que los convierte en uno de los grupos de animales más exitosos y diversos del planeta.

Figura 1. Morfología general de un insecto



Fuente: imagen generada en Microsoft (2024).

Estos pequeños animales, frecuentemente subestimados, desempeñan un papel crucial en los ecosistemas y en la vida cotidiana. Las relaciones entre los insectos y el ser humano pueden considerarse desde hace miles de años atrás. Con el tiempo, se pasó de la vida nómada a la sedentaria, favoreciendo e incrementando el tipo de interacciones entre los insectos, sus cultivos y sus animales domésticos. Así, esta relación benéfica-perjudicial de la interacción insecto-humano ha permitido promover el desarrollo de la entomología como ciencia (Navarrete-Heredia, 2014).

Las personas entomólogas⁴ buscan comprender y explicar la gran diversidad de especies de insectos y cómo estas interactúan con su entorno, incluyendo las plantas, otros animales y los ecosistemas en su conjunto. De acuerdo con Gullan y Cranston (2014) la entomología tiene campos de acción significativos:

4 Personas científicas que estudian a los insectos y otros artrópodos.

a) Entomología básica:

- Taxonomía y sistemática. Estos campos se enfocan en la clasificación y la relación evolutiva entre las diferentes especies de insectos. Los entomólogos trabajan para describir nuevas especies y entender su lugar en el árbol de la vida.
- Morfología y fisiología. Estudian la estructura y función de los insectos. Esto incluye el análisis de sus sistemas de órganos, como el sistema nervioso, digestivo, reproductivo y sensorial.
- Ecología y comportamiento. Exploran cómo los insectos interactúan con su entorno, incluyendo sus relaciones con otras especies, su rol en los ecosistemas y sus patrones de comportamiento.

b) Entomología aplicada:

- Entomología agrícola. Se centra en el impacto de los insectos en la agricultura, tanto plagas como polinizadores, y busca métodos para controlar las poblaciones de insectos de manera sostenible.
- Entomología médica y veterinaria. Investiga la relación entre los insectos y la salud humana y animal, incluyendo el estudio de insectos y otros artrópodos que transmiten enfermedades.
- Biodiversidad y conservación. Se ocupa de la protección de los insectos y sus hábitats, esencial para mantener la salud de los ecosistemas globales.
- Biología molecular y genética. Aplica técnicas modernas para entender la genética de los insectos, lo que puede llevar a avances en biotecnología y control de plagas.
- Entomología forense. Estudio de los insectos y otros artrópodos como pruebas científicas en aspectos legales, principalmente se centra en la estimación del tiempo transcurrido desde la muerte, así como otras circunstancias de casos judiciales.

Así pues, la entomología es una ciencia con profundas implicaciones ambientales, económicas, de salud pública y legales que requiere una comprensión detallada y un enfoque multidisciplinario para abordar los desafíos que presenta nuestra coexistencia con estos organismos.



Particularmente, la entomología forense ha ganado reconocimiento más allá de su círculo académico inicial, evolucionando de una rama de estudio de nicho a una de interés general. Este notable cambio se atribuye en gran parte a la influencia de series televisivas que resaltan la importancia de los insectos en la investigación forense.

Estos organismos, aunque diminutos, juegan un papel fundamental al proporcionar información clave que puede ser determinante en la resolución de casos judiciales, particularmente en aquellos que involucran delitos. Así, la entomología forense se revela como una ciencia esencial para el esclarecimiento de varias circunstancias en el ámbito legal, ofreciendo pistas que, sin la debida experticia, podrían permanecer ocultas. Pero, ¿cómo se define esta disciplina y cuál es su contribución específica al sistema de justicia?

La entomología forense es una rama de la biología y de las ciencias forenses que se dedica al estudio de los insectos y otros artrópodos en un contexto legal. Esta disciplina combina conocimientos biológicos con aspectos jurídicos y es esencial en la resolución de casos legales.

Las personas expertas en entomología forense colaboran con profesionales de diversas áreas, como la medicina, la genética, la química, la antropología, entre otras, para aportar evidencia crucial en investigaciones. Aunque el uso de artrópodos en la medicina legal se remonta al siglo XIX, su reconocimiento como herramienta estándar en la práctica forense se ha fortalecido en las últimas décadas.

En México, la especialidad ha experimentado un crecimiento significativo y se está estableciendo como un componente vital en el ámbito de la justicia. Recientemente, a raíz de la organización de personas activistas en los colectivos de búsqueda de personas desaparecidas, se ha puesto de manifiesto la presencia de insectos habitando al interior o cerca de las fosas localizadas, lo cual ha generado algunas preguntas: ¿cuál es el significado que tienen estos organismos en el lugar de intervención?, ¿pueden aportar información relevante?, ¿cómo interpretarla?, entre otros cuestionamientos.

Con la finalidad de impulsar los esfuerzos colaborativos con las diferentes instancias interesadas en el tema, se espera que este trabajo sirva como un instrumento que facilite el entendimiento y la interpretación de la fauna de insectos y otros artrópodos que, potencialmente, se encuentran asociada a fosas y, que con ello, se brinde una capacitación general e integral para quienes forman parte de los colectivos de búsqueda de personas



desaparecidas, además de promover el crecimiento de esta ciencia con colaboración entre especialistas de los sectores académicos, de procuración de justicia, así como de iniciativa ciudadana.

II. Antecedentes

El origen histórico de la entomología forense se remonta al siglo XIII. Fue en China donde se documentó, por primera vez, la relevancia del uso de los insectos como testigos para resolver un caso de homicidio en el año 1235 (Sung, 1981).

Esta investigación estuvo a cargo del comisario Sung Tz'u (Song Ci), quien publicó el libro titulado "The Washing Away of Wrongs", en el que describió su participación en la resolución del caso de un hombre degollado cerca de un arrozal. El día después del asesinato, el investigador pidió a todos los trabajadores que colocaran sus instrumentos de trabajo en el suelo. Al cabo de un corto tiempo, un conjunto de moscas se posó sobre una sola hoz, ya que trazas invisibles de sangre las atrajeron. Con esto, Sung Tz'u dedujo que el dueño de la herramienta fue quien cometió tal crimen, finalmente lo confrontó y el culpable confesó su acto (Sung, 1981).

La obra de Sung Tz'u y la aplicación de conocimientos entomológicos para resolver casos legales marcaron un punto de referencia histórico de la ciencia forense y su influencia perdura hasta nuestros días.

Siglos más tarde en occidente, en Francia, en 1850, el médico Louis Bergeret participó en la investigación de un caso de infanticidio. El cuerpo de un niño fue hallado momificado en la chimenea de una finca en la ciudad de París. Bergeret observó que el cadáver tenía algunos insectos como huevos, larvas y pupas tanto de moscas como de polillas. Al estudiar el desarrollo de los insectos presentes pudo estimar el Intervalo Post Mortem (IPM), es decir, el tiempo transcurrido desde la muerte hasta el momento en que se encontró el cadáver (Bergeret, 1855).

Bergeret publicó esta investigación en 1855 como un informe de caso, en donde muestra que realmente no se centró en la entomología, sino que utilizó a los insectos como un indicio más entre otros; incluso, señala claramente que durante la época prevalecía falta de conocimiento sobre el tema. El caso marcó un hito más en la historia de la entomología forense, ya que fue la primera vez que se utilizó la sucesión de insectos como indicador para

estimar el tiempo de muerte. Es por ello que a Bergeret se le ha considerado como el padre de la entomología forense, su contribución no sólo fue significativa para la ciencia forense, sino que también impulsó un mayor interés y desarrollo en el campo de la entomología aplicada a la medicina legal.

Jean Pierre Mégnin fue otro gran pionero en la entomología forense, en su libro *“La Faune des Cadavres”*, publicada en 1894, describió detalladamente la sucesión de artrópodos en cuerpos expuestos en descomposición y estableció lo que él llamó “cuadrillas de la muerte”, agrupando a los insectos que contribuyen a la descomposición en ocho oleadas sucesivas.

Para cuerpos enterrados, describió las formas larvarias y adultas de varias familias de insectos, además realizó dibujos detallados que se centraron en la venación de las alas, los espiráculos posteriores, así como la anatomía general de moscas y de otros insectos para su identificación (Figura 2) (Mégnin, 1894). Su trabajo ayudó a establecer las bases para que las personas entomólogas forenses pudieran estimar el tiempo transcurrido desde la muerte basándose en el tipo de insectos presentes, su ciclo de vida y sucesión en el proceso de descomposición de los cuerpos.

Este enfoque ha sido fundamental para apoyar a la medicina y patología a estimar la data de la muerte en casos en donde los cuerpos están en un grado avanzado de descomposición.

En las últimas décadas el auge de la entomología forense ha sido impulsado por varios investigadores en diferentes países del mundo. Sus obras son la referencia actual en el estudio de los insectos y su aplicación en la criminalística, medicina legal y otras ciencias forenses.

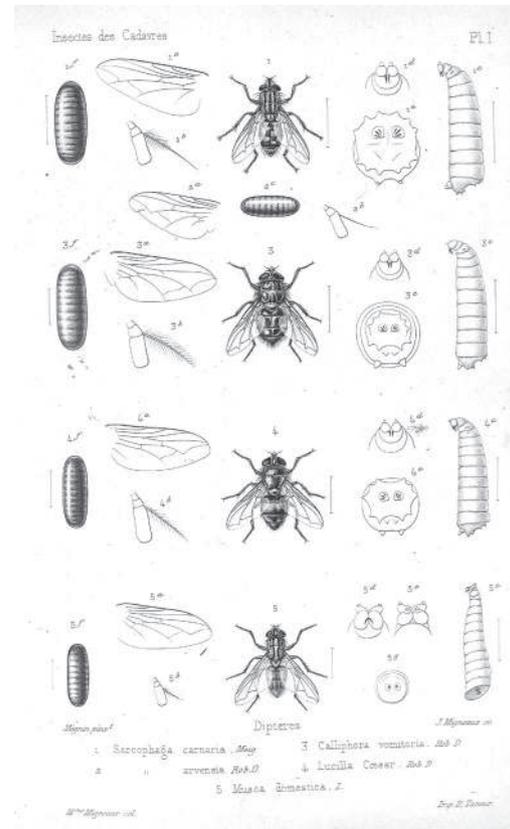
En algunos países de Europa, por ejemplo, en Bélgica, Marcel Leclercq ha contribuido con bastantes aportaciones de sus conocimientos sobre biología de insectos en muchos casos forenses (Dekeirrschieter et al., 2013)⁵.

En Inglaterra, Smith (1986) publicó el “Manual de Entomología Forense”, obra que en algunos laboratorios sigue vigente. Otro referente es Jens Amendt (2011), quien ha realizado investigaciones sobre insectos en cadáveres humanos y su importancia en la estimación del IPM en Alemania. En este mismo país, Marck Benecke (2001) proporcionó una síntesis de la historia de la entomología forense a nivel mundial, entre otros aportes.

En Polonia, Matuszewski et al. (2014), evaluaron el efecto de la masa corporal y la vestimenta sobre la descomposición de cadáveres de cerdo, ya que este modelo animal es el más empleado para estudios experimentales relacionados con algunas ciencias forenses, como entomología, tafonomía, medicina, entre otras.

5 Una síntesis de sus investigaciones publicadas a lo largo de 36 años, se puede consultar en “Forensic Entomology Investigations From Doctor Marcel Leclercq” (cita en referencias).

Figura 2. Ilustraciones de algunas especies de dípteros y sus etapas de desarrollo



Nota. De izquierda a derecha se muestran estructuras con características morfológicas distintivas en: pupa, ala, antena, adulto, extremo anterior y posterior (con detalle de los espiráculos) de la larva y larva completa. Imagen tomada de Mégnin (1894).

En otro estudio, Matuszewski et al. (2020), discutieron en un contexto metodológico sobre las ventajas y desventajas de emplear cerdos y humanos para la investigación forense, concluyeron que emplear este tipo de modelo experimental ofrece ventajas, ya que son más fáciles de replicar y controlar, razones por las cuales se han empleado en varios trabajos desde hace más de cincuenta años (Payne, 1965; 1968; 1972).

En América, el desarrollo de esta disciplina ha sido principalmente apoyado por investigadores de Canadá, como Anderson et al. (1996; 2011; 2020); y en Estados Unidos, por ejemplo, Lord et al. (1986; 1992), Goff (2000; 2010), Shoenly (1987), Byrd y Tomberlyn (2020), quienes han realizado diferentes aportaciones de gran alcance y que han inspirado diversos trabajos.

2.1. Áreas de la entomología forense

En un sentido más amplio, la entomología forense es el estudio de los insectos y otros artrópodos involucrados en cualquier tema legal (Hall, 2012), que puede incluir, clásicamente, tres áreas de aplicación (Lord y Stevenson, 1986):

- Entomología de productos almacenados: abarca casos de ámbito comercial o industrial, en donde pueden existir daños y contaminación sobre productos almacenados ocasionados por insectos a raíz de un mal manejo;
- Entomología urbana: casos de ámbito doméstico (no se restringe a eventos en ambientes urbanos), en donde pueden presentarse daños sobre inmuebles o estructuras del ambiente, así como sobre las personas, ya sea de manera accidental o por descuido” En ambos casos, potencialmente, se podría llevar a un litigio si se interpone una demanda, por lo que en algún momento un entomólogo forense intervendrá para realizar la investigación correspondiente y emitir un dictamen;
- Entomología médico-legal: casos que forman parte de procedimientos penales, que implican investigaciones de tipo criminal, por ejemplo, delitos por violencia o muerte. En este caso, los insectos o artrópodos asociados con el caso son considerados como parte de las evidencias o pruebas científicas, que la persona entomóloga forense tomará como base para la elaboración de su dictamen.



Esta última es el área de más alto alcance de la entomología forense y el tema del presente capítulo. La misma puede aplicarse en varias situaciones, por ejemplo, casos de abuso, maltrato y/o abandono de personas con discapacidad, infantes o personas adultas mayores (Benecke, 2004; Benecke y Lessig, 2001); detección de drogas o venenos (de Carvalho, 2010); identificación humana (Coulson et al., 1990; Linville et al., 2004); traslado y reubicación de restos humanos, movimiento de vehículos mediante reconocimiento de insectos impactados en los parabrisas (Smith, 1986); caza furtiva de vida silvestre (Anderson, 1999); maltrato y abandono de animales domésticos y de granja (Benecke, 2004), entre otras; sin embargo, el objetivo principal de la entomología forense médico-legal es la estimación del Intervalo Post Mortem (IPM o PMI por sus siglas en inglés), que se refiere al tiempo mínimo transcurrido desde la muerte hasta el hallazgo del cuerpo (Hart et al., 2008).

2.2. Cadáveres e insectos

La descomposición cadavérica es un proceso complejo, dinámico, natural y temporal, que constituye un componente importante del reciclaje de nutrientes y el flujo de energía en ecosistemas terrestres (Barton et al., 2012; Carter et al., 2007; Mizukami et al., 2020; Stuart y Ueland, 2017). La comprensión de este proceso tiene una extensa aplicación en las ciencias forenses, principalmente para la estimación del IPM (Benbow, 2013; Tibbet & Carter, 2008)

Después de la muerte, a nivel celular ocurren cambios bioquímicos, con ello cesan los procesos metabólicos y comienza la descomposición cadavérica, en donde los tejidos constituyentes del cuerpo se descomponen en formas más simples de materia (Kasper et al., 2012; Zender et al., 1958). Progresivamente la morfología y el aspecto del cuerpo se modifica y se va deteriorando, sobre todo por reacciones químicas y factores biológicos, como la intensa actividad de bacterias que producen gases con olores muy particulares, los cuales atraen a diversos artrópodos carroñeros, quienes contribuyen a la descomposición de los tejidos blandos.

Estos factores dependen, a su vez, de las condiciones ambientales, principalmente de la temperatura y la humedad, sin embargo, también pueden influir otros factores ante mortem o post mortem, por ejemplo, el tipo de muerte (calcinamiento, intoxicación) y barreras físicas (inhumación, contenedores plásticos) (Anderson & VanLaerhoven, 1996; Carter et al., 2007; 2010; Forbes & Carter, 2016; Mann et al., 1990).



Varios trabajos se han centrado en el estudio de los insectos carroñeros para estimar el Intervalo Post Mortem Mínimo (IPM-min), enfocándose principalmente en los órdenes Diptera (moscas) y Coleoptera (escarabajos) (Anton et al., 2011; Catts & Goff, 1992; Goff, 1993; Payne & King, 1970; Sharanowski et al., 2008; Smith, 1986), ya que algunas especies presentan una estrecha asociación a cadáveres dado que las larvas y los adultos los aprovechan como fuente principal de alimento, por lo que se consideran de gran relevancia en la entomología forense médico-legal. La importancia del estudio de estos insectos es que las moscas localizan los cadáveres frescos en corto tiempo, por lo tanto, pueden dar una estimación más precisa del IPM-min basado en el desarrollo de las larvas (Battán Horenstein et al., 2010; Calderon-Arguedas et al., 2005; Greenberg, 1991). Sin embargo, cuando los cadáveres se encuentran en estados más avanzados de descomposición, lo más adecuado es analizar el ensamblaje de insectos asociados al cuerpo, en donde la composición de especies de escarabajos suele estar mejor representada.

Aun así, estos insectos no son los únicos artrópodos que suelen encontrarse asociados a cadáveres (Byrd & Tomberlin, 2020; Matuszewski et al., 2010; Schoenly et al., 2005; Sharanowski et al., 2008).

En entomología forense, generalmente se emplea una clasificación del proceso de descomposición cadavérica, dividido en cinco estados, para facilitar el estudio y entendimiento de la asociación de la entomofauna al proceso de descomposición: fresco, hinchado, descomposición activa, descomposición avanzada y restos secos⁶. Cada etapa atrae diferentes especies de insectos, lo que proporciona pistas esenciales para las personas investigadoras (Tabla 1).

6

Cada una de estas etapas se correlaciona con uno o varios fenómenos cadavéricos que se manejan en la medicina legal.



Tabla 1. Etapas de la descomposición cadavérica de acuerdo al criterio de la entomología forense

ETAPA DE DESCOMPOSICIÓN CADAVERICA	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS PRINCIPALES	ENTOMOFAUNA ASOCIADA
FRESCO	<ul style="list-style-type: none"> • Comienza en el momento de la muerte. • Descenso de la temperatura. • Sin olor asociado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dípteros adultos. • Pocos huevos y larvas de dípteros en las primeras horas.
HINCHADO	<ul style="list-style-type: none"> • Distensión abdominal e hinchazón leve a intensa. • Moderado olor a putrefacción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dípteros adultos. • Abundancia moderada de larvas de dípteros. • Coleópteros adultos necrófagos y depredadores.
DESCOMPOSICIÓN ACTIVA	<ul style="list-style-type: none"> • Desprendimiento de pelo. • Intenso olor a putrefacción. • Aumento de temperatura del cadáver. • Cambio en la humedad del cadáver. 	<ul style="list-style-type: none"> • Abundante agregación de larvas de dípteros con intensa actividad. • Dípteros y coleópteros adultos.
DESCOMPOSICIÓN AVANZADA	<ul style="list-style-type: none"> • Desprendimiento del tejido muscular. • Huesos expuestos y desarticulados. • Moderado olor a putrefacción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Migración de larvas de dípteros. • Coleópteros adultos y juveniles.
RESTOS SECOS	<ul style="list-style-type: none"> • Restos óseos y remanentes de pelo, piel y cartilago. • Leve o nulo olor a putrefacción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poca presencia de adultos de dípteros (segunda oleada). • Pupas de dípteros enterradas en la periferia del cadáver. • Larvas y adultos de coleópteros.

Fuente: elaboración propia.



2.3. Artrópodos de importancia forense: categorías ecológicas

Los artrópodos son omnipresentes en la naturaleza y es casi inevitable que no se les encuentre asociados en algún lugar de intervención en campo, principalmente en donde exista al menos un cuerpo en descomposición, ya sea porque es parte de su hábitat natural o porque han sido atraídos o introducidos. Sin embargo, no todas las especies de artrópodos que se encuentran sobre un cadáver (o cercanas a éste) se alimentan y/o efectúan su desarrollo sobre él.

Para interpretar el tipo de asociación que las diferentes especies de artrópodos pueden presentar en un cuerpo, varios autores han hecho propuestas en donde acuñan términos que dan explicación de las categorías ecológicas (o roles) que desempeñan las especies en el ecosistema de la carroña.

Por ejemplo, de acuerdo a lo propuesto por Labrador (2005) y Naranjo-López y Navarrete-Heredia (2011), se consideran como necrócolos a todas las especies de artrópodos que están asociadas a carroña, se les encuentra directamente en cadáveres o se colectan en necrotrampas; se reconocen tres categorías:

a) Necrobios: especies que tienen una marcada dependencia por la carroña. Las larvas y adultos la utilizan como alimento. Se incluyen aquí las especies necrófagas.

b) Necrófilos: especies que se encuentran en la carroña para alimentarse de otros insectos, o bien, cuando la carroña se encuentra invadida por microorganismos; generalmente el cadáver se encuentra licuefacto. Se divide en dos subcategorías:

- Necrófilos saprófagos: especies que, aunque se alimentan de carroña, en general consumen materia orgánica en descomposición cuyo origen puede ser animal, vegetal o fúngico. Se incluyen aquí las especies copronecrófagas, coprófagas y, en general, todas aquellas que se alimentan de materia orgánica en descomposición.
- Necrófilos depredadores: especies que aprovechan la presencia de presas en la carroña, tales como necrobios o necrófilos saprófagos.



c) Necroxenos: especies que se implican en la carroña de manera accidental. Sus hábitos y hábitats son diferentes a la carroña, aunque cercanos a la misma, por ejemplo, hojarasca, flores, hongos.

Dentro de los diversos artrópodos, las especies necrobias son las de mayor importancia, como los dípteros, que son los primeros organismos en colonizar el cadáver y, en segundo lugar, los coleópteros (Goff, 1993). Dado que su ciclo de vida está estrechamente ligado a la disponibilidad del recurso de la carroña, éstos pueden brindar información relevante para la estimación del IPM mediante el estudio de la edad de las larvas.

Según Smith (1986) el segundo grupo más significativo es el de especies necófilas parasitoides y depredadoras, tales como himenópteros (avispa y hormigas) y coleópteros, respectivamente. Después, se pueden encontrar especies necroxenas, por ejemplo, hormigas, ácaros, arañas, opiliones, ciempiés, escorpiones, entre otros, los cuales pueden ser omnívoros o depredadores accidentales (Méglin, 1894).

2.4. Entomología forense y fosas clandestinas

Como se mencionó con anterioridad, la entomología forense es una disciplina crucial en la investigación de crímenes, especialmente en casos en los que los restos humanos han sido ocultados.

La detección de fosas clandestinas representa un desafío significativo, ya que las personas perpetradoras suelen emplear métodos para evitar la localización de las víctimas. Los insectos, siendo atraídos por la descomposición, pueden ofrecer pistas vitales sobre la ubicación y el tiempo transcurrido desde la muerte.

Sin embargo, la tarea de las personas entomólogas forenses no se limita a la simple identificación de especies: también deben interpretar los datos en el contexto de las condiciones ambientales, lo que puede afectar las etapas de descomposición y, por ende, la colonización de los insectos.

Además, la colaboración con personas expertas en geofísica y caninos de búsqueda puede ser indispensable para detectar restos enterrados. A menudo, quienes investigan deben confiar en informantes para localizar, incluso, el área general de una inhumación clandestina — y señalar la ubicación exacta es una tarea más compleja —.



Una vez encontrada una fosa, se procede a una meticulosa excavación, asegurando la preservación de evidencia. Cada hallazgo puede ser pieza clave en la reconstrucción de eventos y en la administración de justicia, demostrando así la importancia de la entomología forense en el ámbito legal (Byrd & Sutton, 2023).

Su valía es indiscutible, especialmente en inhumaciones. Los insectos, a través de su colonización, pueden ofrecer pistas cruciales sobre el IPM y otro tipo de información relevante para ampliar la investigación; por ejemplo, si un cuerpo fue depositado inicialmente en una ubicación y luego trasladado a otra para su entierro, los insectos presentes pueden reflejar la fauna del primer sitio. Esto puede ser evidente a través de la presencia de especies de insectos que no son típicas del área de descubrimiento. Además, la mezcla de especies sobre y alrededor de los restos puede indicar perturbaciones o movimientos posteriores a la muerte (Smith, 1986).

La presencia de insectos dentro de la oquedad también es significativa; algunas especies no pueden penetrar en el suelo (principalmente ciertas formas larvarias) y, por lo tanto, deben haber sido introducidas durante el entierro, mientras que otras pueden haber ingresado después, excavando a través del suelo.

La identificación precisa de estas especies y la comprensión de sus ciclos de vida pueden revelar no sólo la duración del depósito, sino también aspectos del tratamiento del cuerpo y las condiciones del entorno. Estos datos, cuando se interpretan correctamente por especialistas en entomología forense, pueden ser fundamentales para reconstruir la cronología de los eventos que rodearon la muerte y el entierro, proporcionando así información vital para las investigaciones criminales (Walsh-Haney et al., 2019).

III. Materiales y Métodos

Si bien, este estudio integral es principalmente de tipo descriptivo, también proporciona información generada a partir de algunas colectas realizadas en los Polígonos 1 y 2, en los municipios de Tonalá y Tlajomulco de Zúñiga, respectivamente, en los que se materializó la investigación “Interpretar la naturaleza para encontrar a quienes nos faltan”.



Aunque el ejercicio no fue sistemático ni estuvo apegado a un protocolo de investigación, en la medida de lo posible, se colectaron artrópodos para generar información sobre la entomofauna del sitio. Las muestras se realizaron en ambos sitios de experimentación⁷.

Los artrópodos se colectaron de manera directa, manualmente, usando pinzas entomológicas. Se preservaron en alcohol al 70%, se separaron por morfoespecie y se determinaron hasta la categoría taxonómica inferior posible. Los ejemplares montados y etiquetados se depositaron en una caja entomológica de madera, la cual se resguarda dentro de las instalaciones de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

Para asignar la categoría ecológica de los insectos colectados en las zonas de estudio, se tomó como base la clasificación propuesta por Labrador Chávez (2005) y Naranjo-López y Navarrete-Heredia (2011), dado que facilita el entendimiento de la función que desempeñan las especies asociadas a la carroña, por su comportamiento y sus hábitos alimenticios.

Para este estudio observacional se hizo una búsqueda exhaustiva en bases de datos digitales de fuentes bibliográficas: Google Scholar y la Biblioteca Digital de la Universidad de Guadalajara. Se seleccionaron trabajos publicados en las últimas tres décadas. Para la búsqueda y selección en las bases de datos se utilizaron palabras clave en español e inglés solas o combinadas: insectos, entomología forense, cadáveres, Diptera, Coleoptera, Jalisco.

Los artículos seleccionados cumplieron con los siguientes criterios:

- Mención en el título y/o el resumen de, al menos, dos de las palabras clave utilizadas para la búsqueda.
- Mención de al menos un taxón de Diptera o Coleoptera como parte de los resultados; y
- Empleo de alguna necrotrampa o por cierto tipo de modelo biológico animal como cebo atrayente.

De las publicaciones seleccionadas se obtuvieron los datos de los taxones de Diptera y Coleoptera reportados para Jalisco, el tipo de estudio, hábitat o tipo de vegetación de la zona de estudio, modelo biológico o tipo de cebo utilizado, estado de descomposición cadavérica en el

7 Para mayor información sobre las áreas de estudio (coordenadas, tipo de suelo y vegetación, entre otros datos) se puede consultar el capítulo de este libro denominado “Experimentación forense: la historia de un proyecto”.



que se colectaron los especímenes (fresco, hinchado, descomposición activa, descomposición avanzada y restos) ciudad, año y autor.

IV. Resultados y discusión

Los artículos que fueron seleccionados en las bases de datos para este estudio observacional sobre los insectos (Diptera y Coleoptera), y su potencial relevancia en la entomología forense médico-legal en el estado de Jalisco, están publicados entre 1995 y 2023 en revistas de circulación nacional o internacional, arbitradas, indizadas y no indizadas.

Respecto de los insectos necrócolos de Jalisco, se encontraron los órdenes Diptera y Coleoptera, con una y cinco familias, respectivamente.

a) Orden Diptera:

- Familia Calliphoridae. Los califóridos son moscas de coloración verde-azul metálico. Se encuentran distribuidas por todo el mundo y se alimentan principalmente de materia orgánica, de origen animal, en putrefacción.

Se les puede encontrar desde las primeras etapas de descomposición, por lo que son consideradas como un grupo importante para la estimación del intervalo IPM, ya sea estudiando sus ciclos de vida o la secuencia de aparición (Gennard, 2007; Nelder et al., 2009). A pesar de que los dípteros son el principal grupo de interés para la entomología forense, en Jalisco poco se ha investigado sobre este grupo. Tan solo se encontró un trabajo en Puerto Vallarta, en donde se documenta la sucesión de califóridos en cadáver de cocodrilo. Las especies reportadas fueron *Chrysomya rufifacies*, *Chrysomya megacephala*, *Cochliomyia macellaria* y una especie de *Lucilia* (Sánchez-Álvarez & Cupul-Magaña, 2012).



b) Orden Coleoptera:

- Familia Cleridae. Este grupo de coleópteros se distingue principalmente por presentar cuerpo pubescente, a menudo adornado con colores brillantes o metálicos. Algunas especies de cléridos tienen aplicaciones en la medicina forense debido a su presencia en cadáveres, ya que suelen alimentarse de restos de materia orgánica en descomposición de origen animal, así como también pueden presentar hábitos depredadores, lo que ayuda a estimar el IPM. Su ciclo de vida puede variar enormemente, desde los 35 días hasta los tres años, dependiendo de factores como la temperatura y la disponibilidad de alimento.

A las especies que se asocian a carroña, comúnmente se les llama “escarabajos del jamón” ya que suelen ser plaga importante en almacenes de productor cárnicos, como jamón o tocino, lo que puede representar un problema en ámbitos de la entomología forense de productos almacenados. En Jalisco se han reportado las especies *Necrobia rufipes* y *Necrobia ruficollis* asociadas a restos de cadáver de cerdo, coatí y venado, en una zona de cultivos en Zapopan (López-Caro et al., 2023). Además, su presencia en cadáveres humanos suele ser muy frecuente (Romero-Aguilar & López-Caro, comunicación personal, 15 de abril de 2023).

- Familia Dermestidae. Dentro de esta familia, las especies que más se observan en asociación con restos en descomposición son las del género *Dermestes* (del latín derma: piel), por lo que comúnmente se les conoce como “escarabajos de la piel” ó “del cuero”. Son uno de los grupos de insectos que más se encuentran asociados a la carroña; además, algunas especies pueden ser plagas de productos y despensas almacenadas, por lo que se les vincula con graves pérdidas (Kadej & Háva, 2015). La mayoría de las especies del género *Dermestes* son usadas en ciencias forenses para estimar el IPM.

A menudo se asocian a cadáveres en el último estado de descomposición, cuando sólo quedan los restos secos, ya que se alimentan de los tejidos deshidratados, de piel y pelo (Smith, 1986). Cuando la descomposición tiene lugar en ambientes con poca humedad, es probable que los derméstidos sean los únicos insectos presentes en los restos (Bellussi, 1933).

Las especies de importancia forense generalmente son cosmopolitas, para México solo se han documentado ocho en asociación con restos humanos y animales. En Jalisco, en un área agrícola, también del municipio de Zapopan, se han reportado las especies *Dermestes maculatus* y *Dermestes carnivorus* (López-Caro et al., 2023), igualmente relacionadas a restos de cadáveres de cerdo, coatí y venado — tanto en las etapas tempranas de descomposición como en las tardías—.

Reiteradamente se les identifica en cadáveres humanos (Romero-Aguilar & López-Caro, comunicación personal, 15 de abril de 2023).

- Familia Scarabaeidae. Los coleópteros de la familia Scarabaeidae corresponden a uno de los grupos mejor documentados en México y en el mundo. Para Jalisco, se conocen más de 300 especies (Navarrete-Heredia et al., 2001). Dentro de la familia, aquellas especies pertenecientes a la subfamilia Scarabaeinae se registran con mayor frecuencia asociadas a cadáveres de distintos tipos de animales mamíferos.

Estudios realizados en otros países citan a varias especies de Scarabaeinae como un elemento importante en los estudios de sucesión de fauna de cadáveres (Gennard, 2007).

En Jalisco, utilizando necrotrampas⁸, o con la ayuda de cadáveres de animales, se han colectado especies pertenecientes a los géneros *Ateuchus*, *Dichotomius*, *Scatimus*, *Canthidium*, *Copris*, *Canthon*, *Deltochilum*, *Coprophanæus*, *Phaneus*, *Onthophagus* y *Oniticellus*. Contrario a lo que sucede con las especies de Silphidae en cuanto a su distribución altitudinal, los miembros de la subfamilia son más abundantes y diversos en localidades tropicales que templadas. En Jalisco se conocen algunos trabajos sobre

8

Una de las técnicas de colecta pasiva e indirecta de insectos.



la fauna necrócola de Scarabaeinae, entre las que destacan los sitios: Sierra Manantlán (Rivera-Cervantes & García-Real, 1998); Mascota (Quiroz-Rocha et al., 2008); Gómez Farías (Naranjo-López y Navarrete-Heredia, 2011); Guadalajara (González-Hernández, 2013; 2015) y Zapopan (López-Caro et al., 2016; 2023).

- Familia Silphidae. Para el estado de Jalisco, se conocen cinco especies de Silphidae (Navarrete-Heredia, 2009) pertenecientes a las subfamilias: Silphinae (*Thanotophilus truncatus* y *Oxelytrum discicolle*) y Nicrophorinae (*Nicrophorus Marginatus*, *N. mexicanus*, *N. olidus*). Las especies de Silphinae se encuentran por lo usual en cadáveres de tamaño relativamente grandes, con frecuencia se les puede encontrar en cadáveres humanos. Por el contrario, las especies de Nicrophorinae se aprecian en cadáveres algo pequeños. A pesar de ello, también se han colectado en cuerpos humanos en descomposición. Las especies de Silphidae se encuentran con mayor frecuencia en lugares templados, en donde predominan ambientes con bosque de pino-encino y generalmente, a altitudes superiores a los 1,500 metros sobre el nivel del mar (Navarrete-Heredia, 2009).

En Jalisco se han realizado estudios con los Silphidae necrócolas en distintos sitios: Nevado de Colima (Fierros-López & Navarrete-Heredia, 1995); Ahuisculco, La Primavera y Ex Hacienda del Lazo (Navarrete-Heredia & Fierros-López, 1998); Sierra de Manantlán (Rivera-Cervantes & García-Real, 1998); Mascota (Quiroz-Rocha et al., 2008); Gómez Farías (Navarrete-Heredia & Naranjo-López, 2011); Guadalajara (González-Hernández, 2013; 2015); y Zapopan (López-Caro et al., 2016; 2023). Con base en esa información y considerando sus hábitos alimentarios, las especies son catalogadas como necrobias.

- Familia Trogidae. Esta familia representa un pequeño grupo dentro de la superfamilia Scarabeoidea. La mayoría de las especies se distribuyen principalmente en las regiones templadas y áridas del mundo (Scholtz, 1990). Sobre todo, los trógidos son necrófagos-queratinófagos; con frecuencia los adultos se encuentran en restos de piel, pelos y plumas de animales muertos. Por lo general, se encuentran entre los últimos estados de la descomposición.

Por su estrecha asociación con cadáveres se les ha considerado de gran importancia en la entomología forense médico-legal, ya que pueden proporcionar información relevante principalmente para la estimación del IPM basado en la sucesión de especies. En Jalisco se han colectado algunas especies, con necrotrampas ó cadáveres de animales, entre las que destacan *Omorgus rubricans*, *Omorgus suberosus* y *Trox spinulosus dentibius*. Estas han sido documentadas en ambientes urbanos y periurbanos de Jalisco, por ejemplo, Guadalajara (González-Hernández, 2013; 2015); Zapopan (López-Caro et al., 2016; 2023).

4.1. Insectos necrócolos colectados en campo en los Polígonos 1 y 2

En total se colectaron 33 ejemplares de artrópodos, la mayoría de estos corresponden a los órdenes Coleoptera y Diptera, así como a especies necrobias o necroxenas (Tabla 2). Los ejemplares, montados y etiquetados, se depositaron en la caja entomológica (anteriormente descrita) para su preservación (Figura 3).

Se pretende que, a futuro, la colección se amplíe con colectas de los sitios en donde se realizan las prospecciones de campo o cuando se localicen fosas.

¿Quiénes son los primeros en detectar una inhumación clandestina?
Entomología forense: los insectos y su relación con las fosas clandestinas

Figura 3. Colección entomológica de la Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco



Tabla 2. Insectos necrócolos que forman parte de la colección entomológica, según nombre común, información taxonómica y categoría ecológica

IMAGEN	NOMBRE COMÚN	TAXONOMÍA	CATEGORÍA ECOLÓGICA
	Mosca metálica o panteonera	Clase: Insecta Orden: Diptera Familia: Calliphoridae Género: Chrysomyia	Necrobio Alimentación: carroña, tejidos blandos del cuerpo
	Mosca doméstica	Clase: Insecta Orden: Diptera Familia: Muscidae Género: Musca	Necrobio Necrófilo saprofago Alimentación: carroña y otro tipo de materia orgánica en descomposición
	Mosca parasitaria	Clase: Insecta Orden: Diptera Familia: Tachinidae Género: Sin dato	Necroxeno Alimentación: el juvenil se desarrolla dentro de un huésped (otro insecto) del cual se alimenta. El adulto se alimenta de néctar y polen

¿Quiénes son los primeros en detectar una inhumación clandestina?

Entomología forense: los insectos y su relación con las fosas clandestinas

IMAGEN	NOMBRE COMÚN	TAXONOMÍA	CATEGORÍA ECOLÓGICA
	Escarabajo del jamón	Clase: Insecta Orden: Coleoptera Familia: Cleridae Género: Necrobia Especie: Necrobia rufipes	Necrobio Alimentación: carroña
	Escarabajo de la piel	Clase: Insecta Orden: Coleoptera Familia: Dermestidae Género: Dermestes Especie: Dermestes maculatus	Necrobio Alimentación: carroña, restos de piel y cartílagos
	Escarabajo pelotero	Clase: Insecta Orden: Coleoptera Familia: Scarabaeidae Género: Canthidium	Necrofilo saprofago Alimentación: carroña y excremento
	Escarabajo pelotero	Clase: Insecta Orden: Coleoptera Familia: Scarabaeidae Género: Phanaeus	Necrofilo saprofago Alimentación: carroña y excremento

IMAGEN	NOMBRE COMÚN	TAXONOMÍA	CATEGORÍA ECOLÓGICA
	Escarabajo bombardero	Clase: Insecta Orden: Coleoptera Familia: Carabidae Género: Calosoma	Necroxeno Alimentación: depredador generalista
	Escarabajo bombardero	Clase: Insecta Orden: Coleoptera Familia: Carabidae Género: Calosoma	Necroxeno Alimentación: depredador generalista
	Escarabajo de las hojas	Clase: Insecta Orden: Coleoptera Familia: Chrysomelidae Género: Sin dato	Necroxeno Alimentación: fitófago, hojas
	Escarabajo de las hojas	Clase: Insecta Orden: Coleoptera Familia: Chrysomelidae Género: Sin dato	Necroxeno Alimentación: fitófago, hojas
	Escarabajo de las hojas	Clase: Insecta Orden: Coleoptera Familia: Chrysomelidae Género: Sin dato	Necroxeno Alimentación: fitófago, hojas



¿Quiénes son los primeros en detectar una inhumación clandestina?

Entomología forense: los insectos y su relación con las fosas clandestinas

IMAGEN	NOMBRE COMÚN	TAXONOMÍA	CATEGORÍA ECOLÓGICA
	Escarabajo de las hojas	Clase: Insecta Orden: Coleoptera Familia: Chrysomelidae Género: Sin dato	Necroxeno Alimentación: fitófago, hojas
	Mayate	Clase: Insecta Orden: Coleoptera Familia: Scarabaeidae Género: Cothinis Especie: Cotinis antonii	Necroxeno Alimentación: fitófago, frutos
	Mayate verde	Clase: Insecta Orden: Coleoptera Familia: Scarabaeidae Género: Cotinis Especie: Cotinis mutabilis	Necroxeno Alimentación: fitófago, frutos
	Mayate de la calabaza	Clase: Insecta Orden: Coleoptera Familia: Scarabaeidae Género: Euphoria Especie: Euphoria basalis	Necroxeno Alimentación: fitófago, flores y frutos

Fuente: elaboración propia.

V. Conclusiones

Es fundamental que la persona que investigue tenga conocimiento sólido y una comprensión de lo que es normal o anormal en el medio ambiente para poder identificar mejor las anomalías que pueden estar asociadas con una fosa clandestina, en ese sentido, la observación del entorno natural y su composición es vital para localizar indicios biológicos.

Los insectos desempeñan un papel crucial en la investigación de dichas inhumaciones, ya que su presencia puede proporcionar información valiosa sobre el tiempo transcurrido desde el depósito de los cuerpos.

Las personas entomólogas forenses estudian a las especies de insectos, bajo diferentes perspectivas: desde su genética, el ciclo de vida, su ecología, así como su comportamiento en los restos humanos para estimar el intervalo post mortem, lo cual es esencial para la reconstrucción de un hecho, así como para la identificación de las víctimas. Esto demuestra cómo la observación cuidadosa y el análisis científico de los fenómenos naturales pueden tener aplicaciones prácticas en la resolución de misterios y en la contribución al avance de la ciencia.

La literatura científica sobre artrópodos asociados a cadáveres en México es limitada, pero está en crecimiento. Los estudios realizados proporcionan una base importante para la comprensión de la fauna necrócola y su aplicación en las ciencias forenses.

En Jalisco, se ha observado que la fauna cadavérica varía significativamente, lo que requiere un conocimiento profundo de la biodiversidad local y las sucesiones ecológicas de los insectos. Los estudios realizados en el estado han identificado especies de insectos, principalmente de coleópteros asociados a cadáveres, lo que ayuda a comprender mejor los patrones de descomposición en las regiones.

A medida que la entomología forense continúa desarrollándose en la entidad, se espera que contribuya significativamente, proporcionando una herramienta más para la justicia penal.

VI. Recomendaciones

Para coleccionar insectos en el campo de manera efectiva, es importante seguir una serie de recomendaciones que aseguren tanto la preservación de los especímenes como el respeto por el medio ambiente.

Primero, es esencial contar con el equipo adecuado, que incluye redes entomológicas, frascos de recolección, pinzas y alcohol etílico en una concentración al 70-80% para la preservación. Además, es sumamente importante documentar cada espécimen recolectado con datos precisos sobre la ubicación, fecha y condiciones del hábitat.

Siempre se debe coleccionar con ética, evitando perturbar el ecosistema y tomando solo el número necesario de individuos para la investigación.

Es aconsejable hacer llegar las muestras a una persona entomóloga capacitada para su identificación taxonómica, ya que conocer la especie es un paso vital para toda investigación de entomología forense. Para más recomendaciones ver López-Caro et al. (2019).



Referencias

- ANDERSON, G. S. & VANLAERHOVEN, S. L. (1996). *The initial studies on insect succession on carrion in Southwestern British Columbia*. Journal of Forensic Sciences, 41: 617-625.
- ANDERSON, G. S. (1999). *Wildlife forensic entomology: determining time of death in two illegally killed black bear cubs*. Journal of Forensic Sciences, 44: 856-859.
- ANDERSON, G. S. (2011). *Comparison of decomposition rates and faunal colonization of carrion in indoor and outdoor environments*. Journal of Forensic Sciences, 56(1):136-42.
- ANDERSON, G. S. (2020). *Factors That Influence Insect Succession On Carrion*. In, J.H. Byrd & J. K. Tomberlin *Forensic Entomology, The Utility of Arthropods in Legal Investigations*. Tomberlin. pp:104-130. CRC Press.
- ANTON, E., NIEDEREGGER, S. & BEUTEL, R. G. (2011). *Beetles and flies collected on pig carrion in an experimental setting in Thuringia and their forensic implications*. Medical and Veterinary Entomology, 25: 353-364.
- AMENDT, J., RICHARDS, C. S., CAMPOBASSO, C. P., ZEHNER, R. & HALL, M. J. (2011). *Forensic entomology: applications and limitations*. Forensic Science Medicine and Pathology, 7(4):379-92.
- BARTON, P., CUNNINGHAM, S., LINDENMAYER, D. & MANNING A. (2012). *The role of carrion in maintaining biodiversity and ecological processes in terrestrial ecosystems*. Oecologia, 3: 1-12.
- BARTON P. S. & EVANS, M. J. (2017). *Evans Insect biodiversity meets ecosystem function: differential effects of habitat and insects on carrion decomposition*. Ecological. Entomology, 42: 364-374
- BATTÁN HORENSTEIN, M., LINHARES, X., ROSSO DE FERRADA, B. & GARCÍA, D. (2010). *Decomposition and dipteran succession in pig carrion in central Argentina: ecological aspects and their importance in forensic science*. Medical and Veterinary Entomology, 24:16-25.
- BELLUSSI, A. (1933). *Considerazioni tanatologiche e indagini entomologiche dirette all'accertamento dell'epoca della morte di quattro persone decedute nel deserto*. Zacchia, 59-74.
- BENBOW, M. E., A. J. LEWIS, J. K. TOMBERLIN, & J. L. PECHAL. (2013). *Seasonal Necrophagous Insect Community Assembly During Vertebrate Carrion Decomposition*. Journal of Medical Entomology, 50(2): 440-450.



- BENECKE, M. (2001). *A bref history of forensic entomolgy*. Forensic Science International, 120:2-14.
- BENECKE, M. & LESSIG, R. (2001). *Child neglect and forensic entomology*. Forensic Science International, 120: 155-159.
- BENECKE, M. (2004). *Arthropods and corpses*. In M. Tsokos (ed.) Forensic Pathology Reviews. Humana Press Inc., pp. 207-240.
- BERGERET L. (1855). *Infanticide, Momification naturelle du cadavre*. Annales d'hygiène publique et de médecine légale, 2(4)
- BYRD, J. & SUTTON, L. (2023). *The Use of Forensic Entomology within Clandestine Gravesite Investigations*. Atti della Accademia Peloritana dei Pericolanti-Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, 101 (S1), 7.
- BYRD J. H. & TOMBERLIN, J. K. (2020). *Insect of forensic importance* P. p. 16-60. In, Byrd & Tomberlin (eds.). *Forensic entomology. The utility arthropods in legal investigations*. CRC Press.
- CALDERON-ARGUEDAS, O., TROYO, A. & SOLANO, M. E. (2005). *Larval quantification of Synthesiomyia nudiseta (Diptera: Muscidae) as a criteria in analysis of the post mortem interval in an experimental model*. Parasitology Latinoamerica, 60: 138-143.
- CARTER, D. O., YELLOWLEES, D. & TIBBET, M. (2007). *Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems*. Naturwissenschaften, 94: 12-24.
- CARTER, D. O., YELLOWLEES, D. & TIBBETT, M. (2010). *Moisture can be the dominant environmental parameter governing cadaver decomposition in soil*. Forensic Science International, 200: 60-66.
- CASTILLO, M. (2002). *Estudio de la entomofauna asociada a cadáveres en el Alto Aragón (España)*. Monografías Sociedad Entomológica Aragonesa, 6.
- CATTS E. P. (1992). *Problems in estimating the postmortem interval in death investigations*. Journal of Agricultural Entomology, 9:245-55.
- CATTS, E. P. & GOFF, M. L. (1992). *Forensic entomology in criminal investigations*. Annual Review of Entomology, 37: 253-272.
- COULSON, R. M., CURTIS, C. F., READY, P. D., HILL, N. & SMITH, D. F. (1990). *Amplification and analysis of human DNA present in mosquito blood meals*. Medical and Veterinary Entomology, 4:357-366.



- DE CARVALHO, L. (2009). *Toxicology and forensic entomology*. In, J. Amendt, C. Campobasso, L. M. Goff & M. Grassberger (eds) *Current Concepts in Forensic Entomology*. Springer, pp. 163–178.
- DEKEIRSSCHIETER, J., FREDERICKX, C., VERHEGGEN, F., BOXHO, P. & HAUBRUGE, E. (2013). *Forensic Entomology Investigations From Doctor Marcel Leclercq (1924-2008): A Review of Cases From 1969 to 2005*. *Journal of Medical Entomology*, 50(5):935-954.
- FIERROS-LOPEZ, H. & NAVARRETE-HEREDIA. (2001). *Altitudinal distribution and penology (Coleoptera Silphidae) From Nevado de Colima, Jalisco, México*. *Pan-Pacific Entomology*, 77 (1).
- GENNARD, D. (2007). *Forensic Entomology an Introduction*. Jonh Wiley and sons.
- GOFF, M. L. & ODOM, C. B. (1987). *Forensic entomology in the Hawaiian Islands: Three case reports*. *The American Journal of Forensic Medicine Pathology*, 8: 45-50.
- GOFF, M. L. (1993). *Estimation of postmortem interval using arthropod development successional patterns*. *Forensic Science Review*, 5: 82-94.
- GOFF, M.L. (2000). *A Fly for the Prosecution – How Insect Evidence Helps Solve Crimes*. Harvard University Press.
- GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, A. L., NAVARRETE-HEREDIA, J. L., QUIROZ-ROCHA, G. A. & LÓPEZ-CARO, J. B. (2013). *Coleópteros (Scarabaeidae, Trogidae y Silphidae) asociados a un cadáver de lechón Sus scrofa (Linnaeus, 1758) en el Bosque Los Colomos, Guadalajara, Jalisco, México*. *Acta Zoológica Mexicana (n. s.)*, 29(1): 252-254.
- GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, A. L., NAVARRETE-HEREDIA, J. L., QUIROZ-ROCHA G. A. & DELOYA C. (2015). *Coleópteros necrócolos (Scarabaeidae: Scarabaeinae, Silphidae y Trogidae) del Bosque Los Colomos, Guadalajara, Jalisco, México*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(3): 764-770.
- GULLAN, P. J. & P. S. CRANSTON. (2014). *The Insects: An Outline of Entomology*. Wiley-Blackwell. pp. 624.
- GREENBERG, B. (1991). *Flies as forensic indicators*. *Journal of Medical Entomology*, 28, 565–577.
- HALL, M., WHITAKER, A. & RICHARDS, C. (2012). *Forensic Entomology*. In, N. Márquez-Grant, N. & Roberts, J. (Eds.) *Forensic ecology handbook: from crime scene to court*. Hoboken: John Wiley & Sons. pp. 111–140.



- HART, A. J., WHITAKER, A. P. & HALL, M. J. R. (2008). *The use of forensic entomology in criminal investigations: how it can be of benefit to SIOs*. The Journal of Homicide and Major Incident Investigation, 4: 37–47.
- KADEJ, M. & HÁVA, J. (2015). *A Contribution to the Knowledge of Dermestidae (Insecta, Coleoptera) of Laos With Description of Four New Species*. Annals of the Entomological Society of America, 108(5): 912–921.
- KASPER, J., MUMM, R. & RUTHER, J. (2012). *The composition of carcass volatile proles in relation to storage time and climate conditions*. Forensic Science International, 223: 64-71.
- KREMEN, C. R., COLWEL, T., ERWIN, D., MURPHY, R., NOSS, & SANJAYAN, M. (1993). *Terrestrial arthropod assemblages: their use in conservation planning*. Conservation Biology, 7 (4): 796-807.
- LABRADOR, G. (2005). *Coleópteros necrófilos de México: Distribución y diversidad*. Trabajo monográfico de actualización. Licenciatura en Biología, CUCBA, Universidad de Guadalajara.
- LECLERCQ, M. & BRAHY, G. (1990). *Entomologie et médecine légale: origines, evolution, actualisation*. Revue Médicale de Liège, 45, 34858.
- LINVILLE J. G., HAYES, J. & WELLS J. D. (2004). *Mitochondrial DNA and STR analyses of maggot crop contents: Effect of specimen preservation technique*. Journal of Forensic Science, 49:1-4.
- LÓPEZ-CARO, J. B., QUIROZ-ROCHA, G. A., NAVARRETE-HEREDIA, J. L. & HERNÁNDEZ B. (2016). *Coleópteros necrócolos en cadáver de reptil, ave y mamífero en un Bosque de Pino perturbado y en una zona de cultivo de maíz en Zapopan, Jalisco, México*. Dugesiana, 23(1): 3-14.
- LÓPEZ-CARO, J. B., QUIROZ-ROCHA, G. A., VÁSQUEZ-BOLAÑOS, M. & NAVARRETE-HEREDIA, J. L. (2019). *Coleópteros Asociados a Cadáveres de Mamíferos: Diseño de una Jaula para la Protección de Cadáveres Durante el Muestreo de Artrópodos Necrócolos*. Southwestern Entomologist, 44(3): 659-666.
- LÓPEZ-CARO, J. B., CISNEROS-CABALLERO, A., QUIROZ-ROCHA, G. A., CASTAÑO-MENESES, G. & NAVARRETE-HEREDIA, J. L. (2023). *Ensamblajes de coleópteros necrócolos en cadáveres de mamíferos en un agroecosistema en Jalisco, México*. Dugesiana, 30 (2) 265-277.



- LORD, W.D. & STEVENSON, J.R. (1986). *American Registered Professional Entomologists*. Chesapeake Chapter.
- MANN, R. W., BASS, W. M. & MEADOWS, L. (1990). *Time Since Death and Decomposition of the Human Body: Variables and Observations in Case and Experimental Field Studies*. *Journal of Forensic Sciences*, 35(1): 103-111.
- MATUSZEWSKI, S., BAJERLEIN, D., KONWERSKI, S. & SZPILA, K. (2010). *Insect succession and carrion decomposition in selected forests of Central Europe. Part 2: Composition and residency patterns of carrion fauna*. *Forensic Science International*, 195: 42-51.
- MATUSZEWSKI, S., HALL, M. J. R., MOREAU, K. G., SCHOENLY, A. M. & TARONE, M. H. (2020). *Pigs vs people: the use of pigs as analogues for humans in forensic entomology and taphonomy research*. *International Journal of Legal Medicine*, 1-18.
- MATUSZEWSKI, S., KONWERSKI, S., FRĄTCZAK, K. & SZAFALOWICZ, M. (2014). *Effect of body mass and clothing on decomposition of pig carcasses*. *International Journal of Legal Medicine*, 128, 1039-1048.
- MÉGNIN, P. (1894). *La faune des cadavres. Application de l'entomologie a la médecine légale*. Encyclopedie scientifique des Aides-Mémoire, Masson, Paris, Gauthier-Villars.
- MICROSOFT. (2024). *Copilot IA*. [Diseño de imagen].
- MIZUKAMI, H., HATHWAY, B. & PROCOPIO, N. (2020). *Aquatic Decomposition of Mammalian Corpses: A Forensic Proteomic Approach*. *Journal of Proteome Research*, 19(5): 2122- 2135.
- NARANJO-LÓPEZ, A.G. & NAVARRETE-HEREDIA, J.L. (2011). *Coleópteros necrócolos (Histeridae, Silphidae y Scarabaeidae) en dos localidades de Gómez Farías, Jalisco, México*. *Revista Colombiana de Entomología*, 37 (1): 103-110.
- NAVARRETE-HEREDIA, J. L. (2001). *Silphidae (Coleoptera) en llorente. Biodiversidad taxonómica y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento*. IBUNAM-UNAM-CONABIO.
- NAVARRETE-HEREDIA, J.L. DELGADO, L. & FIERROS-LOPEZ, H. (2001). *Coleoptera Scarabaeoidea de Jalisco, México*. *Dugesiana*, 8 (1).
- NAVARRETE-HEREDIA, J. L. (2009). *Silphidae (Coleoptera) de México: Diversidad y distribución*. UdeG/CONABIO.
- NAVARRETE-HEREDIA, J. L. Y FIERROS-LÓPEZ, H. (1998). *Sílfidos de tres localidades en Jalisco, México*. *Dugesiana*, 5 (1).



- NAVARRETE-HEREDIA, J. L. Y FIERROS-LÓPEZ, E. (2011). *Burying beetles (Coleoptera Silphidae) from western Jalisco, Mexico. Abundance and Phenology*. Sociobiology, 53 (3).
- NAVARRETE-HEREDIA, J. L. & QUIROZ-ROCHA, G. A. (2014). *Entomología forense*. En H. R. Solis-Gadea & K. A. Planter-Perez (eds.), *Jalisco en el mundo contemporáneo aportaciones para una enciclopedia de la época. Tomo III, Ciencias biomédicas y Fisico-Químico-Biológicas*. Universidad de Guadalajara. pp.343-350.
- NELDER, M.P., MCCREADIE, J. W. & MAYOR, C. S. (2009). *Blow flies visiting decaying alligators: Is succession synchronous or asynchronous?* Psyche, 2009: 1-7
- RIVERA-CERVANTES, L. & GARCIA-REAL, E. (1998). *Análisis preliminar sobre la composición sobre los escarabajos necrófilos (Coleoptera: Silphidae y Scarabaeidae) presentes en dos bosques de pino (uno dañado por el fuego), en la Estación Científica de Las Joyas, Sierra de Manantlán, Jalisco, México*. Dugesiana, 5 (1).
- PAYNE, J. A. (1965). *A summer carrion study of the baby pig Sus scrofa Linnaeus*. Ecology, 46.(5):592–602.
- PAYNE, J. A., KING, E. W. & BEINHART, G. (1968). *Arthropod succession and decomposition of buried pigs*. Nature, 219 (5159):1180–1181.
- PAYNE, J. A. & KING E. W. (1970). *Coleoptera is associated with pig carrion*. Entomologist Monthly Magazine, 105: 224-232.
- PAYNE, J. A. & KING E. W. (1972). *Insect succession and decomposition of pig carcasses in water*. Journal Entomology Society, 7(3):153–162.
- SÁNCHEZ-ÁLVAREZ, G. & CUPUL-MAGAÑA, F. G. (2012). *Sobre la presencia de moscas califóridas (Diptera:Calliphoridae) en cadáveres de juveniles de cocodrilo americano (Cocodrylus acutus) en Puerto Vallarta, Jalisco*. BIOCYT, 5: 353–357
- SCHOENLY, K. & REID, W. (1987). *Dynamics of heterotrophic succession in carrion arthropod assemblages: discrete series or a continuum of change?* Oecologia, 73: 192-202.
- SHARANOWSKI, B. J., WALKER, E. G. & ANDERSON, G. S. (2008). *Insect succession and decomposition patterns on shaded and sunlit carrion in Saskatchewan in three different seasons*. Forensic Science International, 179: 219-240.
- SCHOLTZ, C. H. (1990). *Revision of the Trogidae of South America (Coleoptera: Scarabaeoidea)*. Journal of Natural History, 24: 1391-1456.



- SMITH, K. (1986). *A manual of forensic entomology*. Trustees of the British Museum (Natural History). Cornell University Press.
- STUART, B. H. & UELAND, M. (2017). *Decomposition in aquatic environments Taphonomy of human remains: forensic analysis of the dead and the depositional environment*. In E. Schotsmans, N. Márquez-Grant and S. Forbes (eds.), *Taphonomy of Human Remains: Forensic Analysis of the Dead and the Depositional Environment*. Wiley, pp. 235-250.
- SUNG, T. (1981). *The washing away of wrongs*. (Original title: *Hsi yüan chi lu*). Center for Chinese Studies, University of Michigan.
- TIBBETT, M. & CARTER, D.O. (2008). *Soil Analysis in Forensic Taphonomy: Chemical and Biological Effects of Buried Human Remains*. CRC Press.
- WALSH-HANEY, H. A., GALLOWAY, A. & BYRD, J. (2019). *Recovering Buried Bodies and Surface Scatter: The Associated Anthropological, Botanical, and Entomological Evidence*. CRC Press, pp. 187–212.
- ZENDER, R., LATASTE-DOROLLE, C., COLLET, R.A., ROWINSKI, P. & MOUTON, R.F. (1958). *Aseptic autolysis of muscle: Biochemical and microscopic modifications occurring in rabbit and lamb muscle during aseptic and anaerobic storage*. *Journal of Food Science*, 23: 305-326.
- ZHANG, Z. Q. (2011). *Animal biodiversity: An introduction to higher-level classification and taxonomic richness*. *Zootaxa*, 3148: 7-1

Tafonomía







Capítulo 15



Análisis tafonómico comparativo: la deposición y su relación con la estimación del intervalo post mortem

Dalia Nonatzin Miranda Díaz¹

Contribución arbitrada

Resumen

En la práctica forense habitual, la estimación del intervalo postmortem de personas fallecidas se basa, principalmente, en la condición física observable al momento del análisis. Sin embargo, esta estimación enfrenta desafíos significativos cuando el cuerpo ha sido inhumado, debido a que las condiciones de enterramiento complican la precisión del intervalo postmortem. Esta información es crucial para la investigación forense, ya que permite determinar el tiempo de muerte y, a su vez, establecer criterios cronológicos sobre el tiempo de vida. En el estado de Jalisco se han documentado numerosos sitios de inhumación clandestina, lo que subraya la necesidad de desarrollar un enfoque especializado para abordar esta problemática local. Esta investigación se centra en la experimentación controlada para comparar la condición física de los cuerpos recuperados, considerando la deposición como variable principal. Se examina y contrasta la condición tafonómica de los cuerpos de los cerdos recuperados para comparar las condiciones físicas de conservación o putrefacción en función del contexto de enterramiento.

1 Coordinadora Técnica Operativa de Identificación Humana del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses “Dr. Jesús Mario Rivas Souza”. Licenciada en Antropología, Licenciada en Criminología, Criminalística y Técnicas Periciales, y Maestra en Criminalística. Colaboradora en procesos de búsqueda, recuperación e identificación de personas en Jalisco.

Palabras clave o keywords: tafonomía, forense, antropología, inhumaciones clandestinas.

Introducción

El Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses “Dr. Jesús Mario Rivas Souza”, creado el 8 de junio de 1998, es un organismo público descentralizado con autonomía técnica y científica (IJCF, s.f.). Su visión es fomentar investigaciones científicas, contar con personal altamente capacitado y ser un referente en la generación de conocimiento. Entre sus objetivos destaca la operación del sistema de ciencias forenses en el marco de la legalidad aplicable, así como en el ámbito científico y técnico; lo que incluye la coordinación con otras dependencias y entidades (Gobierno de Jalisco, 1998). Un ejemplo de su compromiso con la investigación, es la colaboración continua con la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco (COBUPEJ). Esta colaboración abierta y coordinada tiene como objetivo generar conocimiento útil para la búsqueda, localización e identificación de personas fallecidas.

El IJCF realiza la recuperación de personas fallecidas e inhumadas clandestinamente en el estado de Jalisco, fortaleciendo para ello sus equipos con personal especializado en áreas como: antropología, arqueología, protección civil y prevención de riesgos. La información publicada en el sitio web de la Fiscalía Especial en Personas Desaparecidas, en su sección “Registro Estatal de Fosas Clandestinas”, muestra la incidencia de hallazgos desde diciembre del 2018 al mes de consulta. Esta información subraya la importancia de generar conocimiento especializado para el abordaje científico de estos sitios complejos. Y, en el mismo sentido, fortalecer la información individualizante que se genera del análisis postmortem de las personas fallecidas recuperadas.

En los sitios de inhumación clandestina, los cuerpos presentan diversas condiciones de deposición; la alteración o modificación que realizan los perpetradores influye de manera directa en el proceso tafonómico de conservación y/o descomposición del cuerpo de la persona fallecida. La estimación del intervalo postmortem es crucial para reconstruir la cronología de los hechos y estimar el tiempo de certeza de vida, por lo que resulta fundamental para la investigación de la identidad de las personas fallecidas recuperadas en estos sitios.

Habitualmente, el intervalo postmortem se estima únicamente a partir del estado físico del cuerpo, sin considerar las condiciones previas de muerte, transformación o deposición de la persona fallecida; lo que puede limitar la búsqueda de identidad. Por ello, la investigación se enfoca en observar el comportamiento tafonómico de los cuerpos cuando se conoce, de manera fehaciente, las variables de tiempo de muerte, condiciones de deposición y el medio ambiente. Se replicaron condiciones documentadas en sitios reales de Jalisco, que propician la complejidad para la identificación, como: la segmentación anatómica, la contención en bolsa plástica y la cobertura parcial con cal. Esta investigación busca proporcionar información útil para relacionar las condiciones de deposición con la estimación del intervalo postmortem.

En el marco de la investigación colectiva *Interpretar la naturaleza*, se establecieron fosas para llevar a cabo el estudio tafonómico experimental. Este estudio se basa en la experiencia obtenida a partir de la intervención de sitios de inhumación clandestina y en la hipótesis de que la condición tafonómica del cuerpo recuperado en un enterramiento está estrechamente relacionada con la condición de deposición, siempre que el tiempo de muerte y el medio ambiente sea el mismo. El objetivo principal del estudio es comparar la condición del cuerpo al ser recuperado, utilizando como variable dependiente a la condición tafonómica y, como variable independiente, a la condición de deposición.

Antecedentes

Los siguientes conceptos funcionan como marco referencial para delimitar la investigación: tafonomía, deposición e intervalo postmortem.

La palabra **tafonomía** proviene de dos palabras griegas, *taphos* (enterramiento) y *nomos* (ley), lo que, en un sentido literal, se traduce como “la ley del enterramiento” (Aguirre, 1997). Introducido en 1935 por Ivan Antonovich Yefremov, el término inicialmente se usó en paleontología para describir el estudio de la transición de los organismos hasta su fosilización (Gómez & Gío, 2009).

Con el paso del tiempo, la tafonomía ha demostrado tener múltiples aplicaciones. En un sentido general, se ocupa del estudio de la transformación de cuerpos -humanos y no humanos- una vez que ha ocurrido la muerte. En su aplicación forense -a través de la antropología



forense-, analiza los cambios ocurridos sobre el cuerpo humano: desde la muerte y hasta la recuperación del cadáver, así como su posterior análisis. Este enfoque es útil para diferenciar, por ejemplo, trauma óseo, de alteración o deformación causada por el sitio de depósito o por la manipulación humana o no humana.

La tafonomía forense se define como el uso de modelos, enfoques y análisis tafonómicos en contextos forenses para: estimar el tiempo desde la muerte, reconstruir las circunstancias previas y posteriores a la descomposición, y diferenciar entre el comportamiento humano y los procesos naturales. Schotsmans et al. (2017), sugieren una definición más amplia, en donde la tafonomía forense es el estudio interdisciplinar de lo que ha ocurrido con un organismo desde su muerte hasta su recuperación, evaluando el ambiente de depósito y los procesos peri y postmortem que afectan la preservación y degradación; con el fin de discriminar comportamiento humano de procesos naturales. En donde sus objetivos principales son: la identificación de la persona, la estimación del tiempo desde la muerte, las circunstancias de causa y forma de muerte y, si aplica, orientar al responsable. Por lo que se considera a todos los factores que podrían afectar el grado de descomposición y las condiciones en las que el cuerpo fue encontrado.

En el contexto forense, **deposición** se refiere al proceso mediante el cual un cuerpo es colocado o enterrado en un lugar específico después de la muerte, incluye tanto el acto físico de colocar el cuerpo en el lugar de enterramiento, como el contexto en el que ocurre este proceso, es decir, tanto el manejo del cuerpo antes y después de la inhumación, como las condiciones ambientales. La deposición, en tafonomía, es crucial para la estimación del intervalo postmortem y el estudio de los procesos tafonómicos, porque influye directamente en la manera en la que un cuerpo se descompone o preserva en el sitio de enterramiento. Es decir, que diferentes condiciones de deposición y/o ambientales, pueden alterar significativamente la condición tafonómica de un cuerpo al momento de su recuperación (Ubelaker, 1997).

El **intervalo postmortem** (IPM) se refiere al periodo de tiempo que ha transcurrido desde la muerte de una persona hasta el momento en que su cuerpo es examinado. Esta estimación es esencial para establecer una cronología de los eventos en la investigación forense. Es multifactorial e incluye cambios biológicos y químicos afectados por los cambios corporales, las condiciones ambientales o las condiciones de deposición del cuerpo (Schotsmans, 2017).

Investigaciones como la de Pittner et al. (2020), destacan que la estimación del intervalo postmortem es un desafío, ya que los cuerpos que son enterrados se descomponen

notablemente distinto en comparación con aquellos que lo hacen sobre el suelo. Relaciona los cambios postmortem vinculados a las condiciones del entierro. Además, presenta una evaluación metodológica de la descomposición postmortem humana a través del análisis de cuerpos donados en Europa.

Por otro lado, la investigación de Baliso et al. (2023), destaca la importancia de los estudios tafonómicos regionales; proponiendo el uso de investigaciones retrospectivas, ya que proporcionan información que ayuda a reconstruir el contexto del caso y favorece la identificación del individuo desconocido. Demostrando que el estudio tafonómico regional puede ser útil para localizar sitios de inhumación clandestina, a las personas inhumadas y a la identificación de personas.

Si bien múltiples factores intrínsecos y extrínsecos intervienen en la descomposición o conservación de un cuerpo, el análisis tafonómico es útil para descubrir, delimitar y diferenciar estas transformaciones. Es por ello que este estudio tiene como objetivo documentar la variación en las condiciones de recuperación de los cuerpos vinculándolas a las transformaciones intencionales.

Materiales y métodos

Este estudio incluye los hallazgos del proceso de recuperación de las fosas documentadas como F14 y F16, que se llevó a cabo el 30 de abril del 2024 en el sitio de experimentación ubicado en la Universidad Politécnica de Cajititlán, Jalisco; llamado Polígono 2. Lo anterior fue realizado y documentado por personas antropólogas, arqueólogas, criminalísticas, de protección civil y prevención de riesgos; todas adscritas a las áreas de Búsqueda y Recuperación, así como personal de la Unidad Interdisciplinaria para la Intervención de Sitios de Inhumación Clandestina, ambas áreas del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses “Dr. Jesús Mario Rivas Souza”.

La información relacionada con las consideraciones éticas, así como las correspondiente al sitio como son dimensiones, profundidades y condiciones de las fosas 14 (F14) y 16 (F16) se integran en el capítulo: “Experimentación forense: La historia de un proyecto”².

2

Recopilado en este mismo libro, en el apartado de Planteamiento General.



Se registró que los cerdos fueron sacrificados el mismo día que fueron enterrados, el 11 de septiembre de 2023. Lo anterior en distintas condiciones de deposición, con el objetivo de realizar la comparación de su estado de descomposición o conservación al desenterrarles. La fosa 14 (F14) corresponde al enterramiento de un cerdo segmentado y, como condición de deposición, fue contenido en una bolsa plástica. Mientras que la fosa 16 (F16), corresponde a un enterramiento directo, en donde su condición de deposición incluyó indumentaria y cobertura con cal.

Los cuerpos de los cerdos permanecieron enterrados durante 232 días. Para el análisis de los datos, al desenterrarles se documentó la condición tafonómica de sus cuerpos, es decir, qué características presentaban; ya sea de descomposición o, en su caso, de conservación. Todo ello con el objetivo de describir y contrastar dichas condiciones.

Materiales:

- Fosas de estudio: F14 y F16, ubicadas en el Centro de Experimentación de la Universidad Politécnica de Cajititlán, Jalisco.
- Sujetos de estudio: cerdos sacrificados y enterrados para el experimento.
 - I. Fosa F14: cerdo segmentado, contenido en bolsa plástica.
 - II. Fosa F16: cerdo enterrado directamente, con indumentaria y cubierto con cal.
- Duración del entierro: 232 días.

Métodos:

- Fecha de enterramiento: los cerdos fueron sacrificados y enterrados el 11 de septiembre de 2023.
- Proceso de enterramiento:
 - I. Fosa F14: el cerdo fue segmentado y contenido en una bolsa plástica antes de ser enterrado.
 - II. Fosa F16: el cerdo fue enterrado directamente en el suelo, con indumentaria y cal.
- Recuperación: se llevó a cabo el 30 de abril de 2024.
- Documentación y análisis:



- I. Proceso de la recuperación: se documentó, de manera exhaustiva y controlada, el proceso de excavación.
- II. La condición tafonómica: la condición de los cuerpos desenterrados se analizó para comparar y contrastar las diferencias.

Resultados y discusión

El día 30 de abril de 2024 -232 días posteriores a su inhumación- se desenterraron los cerdos. Para ello, personal del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses “Dr. Jesús Mario Rivas Souza”, aplicó la metodología de prospección, delimitación y recuperación que realiza habitualmente en contextos forenses reales. Con la participación de personas pertenecientes a colectivos de búsqueda de personas desaparecidas; a las cuales se les explicaron las acciones durante todo el proceso.

Recuperación

1. Se realizó un recorrido de superficie. El objetivo fue identificar cualquier riesgo a la seguridad que pudiera presentarse en el lugar.
2. Se prospectó buscando puntos de interés, identificando y delimitando los puntos de recuperación (Figura 1).
3. Se delimitaron los cuadrantes de trabajo correspondientes al F14 y F16 (Figura 2).
4. Se establecieron los puntos de referencia azimutales para la documentación espacial y métrica de los puntos de recuperación (fosas), así como la documentación de los hallazgos (Figura 3).
5. Se realizó la excavación controlada por capas, cerniendo y revisando la tierra; con el objetivo de no perder ningún indicio asociado al enterramiento.
6. Una vez identificado el hallazgo, las condiciones fueron totalmente diferenciadas. Por lo que se plasman por separado.



Tabla 1. Documentación de la recuperación



Figura 1. Prospección del sitio e identificación de puntos de interés.



Figura 2. Delimitación de puntos de recuperación.



Figura 3. Documentación de puntos de interés.



Figura 4. F14 y F16.

Fuente: elaboración propia con imágenes tomadas por personal del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses “Dr. Jesús Mario Rivas Souza”.

Resultados F14:

Al llevar aproximadamente 70 centímetros de profundidad, se documentó el hallazgo de lo que parecía ser un elemento plástico. Se procedió a perfilar el hallazgo que contenía el F14 que, efectivamente, correspondía a una bolsa plástica (Tabla 2).

1. Se documentó el hallazgo inicial de la bolsa y se continuó con la excavación controlada, respetando los límites originales de la fosa.
2. Una vez perfilada y documentada la bolsa, se realizó su recuperación, colocándola en una sábana de indicios, en donde se registró como “Bolsa 1”, se embaló y se etiquetó adecuadamente.
3. Finalizada la recuperación de lo contenido en ese punto, se documentó la profundidad final; además de confirmar el descarte de esa fosa.

Tabla 2. Procesamiento recuperación F14



Figura 5. Delimitación F14.



Figura 6. Documentación inicial.

Análisis tafonómico comparativo: la deposición y su relación con la estimación del intervalo post mortem



Figura 7. Excavación controlada.



Figura 8. Excavación.



Figura 9. Bolsa localizada.



Figura 10. Sábana de indicios "Bolsa 1".



Figura 11. Embalado y etiquetado.



Figura 12. Fondo descartado de la fosa.

Fuente: elaboración propia con imágenes tomadas por personal del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses “Dr. Jesús Mario Rivas Souza”.

4. La “Bolsa 1” se trasladó para su apertura y estudio (Tabla 3):
 - a. Se documentó la información contextual de la bolsa.
 - b. Se realizó la apertura del embalaje exterior, documentando a su vez el interior.
 - c. Se procedió a la apertura del embalaje interior, documentando que contenía el torso del cuerpo de un cerdo. El cual estaba segmentado e incompleto.
 - d. El tronco del cerdo presentaba tejido piel y pelo. Con una condición tafonómica mixta, que podría interpretarse como una putrefacción temprana, con un proceso de descomposición mixta, en la que en el lomo del cerdo se observaban características de conservación de tipo corificación y en la parte abdominal, saponificación o adipocira. Mientras que en los extremos superiores e inferiores, fue posible evidenciar la reducción esquelética de vértebras y elementos coxales.

Tabla 3. Documentación tafonómica Bolsa 1



Figura 13. Embalaje en sábana para su apertura y análisis tafonómico.



Figura 14. Acercamiento a embalaje general con etiqueta de identificación del caso.



Figura 15. Apertura del embalaje y visualización de lo documentado como "Bolsa 1".



Figura 16. Embalaje abierto y tronco del cerdo expuesto de manera preliminar. Se observa condición tafonómica.



Figura 17. Tronco del cerdo fuera de la bolsa, se observa, documenta y describe condición tafonómica mixta.

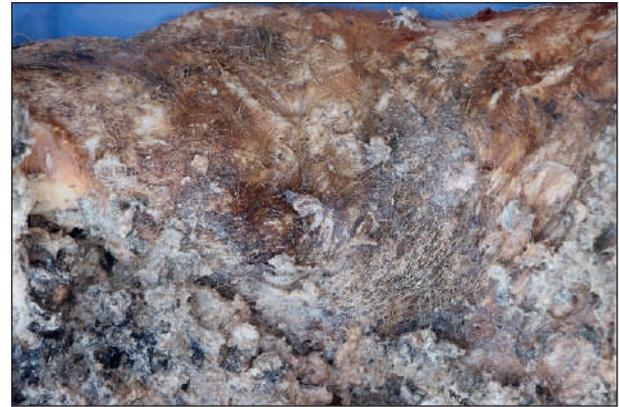


Figura 18. Acercamiento a lomo del animal: conserva pelo y la piel presenta características de corificación tendiente a la conservación.

Fuente: elaboración propia con imágenes tomadas por personal del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses “Dr. Jesús Mario Rivas Souza”.

Sobre los hallazgos, se documentó que si bien el cuerpo del cerdo había sido segmentado previo a la deposición, no se depositaron todos los elementos que conformaban su cuerpo en el punto, sino únicamente el tronco contenido en la bolsa. Una vez culminada la revisión y documentación de los hallazgos, se depositó y enterró nuevamente dentro del F14.

Resultados F16:

Al llevar aproximadamente 60 centímetros de profundidad, se documentó el hallazgo de lo que parecía ser una bóveda que, al resquebrajarse un orificio de aproximadamente 7 centímetros de diámetro, permitía observar líquido en su interior. Lo que generó una serie de dudas en relación al origen del líquido. Surgieron las hipótesis de que podría tratarse del líquido del tejido licuado y/o la integración de agua de nacimiento subterráneo. Entonces al tratarse de una recuperación compleja -debido a la imposibilidad para perfilar los elementos que se contenían-, se realizó lo siguiente (Tabla 4):

1. Se documentó el hallazgo de la bóveda y se continuó con la excavación controlada. Respetando los límites originales de la fosa.
2. Se documentaron los hallazgos. Los cuales fueron tierra que presentaba una textura mixta -al estar integrada la cal y el agua-, y los elementos de la piel del cerdo descompuesto.
3. Continuando el proceso de recuperación, se localizaron elementos óseos en reducción esquelética. En los cuales existía adhesión de restos de tejido descompuesto y tierra; además de fragmentos textiles, asociados a la indumentaria que vestía el cerdo.
4. Los elementos óseos se trasladaron a la sábana de indicios para su documentación. Los cuales correspondían a elementos de la cabeza del cerdo, diversas vértebras y elementos de extremidades.
5. Al tener la certeza de haber recuperado todos los elementos óseos contenidos en la F16, se documentó como final el fondo visible, que aún contenía líquido.

Tabla 4. Procesamiento recuperación F16



Figura 19. Delimitación F16.



Figura 20. Claqueta F16.



Figura 21. Excavación controlada.



Figura 22. Fosa perfilada en donde es posible apreciar orificio y bóveda.



Figura 23. Acercamiento a orificio extendido en donde es posible apreciar el líquido al interior.



Figura 24. Documentación superior de F16 en donde se aprecia líquido en su interior.

Merece la pena mencionar el descubrimiento de que el cuerpo del cerdo, en realidad, no estaba completo. Sí había sido segmentado. Después de indagar con el resto del equipo, se informó que al no contar con cerdos para todos los puntos, se tomó la decisión de distribuir de manera regular a los mismos en relación al peso. Es decir, que por cada punto se depositaron lo correspondiente a 50 kg de cerdo.

Con el objetivo de sistematizar los resultados documentados, en la Tabla 5 se integran los resultados:

Tabla 5. Sistematización de resultados

Variable	F14	F16
Municipio	Cajititlán, Jalisco	Cajititlán, Jalisco
Fecha de muerte y enterramiento	11/09/2023	11/09/2023
Fecha de recuperación	30/04/2024	30/04/2024
Duración total en días	232	232
Condiciones de deposición		
Integridad del cuerpo	Cuerpo segmentado	Cuerpo segmentado
Alteración térmica	No registrada	No registrada
Cal	No registrada	1 kg
Contención	Bolsa plástica	Depósito directo
Indumentaria	Ausente	Presente
Estado tafonómico	Mixto: Corificación, Saponificación o adipocira y esqueletización parcial.	Mixto: Reducción esquelética y licuefacción.
Descomposición	Temprana	Avanzada
Reducción esquelética	No registrada	Completa

Fuente: elaboración propia con información registrada en la recuperación.



Es posible reconocer las diferencias documentadas vinculadas a la condición de deposición de cada cerdo. Si bien los resultados pueden considerarse limitados al acotarse a la descripción de las condiciones tafonómicas, se destaca la importancia de considerar la estimación del intervalo postmortem en el abordaje forense.

Conclusiones

La colaboración interinstitucional ha demostrado ser altamente beneficiosa; integra conocimientos científicos, técnicos y humanos. Es a través de estos intercambios que es posible generar conocimiento para buscar desde la razón, la lógica y la ciencia; posibilitando la generación de estrategias para enfrentar los desafíos forenses que derivan de la localización de personas fallecidas inhumadas clandestinamente.

Este estudio comparativo experimental, confirma que las condiciones tafonómicas de los cuerpos no son las mismas, a pesar de haber sido enterrados en condiciones similares. La diferencia principal radica en la condición de deposición. Fue posible documentar los contrastes en relación al estado tafonómico que presentaba cada uno, a pesar de haber muerto el mismo día, estar depositados en el mismo medio, tipo de tierra y estar expuestos a temperaturas y parámetros similares; donde la variable determinante consistió en la condición de deposición de los cuerpos.

Si bien en ambos cuerpos se corroboró que fueron segmentados, en la F14 la bolsa plástica funcionó como medio de contención y conservación; mientras que, en la F16, al haber sido depositado directamente sin bolsa y con cal, presentó un proceso natural de descomposición y reducción más avanzado, destacando la influencia de la cal en la capa superior de la bóveda documentada.

Si bien el proceso tafonómico está influenciado por múltiples factores, estas investigaciones propician la necesidad de realizar estudios complementarios. La estimación del intervalo postmortem es un reto complejo, al ser de suma importancia para la generación de hipótesis de identificación, se sugiere profundizar la investigación de estos fenómenos en territorio jalisciense.



Referencias

- COMISIÓN NACIONAL DE BÚSQUEDA. (2020). *Protocolo Homologado para la Búsqueda de Personas*. Secretaría de Gobernación.
- COMISIÓN NACIONAL DE BÚSQUEDA. (2024). *Mapa de hallazgos de fosas clandestinas*. Secretaría de Gobernación. <https://hallazgosfosasclandestinas.segob.gob.mx/>
- COMISIÓN NACIONAL DE BÚSQUEDA. (2024). *Registro Nacional de Personas Desaparecidas y No Localizadas (RNPDO)*. Recuperado de: <https://versionpublicarnpdno.segob.gob.mx/Dashboard/ContextoGeneral>
- AGUIRRE, E. (1997). *La tafonomía como ciencia: aspectos epistemológicos*. Cuadernos de Geología Ibérica, pp. 37-52.
- BALISO, A., HEATHFIELD, L. & GIBBON, V. (2023). *Informing regional taphonomy research using retrospective forensic anthropology cases in the Western Cape, South Africa*. ELSEVIER, 164 - 172.
- SCHOTSMANS, N.(Ed.). (2017). *Taphonomy of Human Remains*. Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd.
- ELIZONDO J., TROYO, A., & CALDERÓN, Ó. (2019). *Determinación del intervalo post mortem mínimo (IPM) basado en un modelo de acumulación térmica con una cepa de Lucilia eximia (Diptera: Calliphoridae) de Costa Rica*. Revista Biomédica, 30(2). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-84472019000200051
- FEPD. (2023). *Registro Estatal de Fosas Clandestinas*. Fiscalía Especial en Personas Desaparecidas. <https://fiscaliaenpersonasdesaparecidas.jalisco.gob.mx/registro-estatal-de-fosas-clandestinas/>
- FEPD. (2024). *Sitios de Inhumación Clandestinos*. Fiscalía en Personas Desaparecidas Jalisco. <https://fiscaliaenpersonasdesaparecidas.jalisco.gob.mx/registro-estatal-de-fosas-clandestinas/>
- GOBIERNO DEL ESTADO DE JALISCO. (1998). *Ley orgánica del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses*. Congreso del Estado.
- GÓMEZ, C., & GÍO, R. (2009). *La tafonomía, una ciencia nueva que estudia el pasado geológico*. Ciencias, 16 - 23.



- IJCF. (s.f.). *¿Quiénes somos?*. Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses
<https://cienciasforenses.jalisco.gob.mx/acerca-de/quienes-somos>
- INTERPOL . (2018). *Guía de INTERPOL para la Identificación de Víctimas de Catástrofes (IVC)*. Organización Internacional de Policía Criminal.
- NACIONES UNIDAS. (2017). *Protocolo de Minnesota sobre la Investigación de Muertes Potencialmente Ilícitas (2016)*. Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos (ACNUDH).
- ORTIZ, L., URIBE, B., HIDALGO, L., ALONSO, M., SARMIENTO, A., IRURITA, J. & BARTOLOMÉ, L. (2021). *Estimation of the post-mortem interval of human skeletal remains using Raman spectroscopy and chemometrics*. *Forensic Science International*, 329.
- PÉREZ, R. (2013). *Tanatología Forense*. Universidad Oberta de Catalunya.
- PITTNER, S., BUGELLI, V., BENBOW, M., EHRENFELLNER, B., ZISSIER, A., CAMPOBASSO, C. & AMENDT, J. (2020). *The applicability of forensic time since death estimation methods for buried bodies in advanced decomposition stages*. *PLoS ONE*, 1 - 26.
- UBELAKER, D. (1997). *Taphonomic Perspectives on Forensic Anthropology, in Forensic Osteology: Advances in the Identification of Human Remains*. Charles C. Thomas Publisher, pp. 105-115.
- WILLIAMS, A., ROGERS, C., & CASSELLA, J. (2019). *Why does the UK need a Human Taphonomy Facility?* *ELSEVIER*, 74 - 79.

Educación **forense**







Capítulo 16



Simulación de fosas clandestinas como estrategia pedagógica en la formación del científico forense: participación del estudiantado de la Licenciatura en Ciencias Forenses en el proyecto de vinculación entre la COBUPEJ y la Universidad de Guadalajara

Denisse Ayala Hernández, Alma Cristina Padilla De Anda
y Teresita De Jesús Bustamante Flores
Contribución arbitrada

Resumen

El presente capítulo establece los antecedentes que llevaron a la creación del primer laboratorio de una universidad pública denominado “granja forense”, con el objetivo de realizar experimentación pericial, para la formación de competencias de los científicos forenses que estudian en la Universidad de Guadalajara (UdeG).

Al mismo tiempo se incentiva a la vinculación con otras instituciones, desde un abordaje multidisciplinar e integral, de problemáticas sociales como es la desaparición de personas y la presencia de fosas clandestinas, donde se configuran condiciones para que el estudiantado se forme en contextos de realidad.

También se aborda el desarrollo de un experimento por parte de la Comisión Estatal de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco (COBUPEJ), la UdeG, el Centro de Investigación en Ciencias de la Información Geoespacial (CentroGeo), el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO) y algunas otras instituciones que, a su vez, contaron con el apoyo del estudiantado de la carrera de Ciencias Forenses.

Palabras clave: científico forense, ciencias forenses, interdisciplina, pedagogía, laboratorio forense, granja forense.

I. Introducción

Las granjas forenses, también conocidas como “body farms”, son instalaciones de investigación donde se estudia la descomposición de cuerpos humanos en diversas condiciones ambientales. Estos estudios son cruciales para el avance de la antropología forense y la ciencia forense en general, ya que permiten a los científicos comprender mejor los procesos de descomposición y mejorar las técnicas para estimar el tiempo de muerte y la identificación de cuerpos en investigaciones criminales.

La primera y más conocida “body farm”, establecida en 1981, tiene su ubicación en la Universidad de Tennessee¹. Asimismo, en la Universidad de Carolina del Oeste ², existe un laboratorio que ofrece un entorno diferente para estudiar la descomposición debido a su clima y geografía.

Por su parte, en la Universidad Estatal de Texas ³ poseen la instalación más grande de su tipo, con un laboratorio al aire libre. Otros ejemplos son, sin duda, la Universidad Estatal Sam Houston ⁴ y la Universidad del Sur de Illinois ⁵, que ofrecen condiciones de estudio específicas para el clima del medio oeste; mientras que la Colorado Mesa University ⁶ aprovecha el ambiente árido para la investigación (Klein, 2014; Wolff, 2015).

En nuestro país, en 2021 la Universidad de Guadalajara (UdeG) creó el primer laboratorio al aire libre para la experimentación forense dentro de las instalaciones del Centro Universitario de Tonalá (CUTonalá). El propósito inicial de la granja forense fue contar con un espacio para la inhumación de restos orgánicos, para la investigación multidisciplinaria relacionadas con los campos biológico, social y de la información.

1 Ubicada en Knoxville, Tennessee, Estados Unidos.

2 Ubicada en Cullowhee, Carolina del Norte, Estados Unidos.

3 Ubicada en San Marcos, Texas, Estados Unidos.

4 Ubicada en Huntsville, Texas, Estados Unidos.

5 Ubicada en Carbondale, Illinois, Estados Unidos.

6 Ubicada en Grand Junction, Colorado, Estados Unidos.



Derivado del rol de la UdeG como formadora del perfil del científico forense y su inherente relación con las diferentes áreas del conocimiento, se inscribe la colaboración interinstitucional para el proyecto “Interpretar la naturaleza para encontrar a quienes nos faltan”. Éste hizo posible la participación del estudiantado de la licenciatura en Ciencias Forenses en la implementación y desarrollo de un protocolo de investigación, relacionado con la desaparición de personas y la localización de víctimas en inhumaciones clandestinas.

A partir de esta experiencia, se comparten las perspectivas de participantes para identificar, por una parte, la relevancia que logran dichos ejercicios y por otra, la importancia de este tipo de laboratorios que orientan sus actividades en un sentido pedagógico, y que involucra la formación y las competencias profesionales del perfil del científico forense que la realidad demanda.

II. Antecedentes: la Universidad de Guadalajara como formadora de científicos forenses

El programa de la licenciatura en Ciencias Forenses de la UdeG — que se gestiona de forma intercentros, colaborando entre sí el CUTonalá y el Centro Universitario de Ciencias de la Salud (CUCS) —, comenzó a formar estudiantes desde el año 2018.

Actualmente cuenta con cinco generaciones de personas egresadas. Es un programa académico que surgió impulsado por coyunturas y contextos que demandaban el perfil profesional, frente a un Poder Judicial que reformó el modo de integrar las investigaciones y desahogo de pruebas ante la implementación del “Nuevo Sistema de Justicia Penal” (implementado en el país en el año 2016). Así se identifica en el dictamen de creación de la licenciatura (Consejo General Universitario, UDG [C.G.U], 2017):

... en el sistema de justicia actual, las ciencias forenses juegan un papel fundamental porque proveen información científica basada en el análisis de evidencia física, dando la debida importancia a la valoración de la prueba. El 18 de junio de 2008 se reformó el artículo 20 de la Constitución Federal, con lo que se da inicio a la transformación del sistema de justicia penal convencional para dar paso al sistema de justicia penal oral acusatorio adversarial, en el que se contempla la mediación, con el objeto de imprimir mayor efectividad, con una justicia expedita. Esta reforma equivale a preparar y renovar todo el aparato de justicia, desde el tribunal más alto hasta el policía de línea, incluyendo



el procesamiento y la judicialización de las pruebas, tanto desde el ámbito de su optimización como de la cadena de custodia; estos últimos relacionados íntimamente con las Ciencias Forenses (...) Que actualmente, la prueba pericial es un apoyo muy importante para el Ministerio Público como encargado de la investigación de los delitos. La entrada en vigor del sistema penal acusatorio obliga a formar profesionales altamente capacitados para poder demostrar ante la autoridad judicial el conocimiento técnico-científico, mediante la emisión y defensa de su dictamen pericial. Los cambios en los sistemas judiciales y en las políticas de seguridad pública han dado como resultado la incorporación de criterios de operación más apegados a normas y procedimientos científicos y legales. Entre ellos, cabe resaltar la sustitución de la confesión del inculpado, como prueba absoluta de verificación por la llamada prueba pericial. Este cambio en la organización judicial para deslindar la responsabilidad de un hecho delictivo, tiene consecuencias directas la necesidad y demanda de profesionistas de las ciencias forenses en el aparato judicial.

En este sentido, la pertinencia del programa fue avalada, entre otros elementos, gracias a la identificación de los sectores en los que las y los profesionales podría desarrollarse: Poder Judicial Federal; centros federales de readaptación social; Fiscalía General de la República; Policía Federal Preventiva; Secretaría de Comunicaciones y Transportes; Comisión Nacional de Derechos Humanos; Instituto Nacional de Justicia Alternativa; Protección Civil Federal; tribunales de justicia de las entidades federativas; centros estatales de readaptación social; procuradurías o fiscalías de las entidades federativas; comisiones estatales de derechos humanos; comisiones estatales de arbitraje médico; institutos estatales de justicia alternativa; organismos públicos descentralizados estatales de policías estatales preventivas; instituciones estatales de protección civil; juzgados municipales; universidades públicas; compañías de seguros; universidades privadas; hospitales privados y corporativos jurídicos (Consejo General Universitario, UDG [C.G.U], 2017).

El inciso 32 del dictamen de creación del programa es relevante pues en él queda puntualizado un aspecto de suma importancia: que las ciencias forenses son multidisciplinarias, ya que no existen áreas dominantes, sino que todas son importantes en el procedimiento judicial al que se va a auxiliar. En los hechos con responsabilidad jurídica en el ámbito civil, penal, laboral, mercantil, entre otros, por lo que no es posible concentrar en un solo individuo el conocimiento íntegro del saber, lo que hace necesario compartir la responsabilidad y recibir el auxilio, asesoría y consejo de otro conocedor de la ciencia.

En la actualidad, la prueba pericial es uno de los apoyos más importantes para decidir en las acciones de procuración e impartición de justicia. Una de las razones por las cuales la Licenciatura en Ciencias Forenses tiene tres orientaciones terminales:

- **Campo biológico:** aplica la metodología propia en el campo de las ciencias naturales, en el lugar de los indicios y en laboratorio, mediante el uso de tecnología avanzada para contribuir con confiabilidad al esclarecimiento de la evidencia.
- **Campo social:** analiza el comportamiento humano, identificar las razones de los actos delictivos y los involucrados y, con fundamentos científicos, pronostica el riesgo social.
- **Campo de la información:** evalúa la información documental y digital en entornos reales o virtuales, con herramientas tecnológicas y de comunicación, mediante técnicas de investigación para la reconstrucción de hechos o estimación de amenazas (Consejo General Universitario, UDG [C.G.U], 2017).

El inciso 38 del dictamen es medular para la caracterización del programa. Señala que el objetivo general de la Licenciatura en Ciencias Forenses es formar profesionales de alto nivel, con conocimientos científicos y multidisciplinarios, con habilidades para indagar hechos por medio del estudio de indicios y evidencias, para poder emitir dictámenes fundamentados jurídicamente, se enfoca en la demostración de la verdad y la aplicación certera de la justicia, dentro de la ética y la norma legal.

La Licenciatura desarrolla en sus estudiantes conocimientos técnicos, prácticos, científicos y que utilizan la tecnología avanzada en la investigación. Es un programa que contribuye, de manera directa, en la correcta procuración, administración e impartición de la justicia, distinguiendo a sus egresados por su pensamiento crítico y su habilidad para la resolución de problemas en el marco del respeto a los derechos y la dignidad humana. Sus objetivos particulares son:

- Adquirir conocimientos teóricos, metodológicos, científicos, técnicos e instrumentales propios de las distintas disciplinas forenses.
- Desarrollar habilidades y destrezas requeridas para el debido desempeño de la práctica de la profesión en las ciencias forenses, así como su participación en el nuevo sistema de justicia.



- Promover el pensamiento crítico del estudiante hacia la participación en la resolución de los problemas relacionados con su entorno social (Consejo General Universitario, UDG [C.G.U], 2017).

2.1. El perfil multidisciplinario del científico forense

Se entienden como “ciencias forenses” a aquellas disciplinas que tienen por objetivo la implementación del saber científico en busca de la adecuada impartición de la justicia, esto a través del análisis metodológico y sistemático de indicios y evidencias en casos tanto penales como civiles, administrativos o de cualquier otra índole.

Si bien, son un conjunto de disciplinas relativamente novedosas, han tenido un crecimiento bastante acelerado en los últimos años (Soria, 2018). Para su reconocimiento, sin duda, juega un papel importante la priorización de la prueba científica en los sistemas de justicia, así como la introducción de nuevas capacidades tecnológicas y al incremento de la conciencia de los servicios forenses.

Como queda plasmado en el dictamen de creación, la característica multidisciplinaria del perfil es una de sus mayores fortalezas, ya que busca la recolección, el análisis, la integración, la interpretación y la presentación de la información desde distintas perspectivas científicas para generar un mapa más completo en la búsqueda de la resolución de un caso jurídicamente controversial.

Dentro de la formación académica de perfiles profesionales novedosos como lo es el del científico forense y como respuesta a las realidades complejas en las que vivimos es relevante la incorporación de visiones distintas de las situaciones, sean reales o simuladas, lo cual, como mencionan Santos et al. (2017 citados en Barrientos-Cabezas, 2020), enriquece el proceso de enseñanza y aprendizaje para el estudiantado potenciando así competencias relacionadas a la comunicación y al trabajo colaborativo.

Desde el plan de estudios se refleja este perfil multidisciplinario, encontrándose unidades de aprendizaje que van desde las ciencias básicas como las matemáticas, la física o la química; las ciencias sociales como la sociología, la antropología y la demografía; así como ciencias biológicas como es la anatomía, la patología, la genética, entre otras, todas relacionadas al derecho y el contexto jurídico donde se aplicarán. Con este bagaje, al tener conocimiento tanto de los aspectos de las tecnologías de la información como de las distintas disciplinas,

se facilita la convergencia para proponer nuevas metodologías de análisis y procesamiento de los datos.

Esta formación hace factible la participación del científico forense en las distintas etapas del proceso de un caso: desde la recolección de indicios y evidencias (en la que participa en gran medida la criminalística, pero que también se puede apoyar– entre otras áreas– de la criminología y la psicología forense para tener un panorama más amplio del lugar de los hechos). Posteriormente, el análisis de lo documentado requiere, a su vez, de un gran número de técnicas y disciplinas como son la toxicología, balística y odontología forense.

En lo que refiere a la interpretación del contexto del sitio de los hechos, entre las disciplinas que participan en la comprensión global se encuentran la psicología forense, con el estudio del comportamiento de los involucrados en un hecho; o la misma antropología forense, que permite mayor información al respecto de la identificación de restos humanos y las circunstancias de la muerte.

El científico forense, además, cuenta con los conocimientos jurídicos que le permitan transmitir de manera precisa los resultados obtenidos de sus análisis ante un tribunal.

En consecuencia no es exagerado decir que las ciencias forenses son ejemplo claro de la importancia de la multidisciplinariedad en la propuesta de proyectos de investigación dentro de las universidades, para coadyuvar en respuestas a las distintas problemáticas, a fenómenos tan complejos y prioritarios como lo son la violencia exacerbada en nuestro país, la desaparición de personas y, desde luego la búsqueda, identificación y procesamiento de fosas clandestinas.

El enfoque resulta indispensable para asegurar la precisión, confiabilidad y coherencia en la recolección, análisis e interpretación de la evidencia que, a su vez, fortalece la administración de justicia.

2.2. La comprensión de los fenómenos de la violencia a partir del desarrollo de protocolos de investigación y la participación de las universidades

Los hechos controvertidos en los que una persona pierde la vida, o bien los actos de tortura, o los eventos violatorios de derechos humanos, son ejemplos de los principales aspectos de interés de las ciencias forenses. En este sentido, contar con una cartografía de la tipología de la violencia que rodea a la sociedad jalisciense y mexicana en términos generales se constituye en un insumo para pensar en los programas académicos, las clases, las materias, los contenidos



curriculares, los tipos de prácticas, pero fundamentalmente las líneas de investigación que se fomentan, bajo el argumento de que sea la racionalidad científica, quien realice sus aportes a la comprensión de los fenómenos de la violencia. Zizek (2009) piensa similar cuando afirma:

No estamos hablando de la ciencia como tal, así que la idea de la ciencia enfrentada en parte a la “libertad de pensamiento” no es una variación de la noción de Heidegger de que “la ciencia no piensa”. Hablamos de cómo funciona la ciencia como fuerza social, en tanto que institución ideológica: a este nivel, su función es proporcionar certidumbre, ser un punto de referencia en el que podamos apoyarnos y que nos traiga esperanza. Las nuevas invenciones tecnológicas nos ayudarán a luchar [...]. (P. 103)..

El enfoque objetivo sirve de marco para interpretar los aspectos de la realidad que requieren la atención de las ciencias, misma que en las comunidades académicas terminan por afectar en la suscripción de ciertas líneas y orientaciones de las investigaciones, buscando de este modo, producir conocimiento que aporte no sólo al estado del arte, sino a la resolución de los problemas que nos aquejan como sociedad.

Ahora bien, conocido de todas las personas es que en el país se viven dos crisis humanitarias, por una parte, la crisis de personas desaparecidas y, por otro lado, la crisis forense. En concordancia con lo anterior, en un contexto amplio se reconoce que nuestro país atraviesa por una etapa donde las formas de las violencias se han vuelto cada vez más explícitas, y los mecanismos para ejercerla se expresan en la violencia homicida, la desaparición de personas y los hallazgos — por desgracia — cotidianos de fosas clandestinas a todo lo largo y ancho del país. Tal es la magnitud, que los datos oficiales han reconocido la comisión de hasta 101 homicidios en un día, lo que sobrepasa la ya exacerbada cantidad de 77 que, anteriormente, se estimaba que se cometían cada 24 horas (Varela et al., 2024).

Por su parte el Registro Nacional de Personas Desaparecidas y No Localizadas reconoce en sus cifras oficiales 116,057 personas desaparecidas (Comisión Nacional de Búsqueda de Personas, 2024) ⁷ y, a octubre del 2023, investigaciones periodísticas contabilizaban la localización de 5,600 fosas clandestinas (Tzuc, 2023) una tragedia humanitaria.



Jalisco, particularmente, encabeza la acumulación de casos de personas desaparecidas en el país (Comisión Nacional de Búsqueda de Personas, 2024) ⁸, situación que se suma al rezago en la identificación de personas y una crisis forense alimentada por la violencia homicida (Gutiérrez, 2024), vinculada a entornos de exterminio en los que se ocultan cuerpos de víctimas. Sitios conocidos como fosas clandestinas, incluso reconocidas en la legislación estatal (Ley de Personas Desaparecidas del Estado de Jalisco, 2021).

Lo anterior marca una perfilación de la tipología delictiva y de la violencia que define en gran medida la ruta que deben tomar los problemas de investigación que se pueden plantear desde el estudiantado donde, de algún modo, la academia se construya dentro de los linderos del sentido que marca la realidad.

Que lleven a mirar estas violencias desde esa postura, no solo multidisciplinar, sino además interdisciplinar e interinstitucional, a fin de reconocer y formular soluciones que en un trazo de mediano y largo plazo pueda incidir en la intervención de dichos retos.

2.3. Contexto del laboratorio: caracterización e intención pedagógica del uso

En un contexto como el anteriormente descrito (que demanda competencias y habilidades profesionales específicas) a partir del diseño académico del Mtro. Marvin Rojas González – profesor de la Licenciatura – se gestionó el proyecto de un laboratorio para llevar a cabo simulaciones, con el propósito de emular en lo más posible los contextos de los lugares de intervención relativos a los hallazgos de fosas clandestinas.

Así fue como se consolidó la granja forense en las instalaciones del CUTonalá, como un laboratorio al aire libre destinado para la formación y capacitación de los alumnos en la carrera de Ciencias Forenses, en procesos relacionados con la desaparición forzada y la desaparición cometida por particulares.

Se concibió estratégicamente, ya que en el ejercicio profesional se está en auxilio y en conjunto de la trilogía investigadora (Ministerio Público, Policía Ministerial y peritos) y por tanto, la generación de laboratorios de contexto de campo se constituyen en ecosistemas primordiales para la formación de las competencias profesionales que ayudarán en la procuración de la justicia.

8 Al corte del 31 de julio de 2024, Jalisco sumaba 12,258 hombres, 2, 186 mujeres y 20 personas de sexo indeterminado con estatus activo en la categoría de persona desaparecida.



La intención fue obtener apoyo para contar la excavación, inhumación y exhumación de restos orgánicos y la simulación de fosas clandestinas. Dentro de las materias que se ven beneficiadas con este espacio están: Criminalística, Química Forense, Balística, Métodos de Investigación en el lugar de los hechos, Ciencias Forenses, Microscopía Forense, Intervención Pericial, Entomología General, Antropología Forense, Informática Forense, Fotografía y Video Forense, Entomología Forense, Contabilidad Forense, Genética Forense, Toxicología, Delitos Cibernéticos, Criminalística de Campo, Identificación de Personas, Reconstrucción Cráneo Facial, Ciberseguridad y Tratamiento de Evidencias Digitales.

Asimismo, uno de los resultados esperados, fue la vinculación de la Licenciatura con otros sectores de la sociedad civil, como las colectivas y colectivos de búsqueda, así como otras instituciones gubernamentales y no gubernamentales que gestionan esfuerzos para la comprensión del problema de la desaparición de personas.

III. Contacto y vinculación entre la Universidad de Guadalajara y la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco. Reunión y exposición del protocolo de investigación

Con el objetivo de desarrollar nuevas técnicas que apoyen a la búsqueda de personas, y de acuerdo con lo descrito en la Ley General en Materia de Desaparición Forzada de Personas, Desaparición Cometida por Particulares y del Sistema Nacional de Búsqueda de Personas (2017), la Ley de Personas Desaparecidas del Estado de Jalisco (2021) y el Protocolo Homologado para la Búsqueda de Personas Desaparecidas y No Localizadas (PHB) (2020); y dada la relación observada entre el fenómeno de la desaparición de personas y la localización de fosas (Ruiz, 2019), la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco (COBUPEJ) se dio a la tarea de desarrollar un protocolo de investigación relacionado con distintas variables que pudieran observarse en lugares donde se han localizado inhumaciones clandestinas titulado “Programa de investigación científica para el desarrollo de herramientas en la localización de fosas clandestinas, a través del análisis correlacional de variables físicas, químicas y espectrales en la descomposición de cadáveres” (COBUPEJ, 2023a) ⁹.



Asimismo, con el propósito de que este proyecto fungiera como un espacio para generar aprendizaje y buscar la retroalimentación no solo con integrantes de la Comisión de Búsqueda, sino entre estudiantes, especialistas en distintas áreas relacionadas con las ciencias forenses, colectivos y colectivas, se generó la colaboración entre el Departamento de Justicia Alternativa, Ciencias Forenses y Disciplinas afines al Derecho del CUTonalá y la Dirección de Análisis y Contexto (DAC) de la COBUPEJ, dando como resultado la posibilidad de utilizar la granja forense como uno de los sitios de experimentación.

Gracias a dicha colaboración y a fin de incentivar el desarrollo de profesionales capacitados en el área de las ciencias forenses, en abril del 2023 personal especializado en las áreas de química, biología y urbanismo — de la Dirección de Análisis de Contexto (DAC) de la COBUPEJ — asistieron al Centro Universitario para exponer el planteamiento general del proyecto a los estudiantes de la Licenciatura en Ciencias Forenses, generar diálogo e invitarlos a participar en su desarrollo e implementación.

El proyecto consistió, principalmente, en la excavación de 16 fosas donde se inhumaron cadáveres de cerdo *Sus scrofa* bajo distintos tratamientos y tomando en cuenta dos profundidades distintas en las excavaciones (Tabla 1), para posteriormente realizar un estudio multidisciplinar conformado por análisis fisicoquímicos de suelo, entomología, botánica, análisis fotogramétricos y multiespectrales, mapeo y estudio de la estructura del suelo con georradar, resistividad eléctrica y análisis tafonómico (COBUPEJ, 2023a).

Aunado al planteamiento general, para dar contexto a la investigación, se planteó la creación del llamado mapa “geomorfoedafoclimatológico” que, como su nombre lo indica, pretendía englobar las características geológicas, geomorfológicas, edafológicas y climatológicas relacionadas a sitios donde previamente fueron localizadas inhumaciones clandestinas dentro del área metropolitana de Guadalajara (AMG), con el fin replicar los experimentos en lugares representativos de fosas reales, y procurar que los resultados de la investigación fueran significativos y confiables.

También se describieron los antecedentes, hipótesis, objetivos, justificación, metodología y cronograma previamente establecidos por el personal de la COBUPEJ.

Tomando en cuenta las etapas tafonómicas de los cuerpos, el tiempo planteado para el desarrollo de la experimentación fue de 1 año y 3 meses y la profundidad de las muestras se determinó de acuerdo a la siguiente tabla:



Tabla 1. Fosas excavadas en el sitio de experimentación: profundidad de las excavaciones, tipo de inhumación e identificación

TRATAMIENTO DEL CUERPO	PROFUNDIDAD (metros)	IDENTIFICACIÓN DE LA FOSA (F)
Sin cuerpo (control)	0.75	F1
Sin cuerpo (control)	1.25	F2
Cuerpo completo	0.75	F3
Cuerpo completo	1.25	F4
Cuerpo seccionado	0.75	F5
Cuerpo seccionado	1.25	F6
Cuerpo con cal	0.75	F7
Cuerpo con cal	1.25	F8
Cuerpo seccionado dentro de bolsa	0.75	F9
Cuerpo seccionado dentro de bolsa	1.25	F10
Cuerpo envuelto en cobija	0.75	F11
Cuerpo envuelto en cobija	1.25	F12
Cuerpo calcinado	0.75	F13
Cuerpo calcinado	1.25	F14
Restos óseos	0.75	F15
Restos óseos	1.25	F16

Fuente: elaboración propia a partir de COBUPEJ (2023a).

Al finalizar la presentación preliminar del proyecto en CUTonalá, los estudiantes mostraron gran interés por participar en el proyecto, lo que dio la pauta para que expresaran sus inquietudes antes de iniciar con el proceso experimental.

3.1. Descripción del proceso y actividades

El plan de trabajo que se presentó a los estudiantes puede describirse en 6 etapas principales: creación de equipos de trabajo, excavación de las fosas, plantación de árboles dentro y fuera

del sitio de experimentación, inhumaciones, muestreos y análisis multidisciplinarios a lo largo de la investigación; y exhumaciones.

La forma detallada de la participación de estudiantes, en cada una de las fases, se describe a continuación:

- a) **Creación de los equipos de trabajo.** Inicialmente se formaron 16 equipos de trabajo correspondientes al número de fosas, para dar seguimiento puntual a la experimentación. Así, los alumnos se comprometieron a presentarse en todas las etapas planteadas y apoyar desde la excavación de las fosas hasta la exhumación de los cuerpos. Catorce de los equipos se relacionaron con las fosas que contenían porcinos, y cada uno fue conformado por tres estudiantes de la Licenciatura en Ciencias Forenses. Los dos equipos restantes, encargados de las fosas de control, quedaron bajo responsabilidad de la COBUPEJ. Sin embargo, debido al interés continuo de los estudiantes por participar en el proyecto, se unieron más integrantes a los equipos de trabajo, aumentando la colaboración en el desarrollo de las labores. La creación de los grupos permitió a los estudiantes trabajar la competencia de trabajo en equipo, poniendo en práctica habilidades como empatía, escucha activa, reflexión, respeto hacia las ideas de los demás, dejando de lado la individualización del trabajo, pues en escenarios reales relacionados con las ciencias forenses, se desempeñan actividades en equipos de trabajo multidisciplinarios donde cada uno de los integrantes aportan ideas distintas para crear estrategias que se adecúen a cada uno de los casos de estudio.

Cabe destacar que la creación de los equipos y las actividades desempeñadas fueron organizadas y monitoreadas por la Coordinación de Procesos Multidisciplinarios de la Dirección de análisis y contexto de la COBUPEJ con el apoyo de la Coordinación de la Licenciatura en Ciencias Forenses.

- b) **Excavación de las fosas.** Previo a la remoción de la tierra, se realizaron actividades que consistieron en la delimitación del sitio de experimentación y un primer estudio de la estructura del terreno con el georradar proporcionado por el Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses (IJCF), de esta manera los estudiantes pudieron conocer y replicar las características físicas de las fosas encontradas en sitios reales de inhumaciones clandestinas.



Para la delimitación del predio (Figura 1), se tomó en cuenta el diagrama descrito en la Figura 2, que contempla las dimensiones de las fosas, la distancia entre ellas y el espacio disponible para su creación. Cabe señalar que no se utilizó toda el área del laboratorio, pues en la Licenciatura en Ciencias Forenses ya se realizaban prácticas relacionadas con distintas materias, de modo que fue necesario dejar un espacio libre con la intención de posibilitar el desarrollo de dichas actividades.

Una vez delimitada la zona, personal del IJCF compartió con estudiantes, docentes e integrantes de la DAC, una breve charla sobre el funcionamiento del georradar y sus aplicaciones relacionadas con la búsqueda de personas (Figura 3), y posteriormente, se efectuó el estudio de la estructura del terreno.

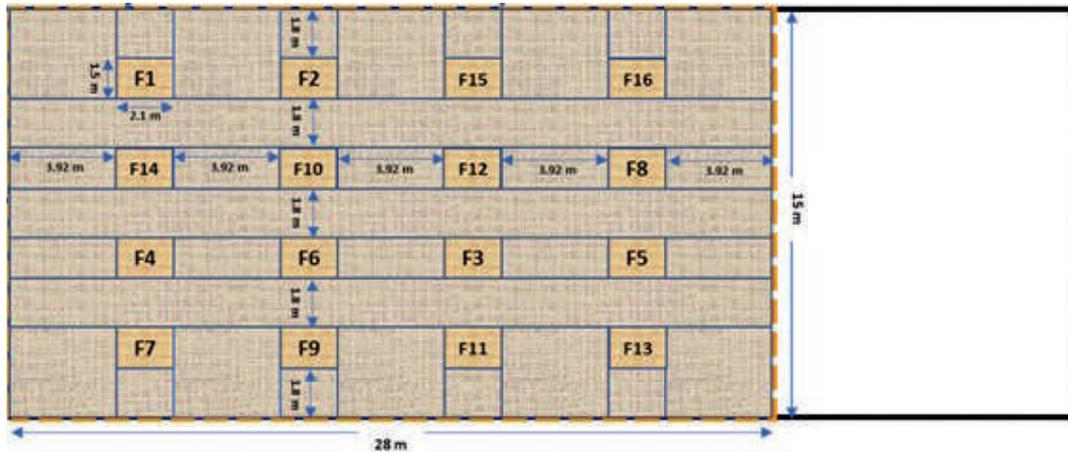


Figura 1. Delimitación de fosas en el sitio de experimentación del CUT previo a las excavaciones



Fuente: imagen de COBUPEJ (2023b).

Figura 2. Diagrama de distribución de fosas en sitio de experimentación del CUTonalá



Fuente: imagen de COBUPEJ (2023a).

Figura 3. Explicación del uso de georradar a integrantes de la COBUPEJ, profesores y estudiantes de la licenciatura en ciencias forenses



Fuente: imagen de COBUPEJ (2023b).

Posteriormente, inició la excavación de las fosas. Inicialmente, esta actividad se previó como un proceso manual con una duración máxima de dos días, que comprenderían del 22 al 23 de mayo del 2023, en el que solo se utilizarían herramientas básicas como palas, picos y barras. No obstante, dadas las características de compactación del suelo y su composición rocosa, fue necesario ampliar el rango de tiempo a 4 días, del 22 al 25 de mayo, y conseguir maquinaria especial como rotomartillos para concreto y contratar personal experto en construcción, ya que los integrantes de los equipos de trabajo habían pasado por un fuerte desgaste físico.

Esto fue posible gracias al soporte brindado por la jefa del Departamento de Justicia Alternativa, Ciencias Forenses y Disciplinas afines al Derecho, dado que la COBUPEJ no contaba con el recurso económico necesario para proporcionar dichas herramientas. De esta manera, la excavación de las fosas concluyó el 25 de mayo del 2023 (Figura 4).

Es importante enfatizar que, desde esta etapa, los estudiantes mostraron una actitud proactiva y de total cooperación: fueron creativos, flexibles, persistentes e ingeniosos, demostrando así contar con la mentalidad necesaria de un científico forense (Bell, 2006).

Figura 4. Excavación de las 16 fosas en el sitio de experimentación del CUTonalá



Fuente: imágenes tomadas de COBUPEJ (2023b). Diseño propio.

- c) **Plantación de árboles.** Durante la etapa intermedia del proceso, se plantaron árboles de *Eysenhardtia polystachya* (palo dulce) y *Vachellia farnesiana* (huizache) dentro y fuera del sitio de experimentación, esto como respuesta a la propuesta realizada por el director de la DAC, que surgió por la preocupación generada a razón de la baja presencia de vegetación en la zona, pues una de las variables a analizar por medio de estudios multiespectrales sería el denominado Índice de Vegetación de Diferencia

Normalizada (conocido como “NDVI”, por sus siglas en inglés), que se esperaba mostraría el cambio en el crecimiento de la vegetación gracias a la alteración en la nutrición del suelo por la descomposición de los cadáveres.

No obstante, por las condiciones de clima, tipo de suelo y falta de previsión para llevar a cabo la plantación, no fue posible mantener los árboles con vida, por lo que no lograron ser un referente para la medición prevista. A pesar de esto, se observó que, durante el transcurso de la investigación sí fue posible visualizar un cambio en la vegetación propia del lugar, justificando así los análisis de NDVI.

- d) **Inhumaciones.** Para las inhumaciones se utilizaron cadáveres de cerdo *Sus scrofa* con un peso aproximado de 40 kilogramos, donados por la empresa Proteína Animal S.A. de C.V. (PROAN, S.A. de C.V.), previamente sacrificados en el rastro municipal de Tonalá, Jalisco. Los cuerpos fueron transportados hasta el sitio de experimentación, y se sometieron a un proceso que consistió en el pesado de las canales de cerdo, seguido de la preparación de los cadáveres.

Algunos de los porcinos fueron vestidos con ropas, otros seccionados, eviscerados, amordazados y envueltos en cobijas para replicar las condiciones observadas en fosas reales. Una vez finalizada la preparación, los equipos colocaron los cadáveres en las fosas (en el caso de las fosas 7 y 8 se agregó cal como paso posterior, y en las fosas 13 y 14 se esperó a que los cuerpos se calcinaron dentro de las mismas) (Tabla 1), y se cubrieron con la tierra extraída durante el proceso de excavación (Figura 5).

Esta parte del proceso fue una de las más delicadas, en tanto que los participantes se sensibilizaron por las condiciones, a las que las víctimas de esos crímenes, son sometidas.

Figura 5. Inhumación de cadáveres de *Sus scrofa*



Fuente: imágenes tomadas de COBUPEJ (2023b). Diseño propio.

- e) **Muestreos y análisis multidisciplinarios a lo largo de la investigación.** Luego de la inhumación de los ejemplares, los equipos de trabajo realizaron muestreos de suelo, vegetación y de los insectos presentes, tomando como parámetros el rango de profundidad de 0 a 20 centímetros de la superficie del terreno y distintos perfiles de las fosas (norte, sur, este y oeste de las fosas, así como el centro de estas) (Figura 6), para que posteriormente en la COBUPEJ pudieran realizarse los análisis pertinentes.

Tomando en cuenta lo descrito en el protocolo de investigación, inicialmente se propuso utilizar barrenos holandeses para tomar las muestras de suelo, sin embargo, a falta de dichas herramientas los muestreos se llevaron a cabo de manera manual, utilizando picos y palas, tratando de alterar lo menos posible las condiciones de las fosas. Asimismo, la propuesta del tiempo de muestreo durante el arranque de la investigación se fue modificando con base en las necesidades y carga de trabajo de la DAC de la COBUPEJ.

Simulación de fosas clandestinas como estrategia pedagógica en la formación del científico forense: participación del estudiantado de la Licenciatura en Ciencias Forenses en el proyecto de vinculación entre la COBUPEJ y la Universidad de Guadalajara

Con respecto a los análisis multiespectrales, de resistividad eléctrica y estudio de la estructura del terreno con georradar, pudieron realizarse gracias al apoyo y colaboración de CentroGeo, la empresa Ciclos GIP y el IJCF respectivamente. Los estudiantes estuvieron presentes durante los procedimientos, y cada uno de los colaboradores explicó de manera detallada cómo las técnicas utilizadas apoyaron al estudio para la localización de fosas clandestinas, dando así un panorama multidisciplinar a los alumnos, y permitiendo que ampliaran su visión en cuanto a la aplicación de distintas disciplinas en la práctica de las ciencias forenses (Figura 7).

Figura 6. Muestras de suelo, vegetación y entomología posterior a las inhumaciones



Fuente: imágenes tomadas de COBUPEJ (2023b). Diseño propio.

Figura 7. Estudios multiespectrales y de resistividad eléctrica del suelo realizadas por CentroGeo y CiclosGIP en el sitio de experimentación del CUT



Fuente: imágenes tomadas de COBUPEJ (2023b). Diseño propio.

- f) **Exhumaciones.** Tomando en cuenta que el periodo de tiempo propuesto para el proceso experimental fue de 1 año y 3 meses, y que las inhumaciones se realizaron el 31 de mayo del 2023, se tiene planeado que las exhumaciones de los cuerpos se realicen a finales de agosto del 2024, con el apoyo de integrantes del Centro de Identificación Humana del IJCF, enfocándose en el análisis tafonómico de los cadáveres, asociándolo con las características fisicoquímicas del terreno.

3.2. Alcances y limitaciones del experimento

A pesar de que el proceso de experimentación aún no ha concluido, y de que los análisis de suelo, entomología, estudios multiespectrales y de resistividad se siguen realizando, podemos

afirmar que un alcance importante del experimento ha sido generar un espacio donde estudiantes de la Licenciatura en Ciencias Forenses puedan experimentar, de primera mano, el desarrollo de un proyecto de investigación cuyo propósito es generar nuevas herramientas para la localización de fosas clandestinas.

Aunado, resulta enriquecedora la experiencia de crear redes de colaboración con instituciones públicas y privadas dedicadas a la investigación (CentroGeo y Ciclos GIP) y que estén relacionadas a la procuración de justicia, como lo es el IJCF y la COBUPEJ, pues permite a los estudiantes observar de cerca la forma de trabajo de dichas instituciones, y a su vez, éstas pueden ver y analizar las competencias con las que cuentan los estudiantes de la Licenciatura en Ciencias Forenses, lo que puede ayudar a la creación de espacios de trabajo para el estudiantado al egresar de la carrera. Paralelamente, se facilita la creación de técnicas innovadoras para su desempeño profesional.

Ahora bien, con el objetivo de conocer de manera directa la percepción de los aprendizajes alcanzados y las aportaciones de su participación en su formación académica, al finalizar las etapas anteriormente descritas, se realizó una encuesta al estudiantado participante, por medio de formularios de Google. Se obtuvieron 11 respuestas de los 20 estudiantes participantes, tres de los cuales — además de participar en cada una de las etapas de preparación de las fosas y tomas de muestras —, se involucraron directamente en el análisis y presentación de resultados preliminares.

Dentro de los aprendizajes alcanzados referidos se encuentran: la delimitación e identificación del suelo, así como la implementación de técnicas adecuadas para la recolección de las distintas muestras utilizadas dentro de la investigación. Aunado a lo anterior, se refieren aprendizajes relacionados a las técnicas específicas de las mediciones realizadas, como el funcionamiento del georradar, los análisis entomológicos y su utilidad dentro del ámbito forense, estudios de conductividad eléctrica, entre otros aprendizajes. Héctor (estudiante activo de LICF) refiere:

Además de aprender cómo se realizan y qué tipos de análisis se llevan a cabo, el mayor aprendizaje que obtuve fue que se pueden recolectar datos no solo de la superficie o del aspecto de la zona sino de la relevancia del sustrato del suelo y sus componentes, y cómo cambian cuando hay materia orgánica como en el caso de un cadáver y cómo esos componentes llegan a cambiar por dicha presencia, conductividad



eléctrica y el tipo de vegetación que suele haber en caso de la presencia de una fosa clandestina así como el papel de la entomología.

A partir de dicho ejercicio de vinculación entre las distintas instituciones participantes en el proyecto, se fomentó el interés en la investigación científica en el estudiantado de la Licenciatura, surgiendo de éste, dos propuestas de trabajos de tesis relacionados tanto con las metodologías utilizadas para la búsqueda de fosas como de aspectos entomológicos vinculados a la descomposición de restos orgánicos cadavéricos.

En cuanto a las limitaciones del proyecto, uno de los retos que se presentaron fue la falta de recursos económicos, materiales e intelectuales por parte de la COBUPEJ, institución que a la fecha no tiene asignado un presupuesto para el desarrollo de investigación científica encaminada a la generación de herramientas para la búsqueda de personas desaparecidas. De este modo, no fue posible implementar la metodología con el rigor necesario siguiendo los lineamientos que se habían establecido en el protocolo.

Dadas las circunstancias y, debido a que esta clase de investigación debe tomar en cuenta la réplica experimental (en el caso específico, tendría que reproducirse en el AMG), el experimento realizado en el laboratorio forense del CUTonalá aporta un primer acercamiento para observar cambios en las variables de estudio en un sitio con condiciones de suelo muy específicas, sin poder extrapolar los resultados a terrenos con características completamente distintas.

Así, sería inconsecuente afirmar que, a partir de este único experimento se tendrán resultados concluyentes, pues es necesario estudiar longitudinalmente los cambios generales y específicos de los fenómenos para desarrollar herramientas y técnicas de análisis confiables que lleven a la localización de fosas clandestinas.

IV. Vinculación e incorporación del científico forense a las instituciones

La participación del estudiantado de la Licenciatura — en el proyecto ampliamente descrito — enfatizó la relevancia que tiene la vinculación e incorporación de perfiles nuevos como es el del científico forense, en instancias relacionadas con la investigación y procuración de justicia.

Dicha experiencia facilitó que el estudiantado tuviera la posibilidad de interactuar y aprender, de manera directa, de las personas expertas involucrados en el desarrollo de la investigación. Y de manera recíproca, el proyecto se vio beneficiado por la visión multidisciplinar de las alumnas y alumnos, la cual se vio reflejada desde la metodología de la investigación hasta la implementación de las diferentes etapas del proceso.

Al respecto de la relevancia de la vinculación educativa, la UdeG tiene dentro de sus propósitos sustantivos, por un lado, la investigación y transferencia tecnológica del conocimiento, lo cual implica la diversificación de la investigación con impacto social enfocada en la atención de los problemas del desarrollo local, regional, nacional y mundial, incorporando la participación activa y coordinada de alumnos y académicos.

De igual forma, a través de la extensión busca, más allá de prestar servicio a la sociedad, intervenir de manera responsable para colaborar con todos los actores que convergen en el entorno, lo anterior desde una visión de responsabilidad social que permita atender los grandes problemas presentes en el contexto actual (Plan de Desarrollo Institucional 2019-2025; Visión 2030, UDG). No está demás destacar que, a raíz de este proyecto, se generó la contratación de dos de los egresados de la Licenciatura por parte de la COBUPEJ. Es decir, su interés y formación trascendió más allá de la investigación.

La Responsabilidad Social Universitaria (RSU), presente en los propósitos sustantivos de la Universidad, se entiende como la idea de que la educación superior tiene como objetivo “[...] promover el desarrollo nacional y alcanzar, a través de este, el bien común, el cual deberá ser promovido con alto nivel de responsabilidad no solo científica, sino ética, social y moral [...]” (Ibarra-Uribe et al., 2020, p.2). Desde esta visión, se aporta — de manera constante — recursos y herramientas para la búsqueda de soluciones a problemas tan complejos como la desaparición de personas y las fosas clandestinas encontradas en los últimos años en México y, especialmente, en Jalisco.

Esta situación constituye uno de los desafíos prioritarios en el ámbito de los derechos humanos, las ciencias forenses y la justicia. Al ser un tema fundamental, el vínculo entre diversas instituciones, entre ellas el gobierno y las universidades, es una pieza clave en la generación de conocimiento y en la construcción de respuestas efectivas y humanitarias.

Ejemplo claro de esta vinculación es el proyecto albergado en las instalaciones del CUTonalá, gracias a la gestión y organización de la COBUPEJ y a un gran número de instituciones tanto públicas como privadas.

La combinación de conocimientos y metodologías en la investigación —al que la UdeG aportó recursos académicos, tecnológicos y científicos —relacionados a distintas disciplinas como la geología, química, la entomología, la física, entre otras, refuerza la relevancia de la participación de un perfil integral con una visión inter y multidisciplinaria afianzada desde su formación de pregrado.

El vínculo generado, además, es muestra de que la colaboración interinstitucional y el intercambio de conocimientos y tecnologías permiten un avance significativo en la generación de conocimiento para la localización y exhumación de inhumaciones clandestinas, contribuyendo así a la justicia y la reparación para las víctimas y sus familias.

Referencias

- BARRIENTOS-CABEZAS, A., ARRIAGADA-PÉREZ, L., NAVARRO-VERA, G. & TRONCOSO-PANTOJA, C.A. (2020). *Intervención multidisciplinaria como estrategia de aprendizaje en salud*. Revista de la Fundación Educación Médica 23(2), 69-73. <https://dx.doi.org/10.33588/fem.232.1046>
- BELL, S. (2006). *Forensic Chemistry (1a ed.)*. Pearson Education, Inc. Pp. 8-9.
- COBUPEJ. (2023a). *Programa de investigación científica para el desarrollo de herramientas en la localización de fosas clandestinas, a través del análisis correlacional de variables físicas, químicas y espectrales en la descomposición de cadáveres*.
- COBUPEJ. (2023b). *Proyecto COBUPEJ-CUT* [Grupo de Whatsapp]. Whatsapp.
- CÓDIGO NACIONAL DE PROCEDIMIENTOS PENALES [C.N.P.P.], *Diario oficial de la Federación* [D.O.F.], 26 de enero de 2024, (México). <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CNPP.pdf>
- COMISIÓN NACIONAL DE BÚSQUEDA DE PERSONAS. (2024). *Registro Nacional de Personas Desaparecidas y No Localizadas*. Recuperado de <https://versionpublicarnpdno.segob.gob.mx/Dashboard/ContextoGeneral> el 31 de julio de 2024.
- COORDINACIÓN GENERAL DE PLANEACIÓN Y EVALUACIÓN UDG. (2019). *Plan de Desarrollo Institucional 2019-2025, Visión 2030*. http://www.udg.mx/sites/default/files/adjuntos/pdi_2019-2025_vision-2030_tradicionycambio_versionfinal_impresion_completo_0.pdf
- CONSEJO GENERAL UNIVERSITARIO. (2017). *Dictamen de creación de la Licenciatura en Ciencias Forenses* (Dictamen Núm I/2017/353). http://www.hcgu.udg.mx/sites/default/files/sesiones_cgu/2017-2018/Educaci%C3%B3n%20y%20Hacienda/2017-12-15%2000%3A00%3A00/edh353.pdf
- GUTIÉRREZ, E. (2024, 21 de febrero). *Se agrava crisis forense en Jalisco*. MVS. <https://mvsnoticias.com/entrevistas/2024/2/21/se-agrava-crisis-forense-en-jalisco-627537.html>
- IBARRA-URIBE, L.M., FONSECA-BAUTISTA, C.D. & SANTIAGO-GARCÍA, R. (2020). *La responsabilidad social universitaria*. Misión e impactos sociales. Sinéctica. 54, 1-18. DOI: 10.31391/S2007-7033(2020)0054-011



- KLEIN, N.S. (2014). *A Comparative Study of Human Decomposition Research Facilities in the United States: The Role of “Body Farms” in Forensic Applications*. Louisiana State University. <https://www.proquest.com/openview/27135a4038bbd3c8776a4566a9a06cbb/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- Ley de Personas Desaparecidas del Estado de Jalisco* (2021).
- Ley General en Materia de Desaparición Forzada, Desaparición Cometida por Particulares y del Sistema Nacional de Búsqueda de Personas* (2017).
- RUIZ, J. (2019). *Fosas clandestinas y su relación con crímenes de lesa humanidad. Propuesta metodológica para la documentación de casos que determinen responsabilidad penal internacional en México*. Historia y Grafía, Universidad Iberoamericana, 52, pp. 97-128.
- SORIA, M.L. (2018). *La ciencia forense en proceso de transición*. Revista Española de Medicina Legal, 44(3), 108-114. <https://doi.org/10.1016/j.reml.2017.11.002>
- TZUC, E. (2023, 9 de octubre). *México rebasa las 5,600 fosas clandestinas*. A dónde van los desaparecidos. Recuperado de: https://adondevanlosdesaparecidos.org/?s=fosas&post_type=
- VARELA, M., VARELA, M., & VARELA, M. (2024, 18 abril). *Los homicidios y la inseguridad vuelven a repuntar en México pese a las promesas electorales*. El País México. Recuperado de: <https://elpais.com/mexico/2024-04-18/los-homicidios-y-la-inseguridad-vuelven-a-repuntar-en-mexico-pese-a-las-promesas-electorales.html#:~:text=La%20Secretar%C3%ADa%20de%20Seguridad%20Ciudadana,los%20ciudadanos%20se%20sienten%20inseguros>
- WOLFF, B.M. (2015). *A review of ‘body farm’ research facilities across America with a focus on policy and the impacts when dealing with decompositional changes in human remains*. University of Texas at Arlington. https://mavmatrix.uta.edu/crcj_theses/5/
- ŽIŽEK, S. (2009). *Sobre la violencia. Seis reflexiones marginales*. Paidós.

Síntesis





 Prezi





Capítulo 17



Interpretar a la naturaleza para encontrar a quienes nos faltan: integración de un estudio multidisciplinario y perspectivas

Tunuari Roberto Chávez González¹, Enrique José Jardel Peláez² y Sergio Alberto Quezada Godínez³
Contribución arbitrada

La ciencia es el reflejo de la persona en el espejo de la naturaleza.
Wolfgang Pauli

Introducción

En un mundo plagado de conflictos armados, represión ejercida por instituciones policiacas o militares del Estado, grupos paramilitares y acciones del crimen organizado, la desaparición de personas ha alcanzado proporciones inconcebibles en una época que se ha jactado de civilizada. Como en ningún momento de la historia, la denuncia y registro de personas desaparecidas y el descubrimiento de inhumaciones clandestinas se ha vuelto un asunto lamentablemente común. Familiares de personas desaparecidas, organizaciones humanitarias, instituciones encargadas de velar por los derechos humanos y dependencias gubernamentales responsables del ejercicio de la ley, se enfrentan a la difícil tarea de localizar las tumbas y lugares donde han sido enterradas esas personas.

Desde hace casi dos décadas se comenzó a visibilizar el fenómeno de la desaparición de personas; desde entonces, la localización de fosas clandestinas o inhumaciones ilegales ha

-
- 1 Director del área de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.
 - 2 Profesor-investigador titular “C” del Departamento de Ecología y Recursos Naturales y Director de la División de Desarrollo Regional del Centro Universitario de la Costa Sur de la Universidad de Guadalajara.
 - 3 Analista contextual de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

crecido a la par. Los datos son inquietantes. En el estudio realizado por Guillén et al., (2018) se reporta que en el año de 2006 se localizaron 10 inhumaciones ilegales en los municipios michoacanos de Uruapan y Apatzingán, siete en el primero y tres en el segundo, encontrándose un total de 27 víctimas. Para el año siguiente, señala el trabajo citado, la localización de fosas se extendió a Sonora, Chihuahua, San Luis Potosí y Aguascalientes y, para el decenio 2006-2016, las autoridades estatales y federales reportaron, respectivamente, el hallazgo de 1,978 y 232 fosas clandestinas. En octubre de 2022, la Secretaría de Gobernación (SEGOB) daba a conocer el Registro Nacional de Fosas Clandestinas y Cuerpos Exhumados; los datos oficiales sumaban un total de 2,386 fosas clandestinas y 4,180 cuerpos exhumados (Escobar, 2022).

En el estado de Jalisco, entre diciembre de 2018 y junio de 2024, se han recuperado de fosas clandestinas a 1,769 personas en 158 sitios de inhumación ilegal, de las cuales se ha identificado a 937 (Fiscalía del Estado, 2024).

La existencia de una fosa clandestina implica la intención de ocultar un hecho ilegal y violatorio de los derechos humanos que conlleva la desaparición de las víctimas, personas a quienes, además de haber sido privadas ilegalmente de su libertad y la vida, se les niega dar a conocer su paradero, encubriéndolo, mientras que a sus familiares y deudos se les priva de saber que ha sido de esas personas que les faltan. Más aún, la inhumación ilegal, sostiene Robben (2015), representa la negativa de “significados espirituales, religiosos y políticos sobre la muerte y resurrección, destruyen identidades individuales y colectivas dentro de la mezcolanza de restos humanos, e impiden o suspenden el rito del entierro y el recuerdo duradero”(p. 58).

Los trabajos reunidos en este libro representan un esfuerzo multidisciplinario para aplicar métodos y técnicas de la ciencia que, potencialmente, pueden ayudar en la tarea de búsqueda de personas desaparecidas mediante la detección de fosas clandestinas. Personas científicas que realizan investigación en distintas disciplinas, y que quizá nunca pensaron en aplicar sus conocimientos a una tarea como esta, se reunieron para explorar diferentes aproximaciones metodológicas que pueden servir para la búsqueda y detección de inhumaciones ilegales.

En este capítulo se discuten aspectos conceptuales que dieron origen al estudio. Se presenta también una breve revisión del campo de aplicación forense de ciencias como la geofísica, la botánica, la entomología y la ecología del paisaje, seguida de una discusión sobre los principales hallazgos del conjunto de estudios reportados en el libro, tratando de ofrecer una mirada integradora y, derivado de esto, se analizan las perspectivas de nuevos estudios que



puedan servir para una aplicación más efectiva de métodos de localización de inhumaciones clandestinas y personas desaparecidas.

Concepción del estudio

¿Desde dónde pensamos y abordamos el problema que es el eje de los estudios que integran este libro? ¿Cómo abordamos la cuestión? Como dice el título, se trata de interpretar elementos de la naturaleza, esto es, factores del medio físico como el relieve, el suelo, las rocas, el clima, las plantas, los insectos y el paisaje, usando la variación de sus atributos y propiedades como indicios o pistas, desde una perspectiva multidisciplinaria que se integra desde la perspectiva integradora de las ciencias ambientales.

El punto de partida es que la búsqueda de personas es una obligación de los Estados para tomar medidas de cualquier índole que sirvan para prevenir, atender y erradicar la desaparición de personas, así como para generar la información necesaria para restituir la identidad de las víctimas y localizar su paradero.

Esta obligación del Estado coincide con la realidad de que algunas personas que habitamos esta sociedad reconocemos un estado de guerra no convencional, en el sentido de que no existen bandos definidos, ni intereses delimitados, sólo las expresiones más recrudescidas de las relaciones sociales capitalistas; mismas que se manifiestan desde la catástrofe de la desaparición de personas. Si bien nuestra relación con la posibilidad de desaparecer es distinta⁴, la exposición a ella es transversal, por lo que habitamos emociones que de ella se derivan — miedo, incertidumbre, rabia, indignación, por mencionar algunas—. De ahí la certeza de que no existe una escisión manifiesta entre quiénes somos y lo que queremos conocer, es decir, personas que se saben en posibilidad de desaparecer y/o que tienen personas desaparecidas, y que, por lo tanto, necesitan estrategias colectivas para encontrarlas; más aún, para entender por qué desaparecen personas y cómo evitar que suceda.

El problema eje de los estudios realizados es complejo y en él intervienen dimensiones sociales que constituyen un contexto multidimensional del abordaje de la cuestión. E. Morin

4 Esa relación diferenciada remite a los elementos que configuran nuestro sujeto histórico-social: tales como género, etnia, oficio, entre otros.



(1981) propone que para atender de manera compleja algún fenómeno social es necesario pensar desde una perspectiva cíclica que integre los aspectos físicos, biológicos y antroposociológicos. Si bien no se pretende afirmar que nos desenvolvemos en un actuar que piense la realidad social desde todas las aristas que la integran, sí afirmamos que esta realidad nos exige su abordaje e interpretación desde acercamientos ligados a distintas disciplinas — aparentemente desligadas— para la conformación de metodologías contingentes a lo que queremos conocer. Es desde esa reflexión que se pensó la confección de un libro como el presente y las propuestas metodológicas que lo integran.

Las ciencias ambientales —aunque el concepto es difuso y es un costal grande que engloba a un amplio conjunto de disciplinas que no necesariamente han logrado una integración transdisciplinar— nos ofrecen, al menos, la confluencia de distintos saberes en torno al concepto de ambiente. Ha corrido mucha tinta en discusiones teóricas acerca del significado del término “ambiente” o “medio ambiente”.⁵ Desde una perspectiva sistémica, ambiente es una palabra que expresa una relación: las interacciones recíprocas entre una entidad u organización en el cual se centra nuestra atención, con un conjunto de factores de su entorno. En ecología de poblaciones, por ejemplo, el ambiente es el conjunto de factores que influyen en la distribución y abundancia de un conjunto de organismos de una misma especie y que influyen en su sobrevivencia y reproducción, considerando que la población en cuestión también puede influir en las condiciones de su entorno (Andrewartha & Birch, 1954). El concepto de ambiente se aplica más o menos con el mismo sentido a poblaciones o comunidades humanas, aunque en este caso a los factores físicos, químicos y biológicos del entorno se integran las interacciones sociales —con sus dimensiones culturales, político-institucionales, económicas, demográficas e históricas— y los elementos del ambiente construido o transformado por la misma acción humana (Jardel et al., 2013).

5 “Medio ambiente” es en realidad un pleonasma que fusiona dos palabras, el medio que rodea o en el que se encuentra algo y el conjunto de factores que lo rodean y con los cuales ese algo interactúa. Sobre la discusión del concepto de ambiente véase, por ejemplo, Morales (2017), quien aborda los aspectos epistemológicos, éticos, ontológicos, metafísicos, así como la coodificación lingüística y los paradigmas de dicho concepto, y Giannuzzo (2010), quien plantea a las ciencias que estudian al ambiente como “el conjunto de conocimientos y metodologías, provenientes de múltiples disciplinas, integrados con el objeto de comprender, predecir y accionar sobre las interrelaciones de las poblaciones humanas en su devenir histórico, social, cultural y tecnológico con la naturaleza y su evolución dinámica intrínseca” (p. 152).

Un concepto estrechamente ligado al de ambiente es el de paisaje, que en geografía y ecología se refiere al conjunto de atributos o elementos que se pueden observar en la superficie de un territorio, cuyos patrones espaciotemporales e interrelaciones permiten explicar procesos biogeofísicos o ecosistémicos, así como la influencia en estos de factores antropogénicos (González-Bernáldez, 1980; Naveh & Lieberman, 1990). El concepto geoecológico de paisaje se relaciona con la interpretación del entorno, gesto que ha acompañado a la humanidad desde sus orígenes en su proceso de adaptación cultural a diferentes condiciones ecológicas, como lo demuestran los estudios de la etnoecología del paisaje (Johnson & Hunn, 2012).

La gente observa, interpreta y nombra los componentes de su entorno —formas del relieve, zonas con distintos climas, tipos de suelo, vegetación en distintos estadios de la sucesión ecológica, áreas con diferente potencial de aprovechamiento de los recursos naturales—. Quienes realizan la investigación forense para reunir evidencias que puedan ser usadas en un proceso jurídico o que interpretan indicios geofísicos o ecológicos para detectar la probable ubicación de inhumaciones clandestinas, lo hacen a través de la interpretación de atributos del paisaje, a diferentes escalas (véase la siguiente sección). Algo similar es lo que hacen los colectivos de buscadoras de personas desaparecidas⁶.

Los conceptos de ambiente y paisaje forman parte del marco conceptual del conjunto de estudios, cuyos hallazgos preliminares se reportan en este libro; su integración metodológica es todavía una tarea pendiente, pero en este capítulo se plantean algunas ideas para avanzar en ese sentido. Los trabajos realizados representan un primer paso para dirigir la mirada al ambiente y el paisaje, enfatizando en que estos contienen información relevante cuya interpretación es crucial para encontrar a quienes desaparecieron tras ser inhumados de manera ilegal en una fosa.

Antecedentes

Desde hace tiempo diversas disciplinas científicas han contribuido a la investigación forense aportando evidencias que son utilizadas en procesos legales. El propósito ha sido localizar,

6

Véase el apartado de Madres Buscadoras y Ciencia Ciudadana de este libro.

identificar y catalogar evidencia física que pueda conducir la investigación sobre crímenes y obtener pruebas para juicios penales (Canter, 2003). En esta tarea, estamos ante escenarios que demandan el empleo de distintos saberes para descifrar observaciones que permitan encontrar personas desaparecidas con independencia de la persecución del perpetrador, a partir de datos que a veces parecen insignificantes, relacionados con una realidad compleja que no ha sido directamente experimentada.

Veamos por ejemplo un antiguo cuento oriental al que se refiere Ginzburg (2013). Tres hermanos se encuentran con un hombre que ha perdido su camello y, cuando este les pregunta por él, se lo describen perfectamente: es blanco, tuerto y cargaba dos garrafas, una llena de vino y la otra de aceite. El hombre, esperanzado, les pregunta que dónde lo vieron, a lo que los hermanos le responden que en realidad jamás lo han visto. El hombre los acusa de robo y los lleva a juicio, pero ellos prueban su inocencia demostrando cómo, a través de mínimos indicios —huellas, pelos y estiércol del camello, gotas de aceite y vino derramadas a ambos lados de la vera del camino— pudieron reconstruir el aspecto del animal y su carga que, efectivamente, jamás habían visto. Relatos, novelas y series televisivas muestran historias detectivescas parecidas, pero hacen parecer que la cuestión es más simple de lo que en realidad es. En la vida real ¿qué se necesita para encontrar los indicios que nos permiten reconstruir algo que no atestiguamos?, ¿cómo identificamos que esos indicios no son producto del azar, sino que están relacionados con lo que buscamos?, ¿cómo interpretamos los hallazgos que, por ejemplo, este libro concentra en sus diferentes capítulos?

Para buscar indicios y describir procesos que ocurren en un entorno particular, natural o transformado, hay que contar con un sistema de referencia que nos permita representar, por mediación de conceptos o fórmulas, lo que la persona percibe de la realidad física. En ese tenor, Morin (1981) se planteó la necesidad de reflexionar en torno al acto de la abstracción/representación que las ciencias “duras” nos otorgan, aunque hay que aclarar que la información expresada en cifras no es necesariamente “dura” —puede ser bastante blanda o débil— y que la cuestión esencial es que sea válida en función de los métodos empleados para obtenerla y analizarla.

En la investigación forense se han empleado múltiples aproximaciones técnicas y metodológicas desarrolladas por distintas disciplinas, desde los estudios geofísicos del territorio y la prospección minera, hasta la ecología del paisaje. La biología y la ecología, por ejemplo,



han contribuido a las ciencias forense en áreas como la identificación de víctimas y personas sospechosas basada en pruebas genéticas de ADN, o la aplicación de la entomología forense para determinar el tiempo desde la muerte de una persona a través de la sucesión de larvas de diferentes especies de insectos durante el proceso de descomposición de un cadáver; también, se han hecho aplicaciones de la ecología de la descomposición de la materia orgánica, que es uno de los procesos ecosistémicos fundamentales (Tomberlin et al., 2011).

Además de la entomología forense (Byrd & Castner, 2009), se han empleado técnicas de ecología vegetal, botánica y palinología para estimar el tiempo transcurrido desde el entierro de cuerpos, relacionar personas sospechosas con la escena del crimen o diferenciar el lugar de la muerte del sitio de entierro por medio de restos vegetales, polen y esporas de plantas y hongos, o la interpretación de los ensamblajes de polen a partir de información de referencia sobre la distribución y composición de las comunidades de plantas en el paisaje (Kasprzyk, 2023).

La investigación para la detección y la localización de inhumaciones clandestinas plantea problemas diferentes a los de la investigación de evidencias forenses. En primer lugar, se trata de ubicar, en áreas relativamente extensas, sitios donde puedan encontrarse tumbas individuales o masivas. Uno de los principales retos es detectar evidencia que se encuentra bajo la superficie del terreno. La búsqueda no solo consume tiempo, sino que requiere de medios técnicos, presupuesto y personal que generalmente son escasos; además, los resultados obtenidos pueden ser muy pobres y frustrantes. Debido a esto se han probado varias técnicas que puedan ser costo-efectivas y más confiables, incluyendo sensores térmicos, electromagnéticos, señales de radar que penetran el suelo y análisis de percepción remota (Davenport, 2001). Técnicas de la ecología vegetal (Kasprzyk, 2023; Morabito & Somma, 2023; Wiltshire, 2009) y la entomología (Byrd & Sutton, 2023) han sido empleadas también para localizar inhumaciones clandestinas.

Diversas disciplinas se han desarrollado para la investigación forense y, en particular, para la localización de fosas clandestinas (Canter, 2003; Somma et al., 2023) encontramos ahora ejemplos de diversas aplicaciones de las geociencias (Donnelly & Harrison 2013; Donnelly et al., 2021; Fitzpatrick & Donnelly, 2021; Pringle et al., 2012; Ruffell, 2010), como la geología forense (Tindall, 1994), junto con el desarrollo de aplicaciones de sistemas de información geográfica (Elmes et al., 2014) y de métodos de percepción remota con imágenes espectrales



(Davenport, 2001; Kalacska & Bell, 2006). Puede decirse que el crecimiento en el número de estudios reportados en la literatura científica y los avances logrados en estas disciplinas son, lamentablemente, una muestra de la brutalidad de estos tiempos que hace necesaria la investigación y el desarrollo tecnológico para localizar los restos de personas que han sido víctimas de desapariciones y asesinatos.

En la detección de fosas clandestinas es conveniente diferenciar entre dos tareas que están estrechamente relacionadas, pero que son distintas: (1) el desarrollo de métodos de localización de sitios donde, potencialmente, se encuentran inhumaciones en territorios extensos, y (2) los métodos para encontrar dentro de un sitio el lugar preciso donde se localizan tumbas o entierros en una localidad que ya ha sido ubicada por algún medio (por ejemplo, información de testigos, confesiones de perpetradores de asesinatos, o estudios del territorio). En los trabajos a los que se refieren los capítulos de este libro se ha seguido el segundo enfoque, explorando la aplicación de distintas técnicas en dos sitios experimentales.

Históricamente, los testimonios han sido empleados para determinar la probable localización de fosas. Una vez que han sido ubicados los sitios, estos han sido explorados empleando, con cierto éxito, métodos como la resistividad geofísica del terreno, magnetometría y señales de radares de penetración terrestre. Sin embargo, estos métodos requieren que el lugar, donde posiblemente hay entierros, haya sido previamente localizado con cierta precisión y que el personal pueda explorarlo en el terreno con seguridad para realizar mediciones y toma de datos. Dadas estas condiciones, se ha propuesto el uso de técnicas de percepción remota con imágenes multi o hiperespectrales, adquiridas mediante satélites, aeronaves tripuladas o drones, que pueden servir para reconocer cambios sutiles en la reflectancia de la superficie del terreno, lo que puede ser una poderosa herramienta de detección para discriminar una inhumación masiva del terreno circundante en tiempo real o retrospectivamente (Kalacska & Bell, 2006).

En la búsqueda de entierros clandestinos se han empleado también los principios y técnicas de la tafonomía (del griego *taphos*, entierro), una disciplina que estudia la formación de yacimientos fósiles y que se deriva de estudios paleontológicos y arqueológicos que combinan métodos de la ecología, geoquímica y sedimentología, entre otros (Kalacska & Bell, 2006).

Cambios en el medio por procesos de excavación y recubrimiento, así como factores derivados de la descomposición y transformación de cadáveres, alteran el entorno de manera que pueden ser detectados en la investigación. Estos cambios ambientales pueden



ser observados directamente o con ayuda de instrumentos, para interpretar la variación en la estratigrafía subterránea, la microtopografía, la existencia de anomalías en la superficie como montículos o depresiones del terreno, alteraciones de la estructura y color del suelo, restos de hojas y ramas parcialmente cubiertos de tierra, o discontinuidades en la composición y estructura de la vegetación y presencia de entomofauna asociada a la descomposición de cadáveres (Kalacska & Bell, 2006). Las plantas son una fuente de evidencia biológica forense debido a su ubicuidad y sensibilidad a las alteraciones ambientales, de modo que cambios en la composición y estructura de la vegetación pueden ser indicadores útiles para la prospección y localización de inhumaciones ilegales (Kasprzyk, 2023).

La capacidad de detección de cambios en los factores señalados en el párrafo anterior depende de las técnicas de estudio, pero también pueden depender de los instrumentos utilizados en la excavación de las tumbas y su profundidad. Además, debe considerarse que los indicios cambian con el tiempo y que el camuflaje de los entierros puede entorpecer su detección, pero también generar evidencias (Kalacska & Bell, 2006).

En la ausencia de indicadores en la superficie, dependencias judiciales y organizaciones humanitarias se enfrentan a la difícil tarea de realizar búsquedas en áreas extensas. Somma et al. (2023), señalan que en Italia muchos de los entierros clandestinos se han encontrado fortuitamente por paseantes o gracias a testigos, informantes o confesiones de los perpetradores, y que el éxito limitado del uso de técnicas geofísicas ha llevado a las autoridades responsables de la aplicación de la ley a desestimar su empleo. Sin embargo, varios estudios muestran su potencial así como sus limitaciones.

Berezowski et al. (2020), han hecho una revisión de varias técnicas geomáticas en la reconstrucción de escenas de crímenes, empleando estaciones topográficas totales, fotogrametría, escáners láser, radares de penetración terrestre, entre otras. En un estudio experimental Rufell et al. (2003), combinaron la percepción remota con sensores montados en drones, técnicas de geofísica y perros de búsqueda. Se ha experimentado con éxito el uso de vehículos aéreos no tripulados (drones) equipados con sensores termales para la detección de entierros en masa en Kuwait, evaluando la variación de la temperatura y humedad del suelo superficial en sitios con entierros simulados con ovejas (Alawadhi et al., 2023).

Las estrategias más utilizadas en la búsqueda de inhumaciones clandestinas han sido recorridos sobre el terreno haciendo observaciones visuales por personal policiaco o de



protección civil, personas voluntarias, uso de perros entrenados y excavaciones; pero también se han usado instrumentos geofísicos, reconocimiento aéreo con drones y uso de imágenes espectrales de alta resolución o de imágenes LiDAR (*Light Detection And Ranging*) (Kalacska & Bell, 2006).

Resulta importante mencionar que, independientemente del uso de técnicas sofisticadas para la detección de inhumaciones clandestinas, los colectivos de búsqueda de personas desaparecidas han utilizado testimonios o pistas de posibles ubicaciones de fosas, que son exploradas usando indicios visuales y técnicas sencillas, como la varilla “T” que han empleado los edafólogos, para luego excavar en los puntos donde es posible encontrar una tumba, como se relata en el capítulo “Interpretando señales en la naturaleza: los saberes de mujeres buscadoras influenciando las prácticas de búsqueda en Jalisco”, sobre los saberes de madres buscadoras, que han influenciado las prácticas de búsqueda en Jalisco. En otro capítulo de este libro: “Las madres buscadoras hacen ciencia ciudadana”, se explica cómo los procedimientos empleados por los colectivos de personas buscadoras cumplen con criterios que, en el ámbito internacional, han servido para definir el concepto de ciencia ciudadana. Los procedimientos empleados por tales colectivos demuestran que se requiere una mejor coordinación entre las autoridades gubernamentales y estas iniciativas que, además de su función complementaria como “observatorios ciudadanos”, han demostrado su valor aumentando el número de fosas clandestinas encontradas, induciendo la realización de investigaciones científicas forenses de las cuales este libro es un ejemplo, así como impulsando enfoques innovadores y fomentado el desarrollo de nuevas políticas públicas, dependencias de gobierno y legislación en materia de personas desaparecidas.

Los resultados del estudio

Los hallazgos de los experimentos en fosas simuladas con la inhumación de porcinos —bajo distintos tratamientos que replican las formas más usuales de entierros encontrados en la localización de personas desaparecidas en fosas clandestinas— realizados en dos localidades, Tonalá (Polígono 1) y Tlajomulco de Zúñiga (Polígono 2), muestran resultados prometedores, si bien no definitivos.



El capítulo que aborda las condiciones climato-metereológicas: **“Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra: la lectura de condiciones climato-metereológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas”**, destaca la importancia de identificar las características de las condiciones climatológicas, metereológicas, hidrológicas, edáficas y en cuerpos de agua cercanos, para emplear indicadores del entorno natural que puedan ser útiles para las labores de búsqueda.

En el capítulo **“Observación forense experimental utilizando técnicas de prospección geofísica de alta resolución”**, se aplicaron los métodos de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) y, de forma inédita, Tomografía de Interferometría de Ruido Sísmico Ambiental (TIRSA), para determinar la distribución de suelo perturbado a profundidad. Al analizar el cambio de propiedades físicas del suelo, se logró detectar la posición de las fosas, más no su geometría. Se consiguió asociar la ubicación de las inhumaciones a través de anomalías conductoras. En la discusión, este capítulo hace énfasis en la importancia de analizar las características del objetivo buscado —profundidad, contexto de inhumación, dimensiones, posible presencia de metales, entre otras— y del sitio en el que se realiza la búsqueda —accesibilidad, tipo de suelo, época del año, medio en el que se encuentre, clima (tiempo), entre otras— para la selección del método más adecuado. Los resultados tienen implicaciones prácticas inmediatas en la detección de fosas y abren nuevas oportunidades para la aplicación de técnicas geofísicas en el ámbito forense.

El capítulo **“Reflejos de una búsqueda: el uso del Radar de Penetración Terrestre (GPR) para la detección de inhumaciones clandestinas”**, se describe cómo en el Polígono 1 del estudio se efectuó un levantamiento con Radar de Penetración Terrestre (GPR, por sus siglas en inglés) y una antena de 450 MHz, para analizar el comportamiento electromagnético, a 10 meses de la inhumación. Se identificó la existencia de tres estratos o profundidades de actividad electromagnética, desde la superficie hasta los 2.9 m de profundidad. Se encontró que 88 % de las fosas coinciden con la ubicación exacta de reflexiones de radiación electromagnética.

El hallazgo se encuentra presumiblemente ligado a la remoción de tierra, más que a la descomposición de los porcinos. Las personas autoras discuten que el análisis debe replicarse con nuevas frecuencias de antena y también con una profundidad mayor a la descriptiva, que cuente con un levantamiento previo y varios periodos de forma para que existan elementos de comparación a lo largo de un periodo amplio de tiempo.

La literatura existente respecto a análisis de geofísica forense se refiere a experimentos que se han extendido hasta por seis años. Se descubrió que el GPR presenta complicaciones de lectura en suelos arcillosos, como los del Polígono 1, y se sugiere que debe estudiarse el comportamiento del instrumento en distintos tipos de suelos. La réplica de fosas con varios cuerpos inhumados podría corroborar o descartar que la información electromagnética es relevante a partir de la remoción del suelo y no por la descomposición por sí misma.

El GPR mostró que el 56 % de los reflejos expresaron una sutil curvatura al detectar los objetos de interés, lo cual coincide con resultados de estudios previos; sin embargo, las personas autoras destacan que la misma situación se presentó para el caso de una de las fosas de control, por lo que concluyen la probable relación de los resultados con elementos asociados a la remoción de tierra, al menos en el caso de inhumaciones pequeñas. Por lo tanto, se sugiere que en contextos de múltiples víctimas, donde hay una mayor dimensión de los cuerpos, los cambios asociados a su descomposición podrían registrar cambios geofísicos perceptibles. Aunado a ello, las condiciones deseables para el éxito de la detección, como suelos con poca o nula presencia de arcilla húmeda, cadáveres que tengan al menos medio año de descomposición, requieren que también se conozcan las características del suelo a prospectar. Se sugiere la aplicación de esta técnica en ciertos sitios que, efectivamente, cumplen con las características deseables; por ejemplo, casas de seguridad con sitios de inhumación clandestina en contexto urbanos.

En el capítulo **“Morfología del terreno mediante fotogrametría con drones: oportunidades y limitaciones para la detección de fosas clandestinas”**, se encontró que esta técnica para tomar dimensiones topográficas utilizando imágenes tomadas desde diferentes ángulos permite realizar mediciones para detectar cambios en la superficie del terreno, especialmente hundimientos o compactaciones en los sitios con fosas.

Las inhumaciones que presentaron depresiones fueron las que contenían cuerpos completos o seccionados, en cualquier profundidad, o bien en las que, independientemente del tratamiento del cuerpo, se efectuaron a una profundidad de 0.75 m. En contraste, en las fosas de porcinos envueltos con cobija, se registró un incremento en el nivel del terreno, presumiblemente ligado al crecimiento de la vegetación que, a su vez, acumuló suelo. Resulta relevante considerar la posibilidad de que el tránsito frecuente de las personas que trabajaron en la preparación del experimento, compactara la superficie sin fosas, factor que pudiese afectar

los resultados; en ese sentido, se considera la importancia de profundizar la investigación en un ambiente con menor perturbación, o bien, reproducir condiciones que ocurren durante los enterramientos clandestinos.

En el capítulo **“Diseño y aplicación de índices espectrales para la detección de fosas clandestinas”**, el objetivo del estudio fue describir cambios observables con imágenes espectrales de alta resolución espacial y seleccionar índices óptimos o aproximados del espectro luminoso —o del color— que se detecta en las imágenes capturadas con drones o satélites y que podrían interpretarse como indicios de fosas clandestinas. Las tonalidades esperadas derivan de cambios anómalos en los pigmentos de la vegetación. Se confirmó la viabilidad de estas técnicas para la detección de cinco de las siete formas de inhumación probadas: cuerpo completo, cuerpo seccionado, reducción esquelética, cuerpo envuelto en cobija y cuerpo con cal. De los cinco tipos de inhumación detectables, cuatro podrían ser visualizables de manera efectiva a través de sensores multispectrales y, de esos, sólo tres podrían detectarse mediante cámaras limitadas al rango visible-infrarrojo cercano. Existen inhumaciones que no fueron detectadas (porcinos envueltos en bolsa de plástico y cuerpos calcinados) en el margen analizado. Es necesario ampliar la ventana temporal de análisis para comprender el comportamiento de esas variables. Lo anterior resulta bastante prometedor para la investigación a futuro, ya que se contará de antemano con los índices ideales específicos conforme a las características de los distintos tratamientos en los sitios de inhumación. Se destaca que no existe una cámara habilitada para la detección óptima de los distintos tipos de inhumación, por lo que se sugiere contemplar el uso de varias cámaras y tipos de imágenes satelitales.

El uso de imágenes termográficas tomadas con cámaras montadas en drones en la búsqueda de fosas clandestinas fue objeto del estudio que se reporta en el capítulo **“El calor de las personas que nos faltan: búsqueda de fosas clandestinas con apoyo de drones equipados con cámara termográfica”**. En este caso la diferencia normalizada de imágenes térmicas capturadas en distintos momentos del día fue utilizada para la detección remota de fosas clandestinas. En el Polígono 1 se detectaron cadáveres completos, seccionados, con cal, embolsados, con cobija, calcinados y en reducción esquelética; el área está caracterizada por su escasa vegetación. La diferencia normalizada de la termografía fue más significativa en las fosas con menor profundidad. En el Polígono 2, donde la cobertura vegetal fue más

densa y las condiciones más húmedas, no se observan las divergencias térmicas de las fosas. Se encontró que los registros nocturnos fueron los más efectivos para registrar diferencias térmicas. Partiendo de estas observaciones, se discuten los desafíos que presenta la técnica utilizada, en particular, los efectos de la variación en la densidad de la cobertura vegetal y las propiedades del suelo, tanto en prospecciones nocturnas como diurnas.

“Desenterrando la verdad: análisis de cambios en la firma química y características del suelo en sitios de inhumación clandestina”, fue un estudio basado en muestreos periódicos del suelo para determinar cambios en el pH y en concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio, luego del depósito de los porcinos en las fosas. En el Polígono 1 se observaron incrementos en los valores de las variables. También, en los métodos secos de inhumación se encontraron índices de humedad más bajos. Respecto a la compactación, en el Polígono 1 se detectaron cambios en la continuidad de la roca existente, pero no depresiones sobre las fosas. En contraste, en el Polígono 2 sí se detectaron hundimientos sobre las inhumaciones. En la discusión se reconoce la complejidad de utilizar este tipo de análisis de suelos como herramienta de búsqueda de fosas clandestinas, debido a la variabilidad de la química de distintos suelos con condiciones particulares que no permiten establecer parámetros estándar de la concentración de nutrientes y pH. Se propone ahondar en estudios de suelos que analicen el ámbito físico, más que las propiedades químicas.

La investigación **“La vida después de la vida: botánica forense aplicada al estudio y detección de fosas clandestinas”** arrojó elementos exploratorios que permiten proyectar probables seguimientos. En ambos polígonos experimentales la principal familia botánica identificada fue Poaceae, a la que pertenecen los pastos (38.7 % en Polígono 1 y 30.6 % en Polígono 2). Su presencia es común en la vegetación de áreas abiertas; en los Polígonos 1 y 2, las especies pioneras representaron 77.42 % y 91.94 %, respectivamente. De modo que es indispensable un análisis a nivel de especie incluyendo indicadores de tamaño, abundancia, frecuencia o índice de valor de importancia para poder explorar relaciones que tengan valor como indicadoras; por ejemplo, que algunas especies sean favorecidas por la disponibilidad de nitrógeno u otros nutrientes del suelo derivados de la descomposición de los cadáveres. Para el Polígono 2, se registraron 16 especies de plantas vasculares que podrían estar respondiendo a variables como la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio, así como el pH del suelo, o bien, a cambios estructurales del suelo generados por la profundidad y remoción de la tierra



en las excavaciones. En el Polígono 1 no se encontró una correlación entre las especies de plantas y la descomposición de cuerpos que pueda ser sustentada a través de la estadística multivariada. En la discusión del capítulo se sugiere la continuidad del monitoreo y adecuación de los métodos de muestreo.

La aplicación de métodos de entomología forense ha demostrado su utilidad en la investigación legal (Byrd & Castner, 2009) y su potencial en la detección de inhumaciones clandestinas (Byrd & Sutton, 2023), pero su aplicación representa un reto en lugares con alta riqueza de especies (como sucede en la región intertropical), insuficiente conocimiento de las entomofaunas locales y falta de suficiente personal calificado y facilidades para su estudio. No obstante, el capítulo **“¿Quiénes son los primeros en detectar una inhumación clandestina? Entomología forense: los insectos y su relación con las fosas clandestinas”** es una contribución que aporta elementos para enfrentar estas dificultades. En el capítulo se destaca la importancia de caracterizar las condiciones de los sitios de prospección que constituyen indicadores de las condiciones del hábitat de los insectos. La detección de la presencia de ciertas especies puede aportar información para determinar el tiempo transcurrido desde la inhumación de los cuerpos y su posible localización. En principio Coleopteros (escarabajos) y Dipteros (moscas) son los organismos pioneros en la detección de materiales orgánicos o cadáveres, pero por sí sola su presencia no constituye una anomalía, sino la variación en su abundancia. En los sitios de estudio se encontraron 33 especies de escarabajos, moscas y mosquitos. Cuatro de las 4 familias registradas están relacionadas con ambientes de descomposición biológica (Calliphoridae, Cleridae, Dermestidae y Scarabaeidae) y otras cuatro familias no tienen antecedentes similares (Muscidae, Tachinidae, Carabidae y Chrysomelidae). En Jalisco se ha observado que la fauna cadavérica varía significativamente (López, 2022), lo que implica la necesidad de contar con un conocimiento profundo de la biodiversidad local y los patrones de sucesión ecológica de las comunidades de insectos. Por esta razón, la continuación de la colecta, preservación y categorización de entomofauna debe replicarse y profundizarse en diversos ambientes para precisar el conocimiento necesario para su aplicación en la detección de inhumaciones clandestinas.

El capítulo **“Análisis tafonómico comparativo experimental: la deposición y su relación con la estimación del intervalo post mortem”**, muestra que el tratamiento de los cuerpos inhumados afecta en forma significativa su proceso de descomposición. Esto se observó en el



caso de dos de los porcinos que fueron segmentados y enterrados en la misma fecha, pero uno en una bolsa de plástico (fosa 14) y el otro cubierto con cal (fosa 16). La fecha de exhumación también fue la misma, pero en el primer caso la bolsa plástica funcionó como medio de contención y conservación. El ejemplar que se depositó de forma directa pero cubierto de cal, continuó con el proceso natural de descomposición y reducción; la presencia de cal sólo influyó en la capa superior de la bóveda documentada. Si bien el proceso tafonómico está influenciado por múltiples factores, los resultados indican que es necesario realizar estudios complementarios. Las condiciones de deposición de un cuerpo cuando ha sido enterrado presentan un reto para la estimación certera del intervalo de tiempo transcurrido desde la inhumación. Esta estimación es útil para la investigación al proporcionar el dato de tiempo de muerte, ya que en sentido contrario facilita establecer criterios cronológicos de tiempo de vida.

Por último, el capítulo **“Simulación de fosas clandestinas como estrategia didáctica en la formación del científico forense: participación del estudiantado de la Licenciatura en Ciencias Forenses en el proyecto de vinculación entre la COBUPEJ y la Universidad de Guadalajara”**, resalta la relevancia de los experimentos realizados para la formación y capacitación de profesionales en técnicas y ciencias forenses y su vinculación con las instancias, tanto gubernamentales como no gubernamentales, relacionadas con la impartición de la justicia. La perspectiva multidisciplinar de los métodos y técnicas utilizadas en las diferentes etapas del proyecto tiene un importante valor didáctico, y experimentos como los realizados pueden generar beneficios para la capacitación de personal con un perfil más amplio en un área del conocimiento que está desarrollándose.

En resumen, el ensayo de distintos enfoques disciplinares y metodológicos permitió aprender acerca de sus ventajas, dificultades técnicas y limitaciones. En general, las técnicas de prospección geofísica, termográfica, topográfica y de espectrometría, mostraron resultados más consistentes que los estudios del suelo y las comunidades de plantas e insectos, que requieren ser complementados con estudios de referencia sobre los patrones de variación espaciotemporal de las condiciones ecológicas de sitios experimentales y áreas de búsqueda.

La experiencia obtenida en los diferentes estudios que integran este libro muestran que, como lo reporta la literatura sobre el tema, la detección de fosas clandestinas enfrenta dificultades metodológicas, técnicas y operativas. En la práctica, la prospección del terreno



para tratar de detectar inhumaciones clandestinas consume tiempo y medios económicos, por lo cual es importante continuar los esfuerzos para poner a prueba los distintos métodos y poder seleccionar aquellos que proporcionan información más confiable y costo-efectiva.

Perspectivas sobre estudios a escala regional

Los experimentos realizados en Tonalá y Tlajomulco de Zúñiga abordan uno de los aspectos de la búsqueda de inhumaciones clandestinas, que es la localización de fosas o entierros en localidades donde existen indicios fundamentados de su presencia. Como ya se mencionó, un escenario distinto —aunque relacionado— es el de la exploración de áreas extensas, a escala regional, para detectar lugares donde, potencialmente, puedan existir fosas clandestinas; una vez localizados, el siguiente paso es aplicar técnicas como las que se han explorado en los capítulos de este libro.

Los entierros clandestinos pueden hacerse en el campo o en construcciones. En ambos casos, el conocimiento de las características del entorno de los sitios es importante. En la búsqueda de estos sitios se han considerado tres cuestiones: (1) la apariencia o las condiciones físicas del terreno, (2) los factores de selección de sitios de inhumación, y (3) las técnicas de búsqueda in situ (Somma et al., 2023).

Características como la presencia de suelos donde es relativamente más fácil realizar una excavación, el ángulo de inclinación de las pendientes, condiciones geomorfológicas estables —por ejemplo, ausencia de laderas inestables donde pueden ocurrir deslizamientos de suelo o márgenes de cauces donde inundaciones pueden arrastrar sedimentos—, visibilidad de los sitios por las características de la vegetación o infraestructura, han sido consideradas en el uso de métodos de percepción remota y aplicaciones de sistemas de información geográfica para evaluar condiciones del terreno que representan áreas potenciales de entierros y priorizar los trabajos de búsqueda (Kalacska & Bell, 2006).

La selección de los sitios de inhumaciones clandestinas puede estar influida por las condiciones físicas y geográficas del terreno, mismas que condicionan la conducta de los perpetradores del crimen, de manera que hay traslape entre la geología forense y la elaboración de perfiles geográficos forenses, contruidos por psicólogos investigadores en colaboración

con geógrafos (Alegre-Mondragón & Silván-Cárdenas, 2024; Berezowski et al., 2022, Somma et al., 2023).

A escalas espaciales relativamente extensas, una posibilidad para la detección de inhumaciones clandestinas es aplicar métodos que han sido desarrollados en la geografía y la ecología del paisaje —o geoecología—. Lo anterior para determinar distintos aspectos, tales como la aptitud de uso del suelo (González-Bernáldez, 1980), la distribución potencial de especies y las condiciones de hábitat favorables a estas (Guizán et al., 2017; Hirzel et al., 2006; Mayor et al., 2009) o la caracterización de hábitat para planificar acciones de conservación (Jardel, 2015).

En estos métodos se utiliza información de mapas temáticos (cobertura vegetal y uso actual del suelo, zonas climáticas, geomorfología, litología superficial, edafología, entre otros) para clasificar unidades del paisaje que, potencialmente y bajo determinados criterios, representan condiciones adecuadas para ciertos usos del suelo o áreas ricas en biodiversidad, o bien, conservadas o con distinto grado de transformación antropogénica (González-Bernáldez, 1980; Jardel, 2015). Datos de la distribución actual de especies y su asociación con variables ambientales que describen las características de su hábitat, pueden servir para localizar otras áreas o hábitats en los que las especies de interés podrían encontrarse (Guizán et al., 2017; Hirzel et al., 2006; Mayor et al., 2009).⁷

Una aproximación similar podría servir para la ubicación de áreas donde, potencialmente, pueden encontrarse inhumaciones clandestinas. A partir de datos —como las condiciones topográficas, tipos de suelos, cobertura vegetal y uso del suelo, proximidad a asentamientos humanos y vías de comunicación, entre otros factores, de ubicaciones conocidas de fosas clandestinas— es posible analizar con medidas de asociación, correlación o concordancia, unidades del paisaje regional donde probablemente se podrían localizar nuevas fosas. Otra

7 Otras aplicaciones similares al modelaje de nicho ecológico o de la distribución potencial de especies, junto con estudios conductuales y perfiles de búsqueda basados en inteligencia artificial se han desarrollado para fines militares, de “inteligencia” o de represión (véase, por ejemplo, Gillespie et al., 2009), en las cuáles se utilizan recursos tecnológicos muy superiores y mucho más costosos de los que podrían disponer quienes se dedican a realizar cosas tales como estudios para la conservación de la biodiversidad o a la búsqueda de personas desaparecidas (un ejemplo de la irracionalidad y la barbarie de estos tiempos). Desde luego, con toda su sofisticación técnica, esos métodos tienen sus fallas y en su aplicación en lugar de eliminar terroristas se bombardean escuelas (lo vemos a diario, lamentablemente, en casos como el de Palestina) y se desaparece a familias enteras. La tecnología de búsqueda podría ser empleada para usos más decentes y loables.



opción es utilizar datos de un conjunto de variables de las localidades conocidas y, mediante métodos de ordenación multivariada, identificar aquellas variables que mejor explican la localización de fosas, seleccionándolas como indicadoras para encontrar sitios donde podrían encontrarse nuevas fosas. A propósito de lo antes referido, se presenta un ejemplo relativamente sencillo pero ilustrativo.

Utilizando una base de datos de 73 fosas clandestinas (desde 2018 y hasta 2022) localizadas en los municipios del área metropolitana de Guadalajara (AMG) —estudiadas desde la Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco, con información de número de ID (que considera personas fallecidas, o bien, objetos que contienen segmentos de personas) encontradas en cada fosa, pendiente o ángulo de inclinación del terreno, tipo de suelo y uso del suelo (tomado de las cartas edafológicas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía) —, se hizo una categorización del tamaño de las fosas (clases de número de víctimas o ID por fosa) y una clasificación básica de unidades de paisaje (Tabla 1).

Los atributos de las unidades del paisaje considerados fueron: el uso actual del suelo de los sitios de localización de las fosas —en este caso, terrenos agrícolas, matorrales y pastizales secundarios establecidos en campos agrícolas en barbecho o en áreas boscosas perturbadas y zonas urbanizadas—, la inclinación de la pendiente y el tipo de suelo. Para los suelos en la clasificación de las unidades del paisaje se consideraron propiedades que pueden hacer más fácil o difícil una excavación. Por ejemplo, Feozem y Luvisol (este último se registro en un solo sitio) son suelos profundos, de textura media, relativamente suaves y fáciles de excavar; mientras que los Vertisoles son ricos en arcillas expansivas que se endurecen cuando están secos y son barrocos o lodosos cuando están húmedos; en ambas condiciones son más difíciles de excavar. Los Planosoles llegan a anegarse de agua durante la temporada lluviosa; los Regosoles son suelos de desarrollo incipiente sobre material parental no consolidado que es pedregoso o como cascajo; los Cambisoles son suelos forestales también con un perfil poco diferenciado, relativamente arcillosos y sobre material parental meteorizado, pero resistente a una excavación profunda. Los Litosoles son suelos en proceso de formación sobre roca consolidada, asociados en los sitios de las fosas con parches de Feozem como suelo secundario.



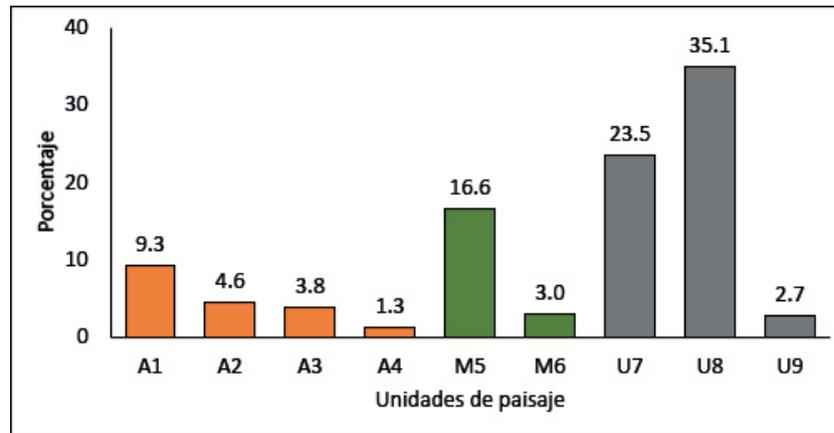
Tabla 1. Clasificación de unidades del paisaje (UP) en las que se han encontrado fosas clandestinas en el área metropolitana de Guadalajara

UP	Descripción
A1	Terrenos de cultivo agrícola, planos o semiplanos (<3°), con suelos profundos (Feozem, Luvisol*).
A2	Terrenos de cultivo agrícola, planos o semiplanos (3°), con suelos profundos arcillosos (Vertisol) .
A3	Terrenos de cultivo agrícola, planos a semiplanos (3-6°), con suelos inundables estacionalmente (Planosol).
A4	Terrenos de cultivo agrícola, ligeramente inclinados (<6°), con suelos someros pedregosos (Regosol),
M5	Matorrales y pastizales secundarios con, con pendiente moderada (6-18°) y suelos profundos (Vertisol, Feozem).
M6	Matorrales y pastizales secundarios, con pendiente moderada a fuerte (AP 18-30°) y suelos rocosos (Litosol/Feozem).
U7	Zonas urbanizadas sobre suelos profundos (Feozem, Vertisol), planos a semiplanos (<3°).
U8	Zonas urbanizadas sobre suelos forestales (Regosol, Cambisol), planos o semiplanos (<3°)
U9	Zonas urbanizadas sobre suelos pedregosos (Regosol) con pendientes moderadas a fuertes (18-30°)

Fuente: elaboración propia con datos de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

Tabulando y graficando el número total de ID encontradas en fosas por unidad del paisaje (Figura 1), se encontró que el mayor porcentaje se localizó dentro de zonas urbanas en las unidades U8 con Regosol o Cambisol y U7 con Feozem o Vertisol, ambas en terrenos planos o semiplanos, y en la unidad A1 de terrenos agrícolas con Feozem. Las unidades M6 (terrenos con matorrales secundarios sobre Litosol y pendientes moderadas a fuertes), U9 (zonas urbanas sobre Regosol con pendientes moderadas a fuertes) y A4 (terrenos agrícolas ligeramente inclinados sobre Regosol), presentaron el menor número de víctimas por fosa. Estos datos indican una preferencia de los perpetradores de desapariciones de personas por enterrarlas en lugares más fáciles de excavar por sus condiciones de suelo y pendiente, y probablemente accesibles por caminos o brechas (un factor no considerado en el análisis).

Figura 1. Porcentaje del número de ID (n= 1022) encontradas en 73 fosas clandestinas del área metropolitana de Guadalajara, por las unidades del paisaje descritas en la Tabla 1



Fuente: elaboración propia con datos de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

Para probar si existe una asociación estadísticamente significativa, esto es, mayor a la que podría deberse al azar, se elaboró una tabla de contingencia de dos entradas: unidades del paisaje en las filas y clases de número de víctimas por fosa en las columnas. Las celdas de la tabla de 9 unidades del paisaje por 5 clases de número de IDs, se llenaron con el número total de víctimas por clase-unidad de paisaje. Un valor de asociación estadística se calculó usando residuales de Pearson, calculados como los valores esperados menos los previstos, divididos entre la raíz cuadrada de los esperados (Everitt, 1992). Los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Asociación (valores de residuales estandarizados de Pearson) de fosas clandestinas por categoría de tamaño con las unidades de paisaje descritas en el cuadro 1. Los valores en negritas indican asociación significativa para $p < 0.05$

Unidad de paisaje	Categoría de tamaño de las fosas (número de víctimas/fosa)				
	<10	11-30	31-60	61-90	>90
A1	-1.88	-1.71	-3.38	8.17	-3.41
A2	1.20	5.41	-2.38	-3.48	-2.40
A3	4.67	1.80	-2.17	-3.17	-2.18
A4	6.08	-1.92	-1.25	-1.83	-1.26
M5	-5.40	-1.02	-4.52	-6.63	22.85
M6	9.38	-2.96	-1.93	-2.83	-1.95
U7	-0.12	1.47	0.58	1.91	-5.42
U8	-3.59	-0.15	7.27	3.04	-6.63
U9	8.92	-2.81	-1.84	-2.69	-1.85

Fuente: elaboración propia con datos de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

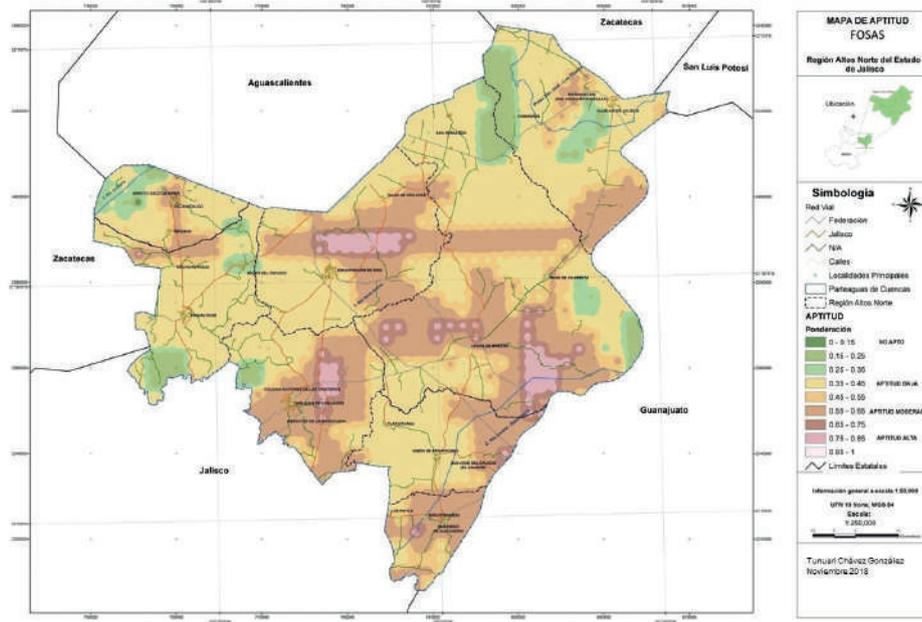
El mayor número de víctimas en inhumaciones clandestinas (clase de 61 a 90 IDs) se asoció, significativamente, con la unidad de paisaje A1 (suelos profundos y suaves en campos agrícolas) y la clase de 31-60 IDs con la unidad U8 (zonas urbanizadas sobre suelos forestales), ambas en terrenos planos o semiplanos.

La clase mayor a 90 víctimas presentó el valor más alto y se asoció con la unidad de paisaje M5 (matorral secundario sobre suelos profundos en pendientes moderadas), pero en este caso el resultado dependió de una sola fosa en la que se encontraron 125 IDs.

Como producto de la aplicación de un método similar, es como se determina la aptitud territorial para sectores económicos en un ordenamiento ecológico del territorio. Para el caso, desde el año 2018 en Jalisco se ha buscado analizar la aptitud territorial para el establecimiento de inhumaciones clandestinas a través de protocolos de búsqueda, particularmente desde un ejercicio experimental denominado “Mapa de aptitud territorial para fosas clandestinas en la región Altos Norte del estado de Jalisco” (Figura 2) que conjunta indicadores o atributos y los pondera mediante el método Delphi, estudiando el territorio desde cuadrantes como unidades

mínimas y utilizando un proceso metodológico similar al de un ordenamiento ecológico del territorio (Chávez, 2018); mostrando, en ese momento, congruencia con inhumaciones localizadas.⁸

Figura 2. Mapa de aptitud territorial para fosas clandestinas en la región Altos Norte del estado de Jalisco



Fuente: Chávez (2018).

Estos ejemplos son básicos y preliminares, pero nos muestra la posibilidad de utilizar métodos de análisis geocológico del paisaje para, a partir de datos de factores socioecológicos de una muestra de fosas conocidas, evaluar las condiciones ambientales en las que podrían

8 Este ejercicio se construyó en 2018 y 2019 desde la Unidad de Análisis y Contexto de la Comisión Estatal de Derechos Humanos de Jalisco, citando los saberes de colectivos de madres buscadoras. El Mapa de aptitud territorial para fosas clandestinas en la región Altos Norte del estado de Jalisco se presentó a familias en diversos foros y espacios.

localizarse con mayor probabilidad inhumaciones clandestinas; con esta información podrían priorizarse las acciones de búsqueda.

Se podrían elaborar mejores modelos que los del ejemplo presentado, utilizando — además de datos de pendiente, suelo y uso del suelo— mapas geomorfoedafológicos, de zonas climáticas, tipos de vegetación, densidad de población o de construcción, grado de marginación de los asentamientos humanos, distancia a vías de comunicación, entre otros. Lo anterior con la intención de hacer el modelaje espacial de la probabilidad de distribución y localización de inhumaciones clandestinas. Estas son algunas ideas que hay que ensayar en la práctica.

Consideraciones finales

Aunque los resultados obtenidos en el conjunto de estudios reunidos en este libro son, en su mayor parte, preliminares, muestran la variedad de métodos y técnicas que pueden emplearse en la búsqueda y detección de inhumaciones clandestinas. Estos trabajos, han sido realizados por un grupo de personas comprometidas con la aplicación de su conocimiento, desde distintas disciplinas científicas, a la labor de “encontrar a quienes nos faltan”. El ensayo experimental de varias técnicas de detección de fosas clandestinas ha servido como una exploración de posibilidades, de evaluación de ventajas y desventajas de los métodos empleados y, sobre todo, ha sido un proceso de aprendizaje que aporta valiosos elementos para diseñar nuevos estudios que contribuyan a elaborar mejores protocolos de búsqueda.

Los enfoques de los trabajos son diversos y el esfuerzo de investigación multidisciplinaria aún tiene pendiente transitar hacia una integración interdisciplinaria —la confluencia de varios campos de estudio en torno a un objeto de conocimiento común—. La interpretación ambiental y de los atributos físicos del paisaje han sido el eje integrador del conjunto de estudios en torno a un problema central, la búsqueda post mortem de personas inhumadas ilegalmente.

Recapitular sobre los aportes de estos trabajos de investigación colectiva, ya sean concretos, aproximados o solamente conceptuales, constituye un avance en un campo de estudio en el que queda mucho por aprender y al cual tenemos que prestar especial atención, dadas las circunstancias lamentables que enfrenta nuestro estado y nuestro país con la desaparición de personas. La tarea y la búsqueda continúan.



Es grande el dolor de miles de familias devastadas por la angustia y la impotencia de no conocer el paradero de sus seres queridos. Si ya no están en la forma de vida en la que se les vio por última vez, es fundamental seguir las pistas para reconocerles donde ahora se encuentran: en la naturaleza.

Referencias

- AGNEW, J., MARIANO, E., MOSSLER, S., JONES, N., BRAUGHTON, M., & GONZALEZ, J. (2009). *Finding Osama Bin Laden: An Application of Biogeographic Theories and Satellite Imagery*. UCLA: California Center for Population Research.
- ALAWADHI, A., ELIOPOULOS, C., & BEZOMBES, F. (2023). *The detection of clandestine graves in an arid environment using thermal imaging deployed from an unmanned aerial vehicle*. *Journal of Forensic Sciences*, 68(4), 1286-1291.
- ALEGRE-MONDRAGÓN A. & SILVÁN-CÁRDENAS J. (2024). *Using geospatial information sciences for the search of clandestine graves*. *Forensic Research & Criminology International Journal*, 12 (2), 159-166.
- ANDREWARTHA, H. & BIRCH, L. (1954). *The distribution and abundance of animals*. Chicago University Press.
- BEREZOWSKI, V., MALLET, X. & MOFFAT, I. (2020). *Geomatic techniques in forensic science: A review*. *Science & Justice* 60: 99-107. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2019.10.006>
- BEREZOWSKI V., MOFFAT, I., SHENDRY, Y., MACGREGOR, D., ELLIS, J. & MALLET, X. (2022). *A multidisciplinary approach to locating clandestine gravesites in cold cases: Combining geographic profiling, LiDAR, and near surface geophysics*. *Forensic Science International Synergy*, 5, 100281.
- BYRD, J. & CASTNER, L. (Eds.). (2009). *Forensic entomology: The utility of arthropods in legal investigations*. CRC Press. 10.4324/9781351163767
- BYRD, J. & SUTTON, L. (2023). *The Use of Forensic Entomology within Clandestine Gravesite Investigations*. *Atti della Accademia Peloritana dei Pericolanti. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali* 101(S1), A7. 10.1478/AAPP.101S1A7
- CANTER, D. (2003). *Mapping murder: walking in killers' footsteps*. Virgin Books.
- CHÁVEZ, T. (2018, noviembre). *Aptitud territorial para fosas clandestinas* [Diapositivas de Power Point]. Comisión Estatal de Derechos Humanos: presentación a colectivos de búsqueda. Auditorio CEDH: Guadalajara, Jalisco, México.
- COBUPEJ (s.f.). *Fosas clandestinas y características geomorfoedafoclimáticas* [Documento de Excel] [Material no publicado].

- DAVENPORT, G. (2001). *Remote sensing applications in forensic investigations*. *Hist. Archaeol.* 35(1), 87–100. 10.1007/bf03374530.
- DONNELLY, L. & HARRISON, M. (2013). *Geomorphological and geoforensic interpretation of maps, aerial imagery, conditions of diggability and the colour-coded RAG prioritization system in searches for criminal burials*. Geological Society, Special Publications 384(1), 173. 10.1144/SP384.10.
- DONNELLY, L., PIRRIE, D., HARRISON, M., RUFFELL, A. & DAWSON, L. (Eds.). (2021). *A guide to forensic geology*. Geol. Soc. London, pp. 1–217. 10.1144/gfg
- ELMES, G., ROEDL, G., & CONLEY, J. (Eds.). (2014). *Forensic GIS: the role of geospatial technologies for investigating crime and providing evidence*. Springer Press, pp. 1–320. 10.1007/978-94-017-8757-4
- ESCOBAR, D. (2022, 27 de octubre). *Encinas: hay dos mil 386 fosas clandestinas y cuatro mil 180 cuerpos exhumados en el país*. Proceso. Recuperado de: <https://www.proceso.com.mx/nacional/2022/10/27/encinas-hay-dos-mil-386-fosas-clandestinas-cuatro-mil-180-cuerpos-exhumados-en-el-pais-295926.html>
- EVERITT, B. (1992). *The analysis of contingency tables*. CRC Press.
- FITZPATRICK, W. & DONNELLY, L. (2021). *An introduction to forensic soil science and forensic geology: a synthesis*. *Geol. Soc. Spec. Publ.* 492(1), 1–32. 10.1144/sp492-2021-81
- GIANUZZO, A. (2010). *Los estudios sobre el ambiente y la ciencia ambiental*. *Scientiæ Studia VIII* (1): 129-156.
- GINZBURG, C. (2013). *Mitos, emblemas e indicios. Morfología e Historia*. Prometeo libros.
- GONZÁLEZ-BERNÁLDEZ, F. (1980). *Ecología y paisaje*. Blume.
- GUILLÉN, A., TORRES, M., & TURATI, M. (2018, 12 de noviembre). *El país de las 2 mil fosas. A dónde van los desaparecidos*. Recuperado de: <https://adondevanlosdesaparecidos.org/2018/11/12/2-mil-fosas-en-mexico/>
- GUISAN, A., THUILLER, W. & ZIMMERMAN, N. (2017). *Habitat suitability and distribution models*. Cambridge University Press.
- HIRZEL, H., LE LAY, G., HELFER, V., RANDIN, C., & GUIBAN, A. (2006). *Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences*. *Ecological modelling*, 199(2), 142-152.

- JARDEL-PELÁEZ, E., MAAS, M. & RIVERA-MONROY, V. (Coordinadores). (2013). *La Investigación Ecológica a Largo Plazo en México*. Editorial Universitaria-Universidad de Guadalajara-Red Mexicana de Investigación Ecológica de Largo Plazo.
- JARDEL, E. (2015). *Guía para la caracterización y clasificación de hábitats forestales*. Comisión Nacional Forestal.
- JOHNSON, L. & HUNN, E. (Eds.). (2012). *Landscape ethnoecology*. Berghahn Books.
- KALACSKA, M. & BELL, L. (2006). *Remote sensing as a tool for the detection of clandestine mass graves*. Canadian Society of Forensic Science Journal, 39(1), 1-13.
- KASPRZYK, I. (2023). *Forensic botany: who?, how?, where?, when?*. Science & Justice, 63(2), 258-275.
- LÓPEZ, J. (2022). *Sucesión de coleópteros necrobios y necrófilos en cadáveres de cerdos expuestos al sol y sombra en Zapopan, Jalisco, México*. Universidad de Guadalajara.
- MAYOR, S., SCHNEIDER, D., SCHAEFER, J. & MAHONEY, S. (2009). *Habitat selection at multiple scales*. Ecoscience, 16 (2), 238-247.
- MORABITO, M. & SOMMA, R. (2023). *The crucial role of Forensic Botany in the solution of judicial cases*. Atti della Accademia Peloritana dei Pericolanti. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali 101(S1), A11. 10.1478/AAPP.101S1A11.
- MORALES, G. (2017). *Las ciencias ambientales. Una caracterización desde la epistemología sistémica*. Nova scientia vol.9 no.18.
- MORIN, E. (1986). *El Método 3. El conocimiento del conocimiento*. Cátedra.
- MORIN, E. (1981). *El Método 1. La naturaleza de la naturaleza*. Cátedra.
- NAVEH, Z., & LIEBERMAN, A. (1990). *Landscape Ecology: Theory and Application*. Springer Verlag.
- PAULI, W. (1996). *Escritos sobre física y filosofía*. Debate.
- PRINGLE, J., RUFFELL, A., JERVIS, J., DONNELLY, L., MCKINLEY, J., & HANSEN, J. (2012). *The use of geoscience methods for terrestrial forensic searches*. Earth-Sci. Rev. 114, 108–123. 10.1016/j.earscirev.2012.05.006.
- ROBBEN, A. (2015). *Exhumations, Territoriality, and Necropolitics in Chile and Argentina*, in F. Ferrándiz & A. Robben (eds.). *Necropolitics: mass graves and exhumations in the age of human rights*. University of Pennsylvania Press.
- RUFFELL, A. (2010). *Forensic pedology, forensic geology, forensic geoscience, geoforensics and soil forensics*. Forensic Sci. Int. 202(1-3), 9–12. 10.1016/j.forsciint.2010.03.044

- RUFFELL, A., ROCKE, B., & POWELL, N. (2023). *Geoforensic search to crime scene: remote sensing, geophysics, and dogs*. *Journal of Forensic Sciences*, 68(4), 1379-1385.
- SOMMA, R., SUTTON, L. & BYRD, J. (2023). *Forensic geology applied to the search for homicide graves*. *Atti della Accademia Peloritana dei Pericolanti-Classse di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali*, 101(S1), 5.
- TINDALL, C. (1994). *Forensic Geology*. *Soil Science* 157(2), 1–128.
10.1097/00010694- 199402000- 00013
- TOMBERLIN, J., BENBOW, M., TARONE, A. & MOHR, R. (2011). *Basic research in evolution and ecology enhances forensics*. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(2), 53-55.
- WILTSHIRE, P. (2009). *Forensic ecology, botany, and palynology: some aspects of their role in criminal investigation*. In *Criminal and environmental soil forensics*. Springer Netherlands (pp. 129-149).

Retos





**Dirección de Análisis y
Contexto**

Comisión de Búsqueda de Personas
del Estado de Jalisco

INTERPRETAR LA NAT

PARA ENCONTRAR A C

NOS FALTAN



Comisión de Búsqueda
de Personas del Estado
de Jalisco
Subsecretaría de Derechos Humanos

TURALEZA
QUIENES



Avanzando hacia la justicia y la dignidad

Víctor Hugo Ávila Barrientos

En las profundidades de la investigación interdisciplinaria, entre las capas de suelo y los vestigios humanos, se revelan los cimientos de una nueva esperanza.

Los hallazgos obtenidos en los dos polígonos de experimentación — desarrollados hacia el sur y oriente del área metropolitana de Guadalajara (AMG) — representan más que meros descubrimientos científicos. Son los primeros pasos hacia una justicia post mortem, un compromiso con la memoria y la dignidad de aquellas personas que han sido arrebatadas de sus familias y sepultadas en la oscuridad de la clandestinidad, privando a sus seres queridos del proceso de duelo — inherente en todas las culturas — y que permite continuar con la vida: sí con una tristeza por la pérdida, pero con la paz que brinda la certidumbre de saber qué sucedió y dónde se encuentra la persona amada.

Son, además, la materialización práctica de los Principios Rectores para la Búsqueda de Personas Desaparecidas del Comité de la Organización de las Naciones Unidas Contra la Desaparición Forzada, mismos que establecen la seguridad, eficiencia y el uso de criterios técnicos como ejes de las actuaciones institucionales para la localización de víctimas.

La problemática de las desapariciones en México, en especial las forzadas y aquellas perpetradas por particulares, ha alcanzado dimensiones alarmantes en los últimos años.

Las fosas clandestinas, convertidas en silenciosos testigos de crímenes atroces, han dejado al descubierto la fragilidad de nuestro tejido social y la urgente necesidad de acciones concretas para abordar este fenómeno.

El estudio realizado en los polígonos de experimentación, bajo el marco de búsqueda de patrones naturales que se presentan en las inhumaciones experimentales, y que forman parte de Unidades Geomorfoedafoclimatológicas (UGMEC), ha sentado las bases para una comprensión más profunda de los procesos de inhumación clandestina desde la perspectiva del análisis de contexto.

De acuerdo con éste, los espacios de investigación abordados en el proyecto “Interpretar la naturaleza para encontrar a quienes nos faltan” representan 4.7 % del total del territorio del AMG, dado que comparten las mismas características de suelo, pendiente, roca, geofomas y clima (el Polígono 1 es representativo de 2.8 %; el Polígono 2, de 1.9 %).

Más allá de la proporción numérica, es de subrayar que en estas UGMEC se observan las características principales de aptitud territorial donde, en los últimos años, se han concentrado las localizaciones de fosas clandestinas.

En este sentido, por sus particularidades, la UGMEC donde se encuentra el sitio de investigación desarrollado en tierras tonaltecas —Polígono 1—, podría explicar la respuesta de la naturaleza en inhumaciones que (de forma clandestina) se presenten en las fronteras entre los municipios de El Salto, Tlajomulco de Zúñiga, Juanacatlán y Zapotlanejo. Cubriendo áreas conectadas por vías terrestres que conducen hacia las regiones Ciénega y Los Altos.

Por su parte, las propiedades del segundo polígono se replican hacia la intersección de Camino a Unión del Cuatro con el Circuito Metropolitano Sur, extendiéndose por esta ruta hacia el Macrolibramiento. Así, presentan proximidad con localidades complejas que han ido poblando la periferia del AMG.

Precisamente, en estas porciones de la ciudad, se han suscitado diversos hallazgos de personas sin vida que se encontraban desaparecidas: en la localidad de Zapote del Valle, Tlajomulco de Zúñiga, en el año 2019 se localizaron 70 bolsas con restos humanos y, dos años más tarde, se detectó otra decena de segmentos de víctimas (Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses, 2023).

También, en 2020, se identificó una inhumación en El Pedregal, El Salto, con 17 personas fallecidas (Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses, 2023).



Así, nos encontramos ante una investigación con el potencial de explicar el comportamiento de la naturaleza en los territorios actualmente más necesarios para la búsqueda de víctimas.

La dimensión del esfuerzo

Desde la identificación de parámetros físicoquímicos del suelo hasta el análisis de la vegetación y la entomología forense, cada elemento aporta piezas clave al rompecabezas de la investigación.

Pese a las limitaciones de la metodología se obtuvieron hallazgos relevantes, resultando en gran parte de éstos, congruentes con la literatura científica que existe respecto a investigaciones en procesos de descomposición de cuerpos.

También, se presentaron aciertos coherentes con el conocimiento que, desde años atrás, han acumulado familiares de personas desaparecidas quienes, lejos de conformarse con las acciones institucionales —que, hay que reconocer, siempre resultarán insuficientes hasta que todas las personas desaparecidas sean localizadas—, se entregan por completo en las labores de búsqueda en campo.

Sin embargo, este trabajo apenas explora la superficie de un problema complejo y multifacético.

Los diferentes hallazgos, con independencia de la relevancia que puedan significar, tienen un logro —*a priori*— en niveles exploratorios y descriptivos. Es decir, aportan una caracterización de los comportamientos, condiciones o situaciones desde las diversas disciplinas, vinculando información tanto cuantitativa como cualitativa (incluso, hasta identificando tendencias ó patrones) para construir una imagen del impacto que se aprecia, en la naturaleza, ante los procesos de descomposición de cuerpos.

Pero, debemos mantener la conciencia que estos enfoques tienen, como uno de sus principales objetivos, el sentar las bases metodológicas para investigaciones más profundas que puedan aportar alcances correlacionales. Fungir como un punto de partida. Ser cimiento de un límite cuyo trazo, debe adoptarse como parte de una agenda pública, con el respaldo de la sociedad.

La presente investigación requiere ahondar en todas las disciplinas y tener otros centros de experimentación forense en polígonos representativos de las regiones de Jalisco y, de

forma específica, en las 122 combinaciones geomorfoedafoclimáticas existentes en el AMG identificadas por la COBUPEJ a través de su Dirección de Análisis y Contexto. Particularmente, en las siete que presentan las mayores frecuencias (y, en conjunto, representan a más de una tercera parte del total de categorías del GMEC).

Asimismo, es pertinente la incorporación de inhumaciones con múltiples cuerpos en una misma fosa, para confrontar los comportamientos de todas las variables según la cantidad de individuos en descomposición.

La investigación, incluso y ante el requerimiento de información científica que también urge en el contexto nacional, tendría que extenderse en otras regiones de México, considerando los parámetros diferenciadores de cada zona.

Además, de forma específica, cada una de las aristas y disciplinas participantes en la experimentación, exhiben sus propios retos, desafíos y necesidades de seguimiento:

- El conocimiento empírico que han acumulado las personas buscadoras ya arroja posibilidades de sistematización, mediante un enfoque de ciencia ciudadana. Esta base, sin duda, proyecta la oportunidad de organizar datos de dinámicas sociales y psicológicas en torno a inhumaciones clandestinas. Así, se podría avanzar en el establecimiento de parámetros de búsqueda, y réplica de prácticas sensibles y empáticas que se incorporen a instrumentos y protocolos.
- En el caso del estudio del comportamiento electromagnético con Radar de Penetración Terrestre, si bien se detectó la coincidencia de reflexiones en los límites de fosas, proporcionando claridades sobre la interpretación de sus resultados en las diferentes inhumaciones experimentales, se requiere confrontarse con nuevas frecuencias de antena y estudiarse en otro tipo de composiciones edafológicas para solventar las complicaciones de lectura en suelos arcillosos. Aunado, necesita de levantamientos periódicos para equiparar el esfuerzo con investigaciones similares que se han extendidos hasta por seis años.
- Asimismo, los resultados de los métodos geofísicos, como la Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) y la Tomografía de Interferometría de Ruido Sísmico Ambiental (TIRSA), deben replicarse y profundizarse para aprovechar las bases generadas, que permiten proyectar la inclusión de estas técnicas en la formación de equipos forenses



y la elaboración de guías específicas para su aplicación en casos reales de búsqueda y recuperación de fosas clandestinas.

- La morfología del terreno estudiada mediante fotogrametría con drones, reconoció depresiones asociadas a las inhumaciones; no obstante, se debe considerar la posibilidad que, el tránsito frecuente de las personas que trabajaron en la experimentación, derivara en la compactación de la superficie. Así, se aprecia la importancia de profundizar los datos en un ambiente con menor perturbación.
- La detección de los espectros de luz —o colores— precisa la ampliación en el tiempo de análisis para comprender el comportamiento en las inhumaciones con bolsa plástica y cuerpos calcinados, toda vez que no se detectaron cambios en los pigmentos de la vegetación.
- También, para superar el nivel descriptivo del análisis químico de Nitrógeno, Fósforo, Potasio y pH, además de la humedad y compactación de suelo, se requiere la obtención de información del entorno previa a inhumaciones; homologación de métodos y materiales calibrados e incorporación de recursos criminalísticos, con posibilidad de confrontar datos; además, incluir la medición de Azufre, Calcio y Magnesio: elementos que se asocian a la presencia de organismos en descomposición.
Sin embargo, también es necesario reconocer que, en el plazo inmediato, para cumplir con el objetivo de localizar inhumaciones, se deben redoblar los esfuerzos en estudios de suelos que analicen el ámbito físico, más que el químico. Esto, derivado de que, preliminarmente, se reconoce la complejidad para utilizar este tipo de análisis debido al factor de variabilidad química en suelos. Es decir, con las posibilidades actuales resulta poco eficaz buscar un parámetro que funcione como método de búsqueda.
- En el aspecto de la botánica forense, resulta imperativo ahondar en la detección de las especies y familias de plantas favorecidas, tanto por los procesos de remoción de tierra así como por las concentraciones de elementos químicos derivados de la descomposición que nutren a la flora. Además, adentrarse en la identificación de especies pioneras y la profundización de la composición florística del entorno.
- También, dado que en las últimas tres décadas se ha observado que la fauna cadavérica varía significativamente, se requiere un conocimiento profundo de la biodiversidad local y las sucesiones ecológicas de los insectos.

Así, la continuación de la colecta, preservación y categorización de entomofauna debe replicarse y profundizarse en diversos ambientes para precisar aspectos sobre el intervalo post mortem, tratamiento del cuerpo y las condiciones del entorno.

- Ahora bien, el primer paso avanzado respecto a la posibilidad de localizar a víctimas a través de imágenes térmicas de aeronaves no tripuladas, generó resultados muy positivos; sin embargo, exige una continuación que permita solventar los desafíos que se presentan en la técnica. Es decir, cómo detectar fosas en contexto con una vegetación exuberante y particularidades en tipos de suelo, tanto en prospecciones nocturnas como diurnas, por medio de la identificación de patrones de diferenciación.
- El experimento para el estudio tafonómico reveló las probables implicaciones que tiene la forma en que se deponen los cuerpos para progresar o retrasar su descomposición, sin embargo, aún persisten grandes interrogantes sobre la estimación del intervalo post mortem de las víctimas.
- Con la comprensión del impacto que tienen las condiciones climato-meteorológicas para facilitar excavaciones clandestinas, es indudable la pertinencia de proyectar un sistema de monitoreo que permita anticipar los sitios con mayor aptitud para la existencia de fosas.

La responsabilidad de no ceder

La investigación desarrollada ha perfilado, entre sus principales aplicaciones, la obtención de información que permite efectuar búsquedas en campo más ágiles y certeras, que sean eficientes y reduzcan el riesgo a la integridad de familiares y personal público. No sólo ante situaciones de violencia, sino también ante probables afectaciones por peligros químicos y biológicos, derivados del contacto con restos en descomposición.

En ese sentido, y proyectando una ruta que también conduzca hacia una justicia plena y restaurativa, es crucial profundizar en la consolidación de diversos procesos para retornar a quienes nos faltan, considerando:

1. **Formación e integración multidisciplinaria permanente.** La relevancia de la vinculación e incorporación de perfiles nuevos como es el del científico forense, en



instancias relacionadas con la correcta impartición de la justicia tanto gubernamentales como no gubernamentales.

2. **Datos abiertos en formatos accesibles.** En el ejercicio del derecho a la verdad, a la información, a la participación —entre otros que resultan inherentes— requiere una base sólida de datos públicos y abiertos que permitan una comprensión plena del fenómeno, en su dimensión contextual.
3. **Integración de la Inteligencia Artificial (IA).** La IA puede desempeñar un papel fundamental en la optimización de los procesos de búsqueda y análisis de datos. El análisis de contexto interpreta patrones, en tanto que la IA, algoritmos de aprendizaje automático que pueden ser entrenados para identificar tendencias en grandes conjuntos de información, ayudando así a detectar posibles sitios de inhumación clandestina de manera más eficiente, además de automatizar procesos tanto del análisis de contexto, prospección, búsqueda y, con ello, generar hipótesis de identificación.
4. **Mejora de las Técnicas de Identificación Genética.** La identificación de restos humanos es un paso crucial en la búsqueda de justicia para las víctimas y sus familias. Es necesario seguir desarrollando y refinando las técnicas de análisis genético para garantizar una identificación precisa y confiable, especialmente en casos donde los restos están incompletos, deteriorados o contaminados con ADN de otros cuerpos. También, resulta fundamental el desarrollo de métodos que permitan comprender los efectos derivados de las condiciones climáticas que prevalecen en Jalisco y que son poco favorables para la ralentización de los procesos de descomposición orgánica. En este aspecto, de forma específica, es pertinente subrayar el potencial de los sitios de experimentación asentados en Tonalá y Tlajomulco de Zúñiga, dado que ofrecen la posibilidad de profundizar estudios respecto al impacto en los suelos donde se depositan a víctimas sin vida, y cómo se degrada el material genético en éstos.
5. **Implementación de Sistemas de Alerta Temprana.** La pronta detección de actividades sospechosas, o la identificación de áreas de alta aptitud territorial, puede contribuir significativamente a la localización de fosas clandestinas. La implementación de sistemas de alerta temprana basados en análisis geospaciales y patrones de comportamiento humano puede ayudar a las autoridades a intervenir de manera proactiva.

6. **Fortalecimiento de la Cooperación Interinstitucional.** La lucha contra las desapariciones y las fosas clandestinas requiere de una acción coordinada y colaborativa entre diversas instituciones gubernamentales, organizaciones de la sociedad civil y la comunidad tanto académica como científica. Es fundamental fortalecer los mecanismos de cooperación interinstitucional para maximizar los recursos y el impacto de las acciones llevadas a cabo en este ámbito, no sólo en la búsqueda — en este caso post mortem — sino con énfasis en la prevención. Las áreas de Análisis y Contexto y de Gestión y Procesamiento de información son fuentes de información valiosa para las instancias que tienen la capacidad de prevenir, no las desapariciones como tal ya que éstas son un síntoma, sino las violencias que son, a final de cuentas, las que van creciendo y generando entre otros fenómenos, la desaparición; y
7. **Atención Integral a las Víctimas.** Sumado a la búsqueda y la identificación de restos humanos, es necesario garantizar una atención integral a las víctimas y sus familias. Esto incluye el acceso a servicios de apoyo psicológico, asesoría legal y programas de reparación del daño; con el objetivo de contribuir a su proceso de sanación y recuperación, sí desde las instituciones que las leyes en la materia contemplan para ello, pero también desde las instituciones que participen en la prevención. Estas instituciones tienen que generar procesos de atención integral, no solo a víctimas — ya que justamente el propósito es que las personas alcancen a llegar al estatus de víctimas—, sino a habitantes que necesitan una transformación en la manera en la que son atendidas sus necesidades.

El camino hacia la justicia y la dignidad para las víctimas de desaparición y sus familias es largo y arduo, pero no es, siquiera concebible, un escenario en el que se dé marcha atrás.

La investigación científica, combinada con el compromiso político y social, es la mejor estrategia para enfrentar este desafío con determinación y esperanza.

Que los hallazgos obtenidos sirvan como un paso inicial para un futuro más justo y humano, donde la memoria de los ausentes sea honrada y sus derechos sean plenamente restituidos.



Referencias

INSTITUTO JALISCIENSE DE CIENCIAS FORENSES (IJCF). (2023). *Cuerpos de víctimas localizadas en inhumaciones clandestinas en el estado de Jalisco*. [Base de datos]. (Material no publicado).

Glosario

Artrópodos: conjunto evolutivo (o filo) de animales invertebrados de organización compleja; cuenta con un esqueleto externo, cuerpo segmentado y patas articuladas.

Ciencia ciudadana: generación de conocimiento objetivo con la participación de diferentes personas quienes, no necesariamente, se desenvuelven en el campo académico.

Clima: condiciones meteorológicas promedio que caracterizan a un lugar, se obtiene a partir de estadísticas a largo plazo.

Deposición: en el contexto forense, se refiere al proceso mediante el cual un cuerpo es colocado o enterrado en un lugar específico después de la muerte. Incluye tanto el acto físico de colocar el cuerpo en el lugar de enterramiento, como el contexto en el que ocurre.

Entomología: estudio de los insectos asociados a un cuerpo en descomposición.

Espectroscopía: estudio de la cantidad de luz que absorbe, despidе o dispersa (refleja) un objeto. Mide las longitudes de onda de luz, tanto visible como no visible.

Etapas de evolución cadavérica: fases que resultan de los procesos bioquímicos y de bacterias implicados en la transformación de moléculas para su incorporación al medio ambiente. La medicina forense considera cuatro periodos: cromático (característico por una una tonalidad verde parduzca), enfisematoso (en el que predomina la acumulación de gases y aparición de hongos en la superficie del cadáver), colicuativo (distinguido por acumulación de ampollas, desprendimiento de piel y cabello, así como exposición de vísceras, tendientes a la licuefacción del cuerpo, es decir su transformación de gas a líquido) y esqueletización (desaparición de partes blandas del cadáver).

Fotogrametría: técnica que reconstruye modelados tridimensionales o reproducciones a escala a partir de fotografías.

Fosa clandestina: cavidad natural o artificial utilizada o realizada de forma ilegal para enterrar o esconder, total o parcialmente, uno o más cadáveres o restos humanos.

Geófonos: dispositivos que transforman el efecto de una causa física en una señal eléctrica.

Gobernanza: procesos gubernamentales y prácticas que se ejercen con los atributos esenciales de transparencia, responsabilidad, rendición de cuentas y participación.

Imagen espectral: reproducción de la figura de un objeto a partir de la longitud de onda (distancia entre dos puntos consecutivos que son equiparables porque están en una misma fase) que refleja.

Intervalo Post Mortem (IPM): tiempo mínimo transcurrido desde la muerte hasta el hallazgo del cuerpo. Para determinarlo se consideran cambios biológicos y químicos afectados por los cambios corporales, las condiciones ambientales o de deposición del cuerpo.

Meteorología: ciencia interdisciplinaria encargada de estudiar el estado del tiempo y la atmósfera (capa gaseosa que rodea la Tierra); analiza los fenómenos allí producidos y las leyes que le rigen.

Morfología: forma de la superficie del relieve.

Muestreo: técnica de selección o recogimiento de datos que funciona para analizar y caracterizar una totalidad.



Multidisciplinariedad: trabajo paralelo de varias disciplinas del conocimiento, que estudian un objeto determinado.

Cámara multispectral e hiperspectral: dispositivo que tiene la capacidad de capturar espectros o imágenes más allá del rango visible para el ojo humano. Detecta la radiación en diferentes longitudes de onda o bandas espectrales, como el infrarrojo cercano (NIR), el infrarrojo medio (MIR) o el infrarrojo térmico (TIR).

La imagen multispectral muestra los valores de intensidad en las longitudes de onda discretas o no continuas, mientras que la hiperspectral sí exhibe el espectro continuo del objeto de análisis.

Naturaleza: conjunción del mundo material, que incluye el desarrollo de fenómenos y los procesos que acontecen sin intervención humana. Su estudio especializado da pie a la existencia de las diferentes disciplinas del conocimiento.

Ondas sísmicas: vibraciones o perturbaciones que se propagan como una respuesta a la liberación de energía. Existen ondas sísmicas que se propagan por el interior del planeta (ondas de cuerpo) y las que se generan por la interacción de las anteriores con la superficie terrestre, propagándose por ésta última (ondas superficiales).

Paisaje: porción del territorio que tiene la susceptibilidad de ser observado desde un determinado lugar.

Parámetro: dato variable que resulta necesario para el análisis de un proceso determinado.

Percepción Remota: técnica que permite obtener información, analizando los datos adquiridos mediante algún dispositivo que no está en contacto directo con el objeto de estudio.

Persona desaparecida: a la persona cuya ubicación y paradero se desconoce, independientemente de que su ausencia se relacione o no con la comisión de un delito.

Polígono: figura geométrica plana; se forma por la conexión de segmentos rectos que delimitan su forma.



Precipitación: cualquier hidrometeoro que desciende de la atmósfera y llega a la superficie terrestre en forma sólida o líquida (lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo).

Prospección Geofísica Somera: métodos y aplicaciones de la geofísica utilizadas principalmente para localizar cuerpos y estructuras geológicas del subsuelo.

Resistividad: capacidad con la que un material se opone al flujo de la corriente eléctrica. La conductividad es su inverso.

Tafonomía: estudio interdisciplinar de la transformación de un organismo, a partir de su muerte. En su aplicación forense se enfoca en los cambios ocurridos desde el fallecimiento y hasta la recuperación del cadáver, así como su posterior análisis. Evalúa el ambiente de depósito y los procesos peri y post mortem que afectan la preservación y degradación, orientando en las circunstancias de causa y forma de la pérdida de vida.

Termografía: técnica que permite la medición a distancia de la temperatura, a través de la captación de la radiación infrarroja que los objetos emiten.



Mensaje: Rector del Centro Universitario de Tonalá

La responsabilidad social de las universidades públicas se traza a partir de la contribución en el desarrollo y bienestar común. Esta colaboración es palpable cuando, en los centros de investigación, se gesta el conocimiento que permite resolver las problemáticas que aquejan a la sociedad.

Una de las situaciones más ingentes que atraviesa el país, y el estado de Jalisco, es la desaparición de personas. El lacerante fenómeno conlleva una amplia afectación colectiva por el impacto que provoca el delito en las víctimas: la Corte Interamericana de Derechos Humanos ha señalado que su carácter pluriofensivo se relaciona con la gravedad de las violaciones simultáneas de distintos derechos fundamentales.

En una dinámica de congruencia con la responsabilidad social, la Universidad de Guadalajara (UdeG), a través del Centro Universitario de Tonalá, creó la Licenciatura en Ciencias Forenses, cuyo objetivo es formar profesionales en dos sentidos: científico y ético. El científico forense, además de contar con conocimientos multidisciplinarios aplicados en hechos controvertidos, posee un compromiso con la ética, con la demostración de la verdad, con los derechos humanos y con la justicia. Materializándose un programa que pretende auxiliar al Estado en la correcta procuración, administración e impartición de la justicia.

En ese marco, el Departamento de Justicia Alternativa, Ciencias Forenses y Disciplinas Afines al Derecho desarrolló el laboratorio de experimentación denominado Granja Forense, cuyo interés principal es contar con un espacio de docencia para que el estudiantado pudiera adquirir conocimiento aplicado en materias como: Intervención Pericial, Criminalística de Campo, Métodos de Investigación en el Lugar de los Hechos, Procesos Sociales y Muerte, Patología Forense e Identificación de personas.

Aunado, la Granja Forense tiene como intención el desarrollo de experimentos que consoliden la generación del conocimiento. Este espacio se pensó para que tuvieran lugar tanto los trabajos de tesis, por parte del alumnado y el profesorado de la UdeG, como los proyectos de investigación de tipo experimental y multidisciplinar con alcance social, en los que puedan participar organismos no gubernamentales, universidades privadas, centros de investigación de dependencias gubernamentales e instituciones del Estado. Una muestra de estos últimos es la obra que nos ocupa, ya que representa el interés y la cooperación académico-institucional en el tema de desaparición de personas.

Los resultados que se muestran aquí fueron posibles gracias a una gran voluntad institucional entre la Universidad y el Gobierno del Estado de Jalisco. Siendo así que esta casa de estudios puso a disposición sus recursos, herramientas e integrantes de la academia para la búsqueda de soluciones a un problema tan complejo, que se ha convertido en uno de los retos prioritarios para el Estado, pues desafía las ciencias forenses, vulnera los derechos humanos, desdibuja la dignidad humana y torna inalcanzable la reparación integral del daño.

En esta línea de importancia es preciso exaltar la colaboración — que deja huella — de los esfuerzos institucionales impulsores de un avance significativo en materia de localización y tratamiento de fosas clandestinas, sucesos que están íntimamente relacionados con la desaparición de personas.

Nos congratulamos de los resultados de la investigación y refrendamos el compromiso social que, como institución pública, nos caracteriza. Esperamos que lo aportado contribuya para alcanzar la verdad y la justicia que, como sociedad, les debemos a las víctimas de desaparición.

Mtro. José Alfredo Peña Ramos
Rector del Centro Universitario de Tonalá



Mensaje: Rector de la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara

La palabra latina *universitas* refiere totalidad. La designación de ese vocablo, para lo que hoy conocemos como universidades, incluye dos dimensiones: la comunidad escolar y la institución en donde se reúne todo el saber. En la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara (UPZMG), nos implicamos, sobre todo, desde esta última. Entendiendo la convergencia de procesos de educación y aprendizaje.

La catástrofe de la desaparición de personas ha tenido un recrudecimiento innegable en los últimos años, y con ello, el aumento de las inhumaciones clandestinas en múltiples regiones del país. Particularmente, en Jalisco esta clase de hallazgos ha emergido de forma preocupante (Fiscalía Especial en Personas Desaparecidas, 2024).

En ese sentido, apreciamos la oportunidad de colaborar en un proyecto enmarcado en las exigencias de la realidad social. Y colocar, a disposición de la sociedad, nuestras capacidades académicas, educativas, técnicas y logísticas.

Desde la UPZMG resaltamos el honor de participar con la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco (COBUPEJ) y las diversas instancias científicas en la investigación de las fosas experimentales que nuestra casa de estudios alojó. Son grandes los retos que quedan para la formación contextualizada de la comunidad universitaria. Igual de grandiosos son los aprendizajes que derivan de este proyecto.

Referencias

Fiscalía Especial en Personas Desaparecidas. (FEPD). (2024). <https://fiscaliaenpersonasdesaparecidas.jalisco.gob.mx/registro-estatal-de-fosas-clandestinas/>

Mtro. Víctor Ravelero Vázquez
Rector de la Universidad Politécnica de la Zona
Metropolitana de Guadalajara



Semblanza de autores

Enrique Alfaro Ramírez •

Gobernador de Jalisco. Político, empresario e ingeniero civil.



Juan Enrique Ibarra Pedroza •

Secretario General de Gobierno.
Licenciatura en Derecho. Maestría en Derecho Electoral.



Margarita Sierra Díaz de Rivera •

Secretaría de Planeación y Participación Ciudadana. Impulsa mecanismos de participación conjunta para la construcción de la Ley de Personas Desaparecidas del Estado de Jalisco.



Víctor Hugo Ávila Barrientos •

Comisionado de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.
Licenciado en Estudios Políticos y de Gobierno. Maestría en Política y Gestión Pública.





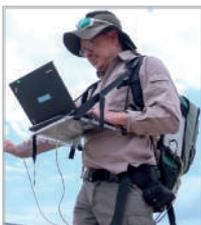
• **Gustavo Quezada Esparza**

Director del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses. Ingeniero industrial y abogado. Maestría en Protección Civil y Gestión de Emergencia.



• **Tunuari Roberto Chávez González**

Director de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.



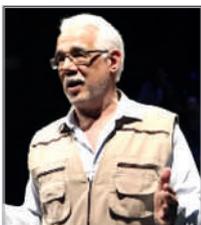
• **José Luis Silván Cárdenas**

Investigador Titular C del Centro Geo. Investigador nacional SNI-2. Doctorado en Ciencias de Información Geográfica.



• **Lourdes Andrea Linton Padilla**

Analista criminal en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco. Licenciatura en Criminología. Maestría en Criminalística, Criminología e Investigación Criminal. Doctorante en Justicia Criminal.



• **Eduardo Santana Castellón**

Maestro Emérito y director del Museo de Ciencias Ambientales de la Universidad de Guadalajara. Realiza investigación y docencia en ecología, áreas naturales protegidas, sostenibilidad urbana, política pública y gobernanza ambiental participativa.

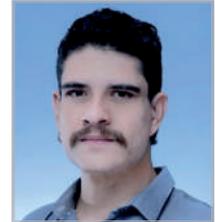
Melina Gil Meza •

Periodista y analista. Especialista en la defensa del derecho a la libertad de expresión, análisis de riesgo y mecanismos de protección.



José Darío Pereira Benítez •

Periodista. Maestría en Ciencias Sociales. Analista de contexto en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.



Luz Adriana Vizcaíno Rodríguez •

Química farmacobióloga. Maestría en Ciencias de Agrobiotecnología. Doctorado en Ciencias de Agrobiotecnología.



Ana Caccavari Garza •

Técnico Académico Titular A. Ingeniería en Geofísica. Doctorado en Ciencias de la Tierra en la Universidad Nacional Autónoma de México.



Martín Cárdenas Soto •

Profesor de Carrera Titular C. Ingeniería en Geofísica. Estudios de posgrado en Sismología y Física del Interior de la Tierra en la Universidad Autónoma Nacional de México.





• **Gerardo Cifuentes Nava**

Técnico Académico Titular B. Ingeniería en Geofísica. Doctorado en Ciencias de la Tierra en la Universidad Autónoma Nacional de México.



• **David Escobedo Zenil**

Jefe del Departamento de Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ingeniería en Geofísica. Estudios de posgrado en Ciencias de la Tierra.



• **José Antonio Martínez González**

Ingeniería en Geofísica. Maestría en Ingeniería en Geotecnia. Doctorante de Ingeniería en Exploración y Explotación de Recursos Geotérmicos.



• **Jesús Sánchez González**

Ingeniería en Geofísica. Maestría en Ingeniería en Exploración y Explotación de Recursos Naturales.



• **Uriel Gutiérrez Mendiola**

Trabaja en proyectos geológicos y geofísicos para CICLOS GIP. Ingeniería en Geofísica.

Adán González Nisino •

Trabaja en proyectos geológicos y geofísicos para CICLOS GIP. Ingeniería en Geología.



Dorian Quezada Esparza •

Antropólogo Perito oficial en el Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses.



Ana Josselinne Alegre Mondragón •

Economista. Forma parte de la Red Iberoamericana de Investigadores Forenses y de la Asociación Internacional de Analistas de Crimen.



Miguel Moctezuma Barraza •

Coordinador del Programa de Seguridad Global de la Universidad de Oxford. Maestría en Políticas Públicas. Maestría en Gobiernos y Asuntos Públicos.



Edgar Daniel Ramírez Aceves •

Experto en manejo de información, mapas, geoprocésamiento, mercadotecnia y análisis espacial. Maestría en Administración y Evaluación de Proyectos.





• **David Rogelio Campos Cornejo**

Coordinador de la Unidad de Información Estadística y Geoespacial del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.



• **Maximiano Bautista Andalón**

Ingeniero agrónomo. Maestría en Ciencias en Educación Ambiental.



• **Sergio Alberto Quezada Godínez**

Analista en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco. Licenciatura en Antropología.



• **Andrea Ponce Chávez**

Analista territorial con orientación en el manejo de aeronaves no tripuladas e información ráster. Licenciatura en Urbanística y Medio Ambiente.



• **Enrique Martin Ortega Higareda**

Analista en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco. Científico forense con orientación en el área biológica.

Sonia Citlalli Saucedo Aguilar •

Analista en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco. Científica forense con orientación en el área biológica.



Luis Manuel Martínez Rivera •

Profesor Investigador Titular C. Especialista en manejo integral de cuencas.



Ramón Cuevas Guzmán •

Botánico especialista en taxonomía y ecología de plantas. Doctorado en Botánica.



José Guadalupe Robles Estrada •

Analista en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco. Maestría en Litigación Oral Penal y Criminalística.



Fátima Yazmin Salcedo García •

Analista en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco. Licenciatura en Criminología, Criminalística y Técnicas Periciales.





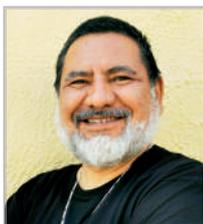
• **Jessica Berenice López Caro**

Bióloga con orientación al estudio de la fauna asociada a cadáveres. Doctorado en Ciencias en Biosistemática, Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas.



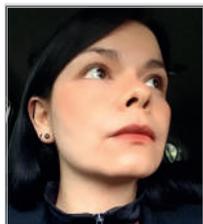
• **Lizbeth Guadalupe Romero Aguilar**

Analista en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco. Licenciatura en Criminología, Criminalística y Técnicas Periciales.



• **José Luis Navarrete Heredia**

Profesor Investigador Titular C en el Departamento de Botánica y Zoología de la Universidad de Guadalajara. Entomólogo, especialista en ecología y sistemática de Coleoptera.



• **Dalia Nonatzin Miranda Díaz**

Coordinación Técnica Operativa de Identificación Humana del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses. Licenciatura en Antropología. Licenciatura en Criminología, Criminalística y Técnicas Periciales.



• **Denisse Ayala Hernández**

Licenciatura en Derecho. Maestría en Investigación en Ciencias de la Educación. Doctorado en Sistemas y Ambientes Educativos. Líneas de investigación en ciudadanía, conflicto y derechos humanos. Especialista en análisis de la desaparición de personas.

Alma Cristina Padilla de Anda •

Licenciatura en Psicología. Doctorado en Neurociencias. Líneas de investigación en procesos emocionales y cognitivos respecto a la conducta antisocial.



Teresita de Jesús Bustamante Flores •

Laboró en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco. Ingeniería en Química. Maestría en Biotecnología.



Karina G. García Reyes •

Profesora investigadora de la Universidad del Oeste de Inglaterra en el Departamento de Criminología. Doctorado en Ciencias Políticas. Experta en crimen organizado y violencia relacionada al narcotráfico.



Víctor Ravelero Vázquez •

Rector de la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Maestría en Educación.



Gabriel Aquiles González Ruiz •

Director de Vinculación y Atención a Familiares de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco. Abogado. Maestrante en Desarrollo Humano.





Enrique José Jardel Peláez •

Profesor-investigador titular “C” del Departamento de Ecología y Recursos Naturales y Director de la División de Desarrollo Regional del Centro Universitario de la Costa Sur de la Universidad de Guadalajara.



Agradecimientos

Apreciamos profundamente el esfuerzo y la pasión de quienes acompañaron el proyecto de investigación “Interpretar la naturaleza para encontrar a quienes nos faltan”. Su voluntad inquebrantable, atención al detalle y disposición para enfrentar y superar los desafíos que se presentaron durante el camino resultaron, sencillamente, indispensables para materializar cada uno de los avances plasmados en esta obra colectiva.

Especial agradecimiento a las decenas de estudiantes del Centro Universitario de Tonalá y de la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara, cuyos nombres no se enlistan aquí pero que, ya sea cavando, asistiendo en los procesos de inhumación, analizando muestras en laboratorios, realizando seguimientos o, sencillamente, compartiendo sus inquietudes, ideas, conocimientos, dedicación y entusiasmo, fueron parte fundamental de este proyecto; no hubo un solo día en que sus esfuerzos hayan pasado desapercibidos. Les deseamos un futuro lleno de éxitos.

Es un privilegio haber compartido este camino con personas tan talentosas y comprometidas: compañeras y compañeros de trabajo, amigas y amigos que, de una u otra forma, aportaron a que esto fuera posible. Gracias por su colaboración incondicional, por las largas horas invertidas, así como por la entrega que demostraron a lo largo de esta travesía.

Alma Daniela Castellanos Gómez •

Coordinadora de Vinculación de la Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco. Licenciatura en Criminología con orientación en el manejo de aeronaves no tripuladas.



Abraham Leño Ávila •

Coordinador de Integración Multidisciplinaria de la Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco. Licenciatura en Estudios Liberales.





• **Tania Rubio Pérez**

Analista territorial en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.
Licenciatura en Urbanística y Medio Ambiente.



• **Ana Paula Figueroa Delgado**

Buscadora en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.
Licenciatura en Criminología, Criminalística y Técnicas Periciales.



• **Pablo Osiel Arenas González**

Coordinador de Procesos de la Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco. Licenciatura en Estudios Políticos y de Gobierno.



• **Denise Monserrat Rubio Peña**

Analista en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.
Licenciatura en Criminología.



• **Citlaly Lisbeth León Aguilar**

Analista en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.
Licenciatura en Criminología con especialización en el sistema penitenciario.

Sofía Guadalupe Palomera Becerra •

Analista en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.
Licenciatura en Criminología y Criminalística.



Leslie Elizabeth Lomelí de la Cruz •

Analista en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.
Licenciatura en Urbanística y Medio Ambiente.



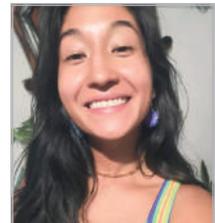
Yareli Guadalupe Villanueva Tovar •

Laboró como analista en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco. Licenciatura en Derecho.



Valeria Torres Díaz •

Laboró como analista en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco. Licenciatura en Antropología.



Miguel Ángel Triana Estrada •

Jefe del departamento de Recursos Materiales y Servicios Generales de la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Maestría en Educación.





• **Arturo Villalobos Ornelas**

Jefe del Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara.



• **Dolores Eugenia Pérez Lazcarro**

Profesora de Negociación y Cabildeo. Licenciatura en Estudios Políticos y de Gobierno. Posgrado en Cultura de Paz, Cohesión Social y Diálogo Intercultural.



• **José María Barba Muñoz**

Abogado en Proteína Animal, S.A. de C.V. (PROAN).



• **César Alejandro Villarreal Serrano**

Laboró en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco. Licenciatura en Derecho con especialización en derechos humanos de las víctimas de desaparición. Experto en investigación criminal.



• **Zayra Marcela Mendez Preciado**

Realizó sus prácticas profesionales en la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco. Estudiante de Criminología, Criminalística y Técnicas Periciales.

Raúl Venegas Reyes •

Ingeniero en Bitemetric. Análisis de datos, programación y visión computacional.



Francisco Alejandro Rodríguez Castillo •

Ingeniero en Bitemetric. Análisis de datos, programación y visión computacional.



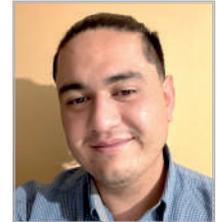
Carlos Omar Martínez Santos •

Ingeniero en Bitemetric. Análisis de datos, programación y visión computacional.



Rómulo Troncoso Pacheco •

Maestro en Ciencias en Bitemetric. Análisis de datos, programación y visión computacional.



Eduardo Santos Mena •

Maestro en Ciencias en Bitemetric. Análisis de datos, programación y visión computacional.





- **Susana Flores Esquer**

Licenciatura en Derecho. Secretaria particular del comisionado de búsqueda en Jalisco.



**Interpretar la naturaleza
para encontrar a quienes nos faltan**

**Ciencias biológicas, físicas y de la tierra
aplicadas a la detección de inhumaciones clandestinas**

Se terminó de imprimir en los talleres de la Dirección de Publicaciones
del Gobierno del Estado de Jalisco, Av. Prol. Alcalde 1351, 1^{er} Piso del Edificio C,
Unidad Administrativa Estatal, Col. Miraflores, C.P. 44270
Guadalajara, Jalisco, México, septiembre de 2024.

El tiraje constó de 1,000 ejemplares impresos
en Papel Cultural de 90 gramos.

Portada impresa a selección de color en papel Couché de 250 gramos.

No es que regresemos a la naturaleza, somos la naturaleza

Comprender esta condición indivisible que nos integra — y reintegra — a la tierra, para utilizar cada expresión de un ciclo *biogeoquímico* como indicador del paradero de un ser amado, es lo que motiva esta obra. Un libro donde una flor se convierte en pista. Un texto en el que la temperatura, el reflejo, el paisaje y la fauna transmutan en huellas.

A partir de conjugar conocimientos de colectivos de búsqueda de personas con las técnicas y visión de especialistas en diferentes disciplinas, en 2023, la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco (COBUPEJ) emprendió una investigación científica para optimizar la localización post mortem de víctimas de desaparición, depositadas en fosas clandestinas.

En este volumen, coeditado por la COBUPEJ y el CentroGeo (CONAHCYT), se presentan los primeros, pero prometedores resultados del experimento, logrados gracias al trabajo intersectorial y multidisciplinario, fundamentado en el análisis de las ciencias naturales y los aprendizajes de madres buscadoras.

La labor colaborativa narrada constituye un paso para garantizar el acceso a la verdad y justicia de familias que luchan cada día por retornar, a todas las personas desaparecidas, a casa.



"De mi cuerpo descompuesto crecerán flores, y yo estaré en ellas; eso es eternidad".

Edvard Munch