

Protocolos basados en evidencia para la búsqueda de personas desaparecidas

Mirsha Quinto-Sánchez

Coordinador



Facultad de Medicina



Protocolos basados en evidencia para la búsqueda de personas desaparecidas

Mirsha Quinto-Sánchez
Coordinador



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Medicina
Licenciatura en Ciencia Forense
Laboratorio de Antropología y Odontología Forense (LAOF)
Ciudad de México

Catalogación en la publicación UNAM. Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información

Nombre: Quinto-Sánchez, Mirsha, editor.

Título: Protocolos basados en evidencia para la búsqueda de personas desaparecidas / Mirsha Quinto-Sánchez, coordinador.

Descripción: Primera edición. | Ciudad de México : Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina, 2022.

Identificadores: LIBRUNAM 2134350 (libro electrónico) | ISBN 9786073060530 (libro electrónico).

Temas: Investigación criminal. | Medicina basada en la evidencia. | Personas desaparecidas.

Clasificación: LCC HV8073 (libro electrónico) | DDC 363.25—dc23

Protocolos basados en evidencia para la búsqueda de personas desaparecidas
Mirsha Quinto Sánchez

Primera Edición 2022

Fecha de edición: **28 de abril de 2022**

D.R. © Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán
C.P. 04510, Ciudad de México
Facultad de Medicina
Licenciatura en Ciencias Forense
Laboratorio de Antropología y Odontología Forense (LAOF)

ISBN: 978-607-30-6053-0 (electrónico)

Esta edición y sus características son propiedad de la Universidad Nacional Autónoma de México
Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Hecho en México/Made in Mexico

Portada: Mirsha Quinto-Sánchez

Diseño, maquetación y corrección: Mirsha Quinto-Sánchez

ÍNDICE

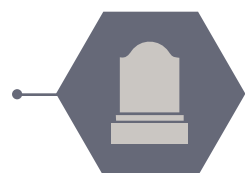
2



Introducción

Quinto Sánchez Mirsha

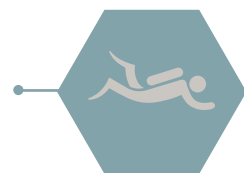
14



Gestión integral de panteones

Quinto Sánchez Mirsha

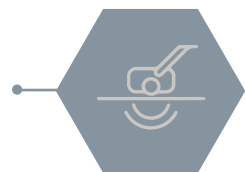
112



Prospección subacuática en aguas abiertas

Lara Tufiño Pamela, Estrada Salvador, Issa Paula,
Clavel Julio

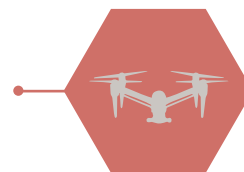
124



Prospección geofísica somera aplicada en búsqueda forense

Caccavari-Garza Ana, Quiroz-Suárez Diego, Cifuentes-Nava
Gerardo, Cárdenas-Soto Martín, Escobedo-Zenil David

154



Detección y prospección por medio de vehículos aéreos no tripulados y tecnologías geoespaciales

Silván Cárdenas José Luis, Alegre Mondragón Ana Josselinne,
Madrigal Gómez José Manuel

Prefacio

Los Protocolos basados en evidencia para la búsqueda de personas desaparecidas pretenden posicionar una visión de la praxis forense basada en evidencia. Por muchos años, las ciencias forenses han estado dominadas por directrices basadas en juicios personales, en la experiencia o en suposiciones no basadas en evidencia científica, lo que resulta en muchos casos mal fundamentados o la permisividad de pruebas sin sustento científico.

Un punto de clivaje para esta tradición fue la publicación del **Informe para el fortalecimiento de las ciencias forenses de Estados Unidos** en 2009, que realizó una crítica sin precedentes a la praxis forense en dicho país. Su primera recomendación enuncia la necesidad de “*establecer y hacer cumplir las mejores prácticas para la ciencia forense profesionales y laboratorios*”. Además, desarrolla un punto de mejores prácticas y estándares donde se especifica que “*aunque ha habido esfuerzos notables para lograr la estandarización y desarrollar las mejores prácticas en algunas disciplinas de las ciencias forenses, la mayoría de las disciplinas aún carecen de las mejores prácticas o cualquier estructura coherente para el cumplimiento de las normas de funcionamiento*”.

En este sentido, la publicación retoma los fundamentos de Archie Cochrane, quien en 1972 publicó el libro ***Effectiveness and Efficiency: Random Reflections on Health Services*** donde expone diversas preocupaciones y críticas a la falta de orientación y evidencia científica en la práctica médica; esto en relación tanto a la efectividad de los tratamientos como al uso adecuado de los recursos (médicos, de enfermería, equipos, etc.). Su publicación generó un profundo debate en las ciencias médicas de la época y permitió la conformación de la **Medicina Basada en Evidencia** (MBE), definida en 1990 por Gordon Guyatt. A partir de dicha delimitación epistémica, el número de artículos referentes al tema se incrementó linealmente, como lo demuestra el estudio de Claridge et al., (2005). La utilidad de la MBE ha profundizado su aplicación en diversas áreas, consolidándose cada vez más, por lo que el objetivo de la presente publicación es retomar su perspectiva y construir directrices de praxis forense por medio de la revisión sistemática de evidencia científica, a través de la metodología GRADE (*Grading of Recommendations, Assessment, Development and Evaluations*), su clasificación por jerarquía de evidencia (calidad) e incluyendo su recomendación por medio de niveles o grados de recomendación (intensidad). Así, el producto de cada protocolo incluido en la presente está sustentado en evidencia científica que puede ser consultada y revisada por cada lector (metaanálisis), estandarizando y mejorando la práctica forense en la búsqueda de personas.

En el Laboratorio de Antropología y Odontología Forense (LAOF) de la licenciatura en Ciencia Forense de la Facultad de Medicina de la UNAM hemos construido líneas de investigación dedicadas a la innovación de estándares de identificación humana y generando directrices para la práctica forense, en este caso de la búsqueda de personas. En 2016 se recibió

el apoyo de un proyecto para la Atención de Problemas Nacionales de Conacyt (PN-2518-2016), que permitió el desarrollo de la línea de intervención en cementerios y que terminó en esta publicación.

Además de Ciencia Forense, los *Protocolos basados en evidencia para la búsqueda de personas desaparecidas* reúnen investigaciones de otros académicos, quienes han confiado la publicación de sus protocolos a esta obra modular. El equipo de la subdirección de Arqueología Subacuática del Instituto Nacional de Antropología e Historia, en esta publicación, liderado por la arqueóloga Pamela Lara, presenta un protocolo sobre Prospección subacuática en aguas abiertas, donde se colige la experiencia del trabajo arqueológico que ellos desarrollan y lo delimitan para presentar las primeras directrices de aplicación en intervenciones de búsqueda forense. También, el equipo de trabajo del Instituto de Geofísica y de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, liderado por la doctora Ana Caccavari, presenta el protocolo de Prospección geofísica somera aplicada en búsqueda forense, donde se resume la investigación realizada por ellos para emplear diversas técnicas geofísicas y de prospección sísmica para la localización de perturbaciones en el terreno, compatibles con modificaciones antropogénicas ilegales. Finalmente, el equipo del Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (CentroGeo), liderados por el doctor José Luis Silván, presenta el protocolo Detección y prospección por medio de vehículos aéreos no tripulados y tecnologías geoespaciales, que permite la estandarización de numerosas investigaciones geoespaciales y de sensores remotos para la obtención de información determinante para la intervención en la búsqueda de personas.

La publicación es el primer paso a su consolidación, la crítica que pueda recibir de profesionales, académicos, expertos, familiares de desaparecidos, oficiales de búsqueda, policías o cualquier personal profesional en la cadena multidisciplinar de la búsqueda de personas, permitirá la consolidación y mejora continua de esta obra.

La búsqueda de personas es un desafío multidimensional y un escenario complejo, que requiere de la constante actualización de sus directrices operativas para intervención. La búsqueda entonces al ser una emergencia debe ser desarrollada con profesionalismo y alto estándar de evidencia, de esta forma, se predican los mejores resultados para el retorno de personas desaparecidas con sus familias.

Con este libro se espera que los lectores encuentren respuestas a sus preguntas técnicas, que permita su inclusión en cursos de formación de búsqueda de personas y que ayude a los familiares a integrar lo aquí sugerido a sus procesos de búsqueda.

Mirsha Quinto-Sánchez

Agradecimientos

Los *Protocolos basados en evidencia para la búsqueda de personas desaparecidas* es un resultado de la ejecución del proyecto Conacyt para Atención a Problemas Nacionales 2518-2016 otorgado en la categoría de Investigador Joven al Laboratorio de Antropología y Odontología Forense (LAOF) de la Licenciatura en Ciencia Forense de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México con un periodo de ejecución de 2018-2020. Agradecemos a los dos revisores del libro sus correcciones y comentarios a la versión inicial del manuscrito. También, queremos agradecer la gestión editorial del Dr. Jorge Avendaño-Inestrillas, Editor Ejecutivo del Comité Editorial y a la Lic. María de la Paz Romero Ramírez, Secretaria Técnica del Comité Editorial y Coordinadora Editorial del Departamento de Publicaciones, ambos de la Facultad de Medicina de la UNAM.



Fosa común

Exterior de la fosa común del Panteón Municipal de Pachuca, Hidalgo, México

Crédito: Mirsha Quinto-Sánchez

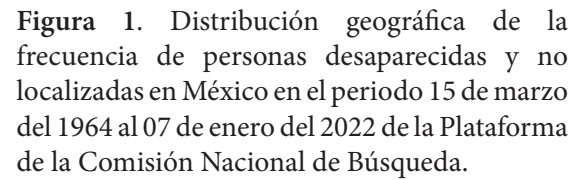
Introducción

Quinto Sánchez Mirsha¹

¹*Laboratorio de Antropología y Odontología Forense (LAOF),
Licenciatura en Ciencia Forense, Facultad de Medicina de la UNAM.*

Emergencia forense y la búsqueda de personas en México

A enero de 2022, la plataforma del Registro Nacional de Personas Desaparecidas y No Localizadas da cuenta de 96,615 personas desaparecidas y no localizadas (Figura 1). Este número es una evidencia directa de la emergencia forense que acontece en México, su complejidad y perspectivas de respuesta respecto de las capacidades de las instituciones mexicanas para mitigar todos sus efectos. Una persona se considera desaparecida cuando se desconoce su ubicación y/o destino (Morewitz, 2016), siendo multicausal e implicando escenarios de violencia o de ausencia voluntaria, produciéndose contextos de búsqueda que poseen una diversidad enorme, aunque se han descrito patrones dependientes de la edad, el sexo, estatus socioeconómico y la geografía (Foy, 2016). Las personas desaparecidas crean un gran vacío para la familia, los amigos, los compañeros de trabajo, los empleadores y la sociedad en general (CICR, 2010; Morewitz, 2016) y que, ante un vacío asociado a la respuesta del Estado para su localización, son los familiares quienes han protagonizado la generalidad de las búsquedas en campo. Por ello, desde la investigación forense mexicana, este es un aporte inicial, una acción de mitigación para que los procedimientos de búsqueda garanticen un estándar científico con un modelo basado en evidencia.



profesional y sus conocimientos acumulados en las actividades de búsqueda y localización de personas desaparecidas. También pueden solicitar la colaboración de las personas con conocimientos especializados y técnicos, de expertos forenses y otros científicos y de las organizaciones de la sociedad civil, para la formulación de hipótesis de desaparición, el diseño de la estrategia integral y la realización de actividades de búsqueda (Principio 8, rubro 4).

Los protocolos que se aplican para la búsqueda son una herramienta importante para garantizar la efectividad y la transparencia de la búsqueda. Deben permitir la supervisión de la misma por las autoridades competentes, las víctimas y todas las personas con un interés legítimo de conocerlos y supervisarlos. Estos protocolos deben ser públicos (Principio 16, rubro 1).

Las autoridades competentes deben hacer uso de los métodos forenses adecuados y de su experiencia

El modelo basado en evidencia.

El modelo basado en evidencia (MBE) se fundó en la medicina con una serie de trabajos publicados por Gordon Guyatt (Guyatt, 1991) donde se delimita un cambio de paradigma de la práctica clínica ortodoxa, basada en dar un gran valor a la autoridad científica tradicional; sustituyéndolo por un nuevo paradigma que reduce, aunque no anula, el valor de esta autoridad, y se basa además, en la comprensión de las evidencias científicas (Vega de Céniga et al., 2009). Aunque se podrían citar muchos trabajos como fundadores del paradigma de la MBE, tres resultan fundamentales, según Guyatt et al., (2004): Archie Cochrane y la insistencia en que las disciplinas clínicas resuman la evidencia sobre sus prácticas, Alvan Feinstein y su definición de los principios del razonamiento clínico cuantitativo y David Sackett y su innovación en la enseñanza de la valoración crítica.

El paradigma de la MBE resta importancia a la intuición, a la experiencia no sistemática y a la justificación fisiopatológica como base suficiente para la toma de decisiones clínicas y enfatiza el examen de la evidencia de la investigación clínica (Evidence-Based Medicine Working Group, 1992). El MBE busca empoderar a los profesionales para que puedan desarrollar puntos de vista independientes con respecto a las afirmaciones y controversias científicas (Guyatt et al., 2004). Luego entonces, de manera general el MBE se integra por: 1) la mejor evidencia científica publicada, dando preponderancia los niveles de evidencia, 2) la experiencia clínica y los valores o preferencias de los pacientes (Figura 2). Estos factores, en su interrelación

dialéctica producen un emergente: el MBE. Por tales características se considera que es un sistema disipativo, por lo que, para que la MBE exista deberían, por lo menos, existir e interactuar dialécticamente estos tres componentes primarios.

Es importante exponer también las críticas hacia el MBE, a 30 años de su formalización según Cohen et al., (2004), se pueden resumir en: 1) que la MBE se basa en el empirismo, malinterpreta o tergiversa la filosofía de la ciencia y es una pobre base filosófica para la medicina, 2) que la definición de evidencia de la MBE es limitada y excluye información importante para los médicos, 3) que la MBE no se basa en pruebas, es decir, no cumple con sus propias pruebas empíricas de eficacia, 4) que la utilidad de aplicar la MBE a pacientes individuales es limitada y 5) que la MBE amenaza la autonomía de la relación médico / paciente. Todas estas referencias críticas han sido ampliamente trabajadas en diversos estudios científicos siempre disipando controversias para posicionarse como la referencia primaria de la medicina moderna. Como demostración de su eficacia se puede referir las guías de reanimación cardiopulmonar, que se generan aplicando el MBE. Cichas guías a lo largo de varias décadas, han permitido, no solo guiar las directrices de soporte básico y avanzado de vida, extra e intrahospitalaria sino que han permitido desarrollar políticas públicas que salvan vidas en todo el mundo. Una prueba de una política pública transformadora, es la implementación de desfibriladores automáticos externos en espacios públicos, mejorando la respuesta a eventos cardíacos súbitos en la población general, y sobretodo elevando la oportunidad de sobrevivir a un evento cardíaco con una buena calidad de vida.

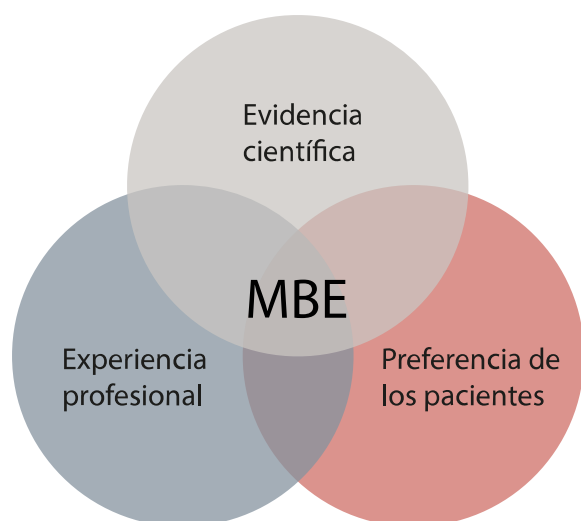


Figura 2. Esquema de los componentes que integran un modelo basado en evidencia.

Ciencia forense basada en evidencia (CFBE)

En las ciencias sociales la respuesta al modelo basado en evidencia ha sido escasa (Mykhalovskiy and Weir, 2004), comparada con el rápido y fructífero crecimiento en las ciencias médicas (Montori and Guyatt, 2008). Quizás ha tenido un rasgo de resistencia a incorporar estas metodologías porque existe una tradición epistémica y de praxis diferente. Empero, aquí se propone la incorporación de los modelos basados en evidencia al campo científico forense, específicamente a las ciencias antropológicas forenses.

En el rubro de búsqueda de personas desaparecidas las ciencias antropológicas toman relevancia, permitiendo la construcción de políticas públicas basadas en evidencia y la incorporación de la CFBE para la mejora de la praxis forense, como el informe para el fortalecimiento de las ciencias forenses en EUA (NRC, 2009) ha evidenciado, y que ha encontrado cabida dentro de las ciencias del derecho, captado su filosofía dentro del estándar o criterios Daubert (Cole, 2007), delimitado los siguientes puntos:

1. La teoría o técnica usada por el experto ha sido probada.
2. La teoría o técnica usada por el experto está publicada y ha sido sometida a revisión por pares.
3. La teoría o técnica usada por el experto tiene una tasa de error conocida.
4. La teoría o técnica usada por el experto está ampliamente aceptada por la comunidad científica.

La pericia científica forense se ha sistematizado en su praxis por medio de la Organización de las Áreas Científicas de la Ciencia Forense del NIST (SACs, 2020). Los comités de área científica (SAC) de la OSAC brindan dirección y supervisan el trabajo realizado por los subcomités de disciplinas específicas. Los SAC aprueban y canalizan el trabajo de los subcomités a la Junta de Estándares de Ciencias Forenses. Estas áreas científicas crean estándares o protocolos de praxis que es la idea toral de la presente guía. Esta organización es un ejemplo a seguir en México, siempre con los recaudos y adecuaciones necesarias.

Luego entonces, retomando el modelo basado en evidencia, se propone una adecuación a las ciencias forenses empleando el mismo modelo antes descrito

(Figura 2), pero adecuando su praxis al contexto forense y de búsqueda de personas. Por lo tanto, la CFBE integra: 1) la mejor evidencia científica disponible, 2) la experiencia de los peritos o investigadores y 3) las preferencias o aportes de los familiares de desaparecidos (Figura 2). Para el caso de la presente publicación, el modelo CFBE enfatiza solo la parte sobre la evidencia científica para la construcción de los módulos de esta edición. La experiencia profesional y la preferencia de los colectivos de familiares (ver Figura 3) no serán evaluadas, ya que implica un diseño específico para encuestar, analizar e integrar aspectos que estas dos fuentes de información darán; por ello el eje toral del documento es la revisión sistemática. Además, la guía será sometida a la revisión de profesionales, peritos, investigadores, colectivos de familiares para su escrutinio y mejora, como una forma de integrar conocimientos no aportados desde este primer ejercicio.

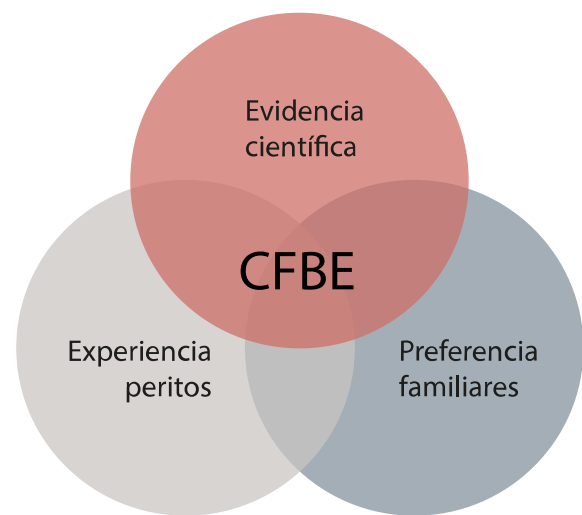


Figura 3. Esquema de los componentes que integran un modelo basado en evidencia. a) modelo clásico de la medicina, b) modelo adecuado a las ciencias antropológicas.

En la CFBE se retoman las recomendaciones de la participación de familiares bajo el Principio 5, rubro 1 que establece:

Las víctimas, sus representantes legales, sus abogados o las personas autorizadas por ellos, así como toda persona, asociación u organización con un interés legítimo tienen el derecho de participar en la búsqueda (Principio 5, rubro 1).

Respecto de la pericia o praxis se ha sugerido que el expertise de los peritos sea de la más alta calidad, buscando siempre una actualización constante, la certificación y recertificación de éstos de forma continua y progresiva (NRC, 2009).

Finalmente, los presentes protocolos intentan comenzar a analizar la información científica relevante para generar un estándar unificado de praxis basado en evidencia, que permita no solo guiar o dirigir una intervención con un estándar básico consensuado, sino que permita también proponer una política pública de intervención, como lo propone el principio tres de los principios rectores para la búsqueda de personas desaparecidas (ONU-DH, 2019).

La Guía BUSCA versión 1.0: metodología general.

La Guía BUSCA o Protocolos basados en evidencia para la búsqueda de personas desaparecidas ha retomado una visión modular para la publicación de los protocolos, en esta primera fase se han incluido cuatro protocolos para la praxis de búsqueda forense en el contexto mexicano: 1) Gestión Integral de Panteones, 2) Prospección Subacuática en Aguas Abiertas, 3) Prospección geofísica somera aplicada en búsqueda forense y 4) Detección y Prospección por medio de vehículos aéreos no tripulados y tecnologías geoespaciales (Figura 4).

En cada uno de los protocolos se siguió la metodología GRADE (*Grading of Recommendations, Assessment, Development and Evaluations*) para la revisión sistemática de información científica (Balslem et al., 2011; Guyatt et al., 2013a; b; c, 2011e, h, f, c, b, d, g; a; Brunetti et al., 2013). Siguiendo el flujo de trabajo de análisis estándar con seis pasos: (Figura 5): 1) delimitación del tema (módulo) a desarrollar, 2) búsqueda bibliográfica exhaustiva, 3) filtro 1, que implica la revisión bibliográfica resultante (revisión del título, palabras clave y abstract), 4) filtro 2, revisión bibliográfica a profundidad (lectura del texto completo). 5) definición de los artículos válidos para la construcción del protocolo o módulo y, finalmente, 6) redacción del protocolo (Figura 5).

Al ser un protocolo, se requiere la revisión sistemática de literatura de cada módulo, lo que implica ajustarse a una metodología, en este caso se generó una jerarquización bajo niveles de evidencia (calidad, Figura 6), esto terminará en un análisis que establecerá clases de recomendación (intensidad) para toda directriz que se establezca en dicho manuscrito (Figura 7).

Como se ha delimitado antes, todo protocolo forense debe ser estricto en su conformación, con una metodología sólida y reproducible. Sin embargo, su aplicación deberá ser flexible y adecuarse a las condiciones específicas de cada región de búsqueda, esto es que será determinado por **Contexto-dependencia**, es decir, la adecuación de un factor a condiciones locales o características emergentes de un sistema.



Figura 4. Estructura modular de los Protocolos basados en evidencia para la búsqueda de personas desaparecidas (Guía BUSCA) con sus cuatro protocolos.

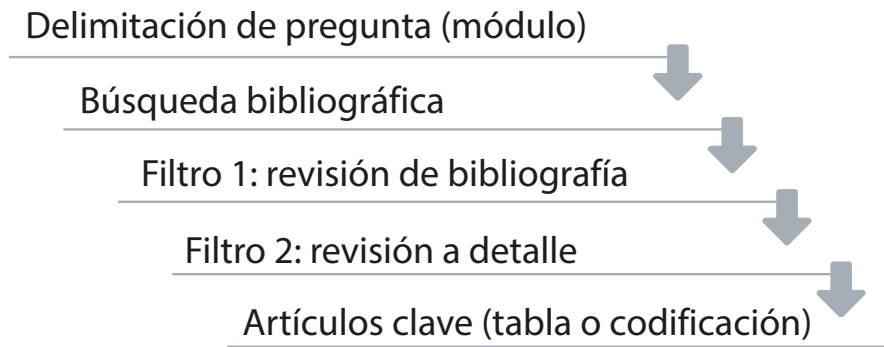


Figura 5. Flujo de trabajo para la revisión sistemática de bibliografía, se integra de seis pasos. 1) Delimitación de la pregunta por módulo y a criterio de los investigadores invitados. 2) Búsqueda bibliográfica en motores conocidos, journals, etc. 3) Filtro 1 de información, donde se realiza un análisis superficial de la información recabada. 4) Filtro 2, revisión de lectura detallada de los artículos encontrados. 5) Construcción de tabla de revisión donde se ordenan los artículos que son válidos para el manuscrito. 6) Redacción del manuscrito en forma de guías o protocolos.



Figura 6. Pirámide de la jerarquía de evidencia (calidad). La forma piramidal integra cualitativamente la cantidad de evidencia disponible de cada tipo de diseño de estudio y la solidez de la evidencia esperada de los diseños indicados. En cada nivel ascendente, la cantidad de evidencia disponible disminuye. Los diseños de estudios en niveles ascendentes de la pirámide generalmente exhiben una mayor calidad de evidencia y un menor riesgo de sesgo. La confianza en las relaciones causales aumenta en los niveles superiores. También es posible realizar metanálisis y revisiones sistemáticas de estudios observacionales y estudios mecanicistas. RTC, ensayo controlado aleatorio (Yetley et al., 2017).

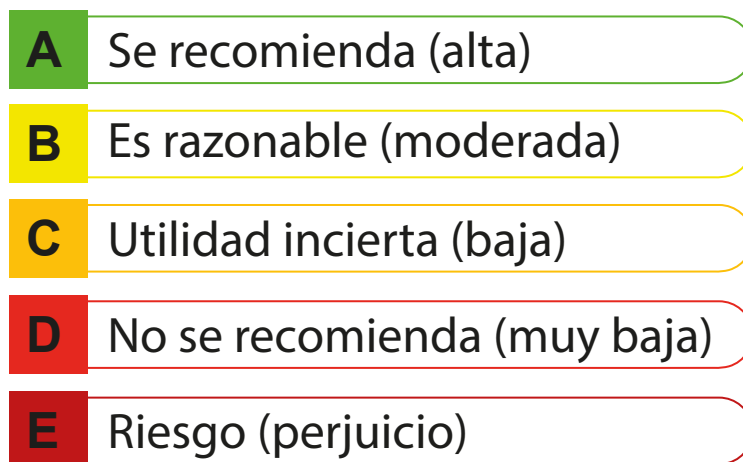


Figura 7. Niveles o grados de recomendación (intensidad). Gradiente de recomendación del modelo basado en evidencia a emplear en la presentación de manuscritos. Se trata de una escala que, basada en la pirámide de niveles de evidencia (calidad, Figura 6), emite una evaluación sobre la relación beneficio-riesgo de alguna medida.

También, es importante aclarar que los protocolos aquí publicados tienen un enfoque generalista, ya que intentan homologar un procedimiento, pero no ser determinista respecto de toda aquella situación que se puede presentar en diversos escenarios de búsqueda en México, lo cual resultaría imposible de captar en un documento. Por ello es importante el factor de innovación y creatividad que se enuncia en el Principio rector 16 sobre los protocolos (rubro 2), pero adoptando el modelo basado en evidencia y consensado por el equipo pericial a cargo. Siempre, evitando realizar procedimientos que pongan en riesgo la seguridad de los equipos y familiares o que comprometan la evidencia o indicios a recuperar.

Además, como el modelo basado en evidencia exige y, dadas las características de avance de la evidencia científica, los presentes protocolos se consideran como un estándar básico y primario para el acercamiento a una problemática multidimensional como lo es la búsqueda de personas. Esta primera entrega es incompleta, en el sentido de solo incluir cuatro módulos o protocolos. Aunque, se tiene la perspectiva de ir agregando protocolos conforme se sumen otros especialistas, es decir, será modular en su conformación.

Es importante decir que cada protocolo siguió las pautas establecidas para cada área científica, y la total independencia en su conformación, por lo que será evidente una desproporción entre los módulos protocolares, algunos con muchos sub-temas abordados

y otros más específicos. Por ejemplo, en el protocolo de *Gestión integral de panteones*, trabaja toda la cadena de aplicación de la antropología forense, desde su fase preliminar hasta la restitución de restos de personas o la reinterhumación o resguardo, definiendo una mayor heterogeneidad en este protocolo, por contener múltiples rubros; claro está, adecuados a los contextos de intervención forense cementerial.

Finalmente, se propone la revisión de dichos protocolos en un lapso de tres años, para realizar una nueva revisión sistemática y publicar una nueva versión. Se mantendrá así, un histórico de documentos en un repositorio para su consulta, lo anterior en consonancia con la praxis de los grupos de trabajo científicos para el ámbito forense, hoy denominados Comités de Áreas Científicas de Ciencia Forense (FAS-OSAC-NIST, 2020).

La academia no es ajena a los procesos sociales que acontecen en el país, desde su espacio pretende con estas guías comenzar a realizar acciones concretas para con los procesos de mitigación social de la violencia e impunidad imperantes en el país, pero sobre todo, ser un elemento más en la cadena de emancipación de la sociedad en esa búsqueda de su transformación: filosofía de la praxis.

Bibliografía

- Balshem H, Helfand M, Schünemann HJ, Oxman AD, Kunz R, Brozek J, Vist GE, Falck-Ytter Y, Meerpohl J, Norris S, Guyatt GH. 2011. GRADE guidelines: 3. Rating the quality of evidence. *J Clin Epidemiol* 64:401–406.
- Brunetti M, Shemilt I, Pregno S, Vale L, Oxman AD, Lord J, Sisk J, Ruiz F, Hill S, Guyatt GH, Jaeschke R, Helfand M, Harbour R, Davoli M, Amato L, Liberati A, Schünemann HJ. 2013. GRADE guidelines: 10. Considering resource use and rating the quality of economic evidence. *J Clin Epidemiol* 66:140–150.
- CICR. 2010. Personas desaparecidas, análisis forense de ADN e identificación de restos humanos. Ginebra, Suiza: Comité Internacional de la Cruz Roja.
- Cohen AM, Stavri PZ, Hersch WR. 2004. A categorization and analysis of the criticisms of Evidence-Based Medicine. *Int J Med Inform* 73:35–43.
- Cole SA. 2007. Toward Evidence-Based Evidence: Supporting Forensic Knowledge Claims in the Post-Daubert Era. *Tulsa Law Rev* 43.
- Evidence-Based Medicine Working Group. 1992. Evidence-based medicine. A new approach to teaching the practice of medicine. *JAMA* 268:2420–5.
- FAS-OSAC-NIST. 2020. Forensic Anthropology Subcommittee | NIST. Available from: <https://www.nist.gov/topics/organization-scientific-area-committees-forensic-science/forensic-anthropology-subcommittee>
- Foy S. 2016. A Profile of Missing Persons: Some Key Findings for Police Officers. In: Morewitz SJ, Colls CS, editors. *Handbook of Missing Persons*. San Francisco: Springer. p 7–18.
- Guyatt G, Cook D, Haynes B. 2004. Evidence based medicine has come a long way. *Br Med J* 329:990–991.
- Guyatt G, Oxman AD, Akl EA, Kunz R, Vist G, Brozek J, Norris S, Falck-Ytter Y, Glasziou P, Debeer H, Jaeschke R, Rind D, Meerpohl J, Dahm P, Schünemann HJ. 2011a. GRADE guidelines: 1. Introduction - GRADE evidence profiles and summary of findings tables. *J Clin Epidemiol* 64:383–394.
- Guyatt G, Oxman AD, Sultan S, Brozek J, Glasziou P, Alonso-Coello P, Atkins D, Kunz R, Montori V, Jaeschke R, Rind D, Dahm P, Akl EA, Meerpohl J, Vist G, Berliner E, Norris S, Falck-Ytter Y, Schünemann HJ. 2013a. GRADE guidelines: 11. Making an overall rating of confidence in effect estimates for a single outcome and for all outcomes. *J Clin Epidemiol* 66:151–157.
- Guyatt GH. 1991. Evidence-based medicine. *ACP J Club* 114.
- Guyatt GH, Oxman AD, Kunz R, Atkins D, Brozek J, Vist G, Alderson P, Glasziou P, Falck-Ytter Y, Schünemann HJ. 2011b. GRADE guidelines: 2. Framing the question and deciding on important outcomes. *J Clin Epidemiol* 64:395–400.
- Guyatt GH, Oxman AD, Kunz R, Brozek J, Alonso-Coello P, Rind D, Devereaux PJ, Montori VM, Freyschuss B, Vist G, Jaeschke R, Williams JW, Murad MH, Sinclair D, Falck-Ytter Y, Meerpohl J, Whittington C, Thorlund K, Andrews J, Schünemann HJ. 2011c. GRADE guidelines 6. Rating the quality of evidence - Imprecision. *J Clin Epidemiol* 64:1283–1293.
- Guyatt GH, Oxman AD, Kunz R, Woodcock J, Brozek J, Helfand M, Alonso-Coello P, Falck-Ytter Y, Jaeschke R, Vist G, Akl EA, Post PN, Norris S, Meerpohl J, Shukla VK, Nasser M, Schünemann HJ. 2011d. GRADE guidelines: 8. Rating the quality of evidence - Indirectness. *J Clin Epidemiol* 64:1303–1310.
- Guyatt GH, Oxman AD, Kunz R, Woodcock J, Brozek J, Helfand M, Alonso-Coello P, Glasziou P, Jaeschke R, Akl EA, Norris S, Vist G, Dahm P, Shukla VK, Higgins J, Falck-Ytter Y, Schünemann HJ. 2011e. GRADE guidelines: 7. Rating the quality of evidence - Inconsistency. *J Clin Epidemiol* 64:1294–1302.
- Guyatt GH, Oxman AD, Montori V, Vist G, Kunz R, Brozek J, Alonso-Coello P, Djulbegovic B, Atkins D, Falck-Ytter Y, Williams JW, Meerpohl J, Norris SL, Akl EA, Schünemann HJ. 2011f. GRADE guidelines: 5. Rating the quality of evidence - Publication bias. *J Clin Epidemiol* 64:1277–1282.
- Guyatt GH, Oxman AD, Santesso N, Helfand M, Vist G, Kunz R, Brozek J, Norris S, Meerpohl J, Djulbegovic B, Alonso-Coello P, Post PN, Busse JW, Glasziou P, Christensen R, Schünemann HJ. 2013b. GRADE guidelines: 12. Preparing Summary of Findings tables - Binary outcomes. *J Clin Epidemiol* 66:158–172.
- Guyatt GH, Oxman AD, Sultan S, Glasziou P, Akl EA, Alonso-Coello P, Atkins D, Kunz R, Brozek J, Montori V, Jaeschke R, Rind D, Dahm P, Meerpohl J, Vist G, Berliner E, Norris S, Falck-Ytter Y, Murad MH, Schünemann HJ. 2011g. GRADE guidelines: 9. Rating up the quality of evidence. *J Clin Epidemiol* 64:1311–1316.
- Guyatt GH, Oxman AD, Vist G, Kunz R, Brozek J, Alonso-Coello P, Montori V, Akl EA, Djulbegovic B, Falck-Ytter Y, Norris SL, Williams JW, Atkins D, Meerpohl J, Schünemann HJ. 2011h. GRADE guidelines: 4. Rating the quality of evidence - Study limitations

- (risk of bias). *J Clin Epidemiol* 64:407–415.
- Guyatt GH, Thorlund K, Oxman AD, Walter SD, Patrick D, Furukawa TA, Johnston BC, Karanickolas P, Akl EA, Vist G, Kunz R, Brozek J, Kupper LL, Martin SL, Meerpohl JJ, Alonso-Coello P, Christensen R, Schunemann HJ. 2013c. GRADE guidelines: 13. Preparing Summary of Findings tables and evidence profiles - Continuous outcomes. *J Clin Epidemiol* 66:173–183.
- Montori VM, Guyatt GH. 2008. Progress in evidence-based medicine. *JAMA - J Am Med Assoc* 300:1814–1816.
- Morewitz SJ. 2016. Missing Persons: Forensic Sociology Factors. In: S.J. Morewitz CSC, editor. *Handbook of Missing Persons*. Springer. p 93–104.
- Morewitz SJ, Colls CS. 2016. *Handbook of missing persons*.
- Mykhalovskiy E, Weir L. 2004. The problem of evidence-based medicine: Directions for social science. *Soc Sci Med* 59:1059–1069.
- NRC. 2009. *Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward*. Washington, DC.
- ONU-DH. 2019. Principios rectores para la búsqueda de personas desaparecidas. CDMX: Oficina en México del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos.
- SACs. 2020. Scientific Area Committees | NIST. Available from: <https://www.nist.gov/topics/organization-scientific-area-committees-forensic-science/scientific-area-committees>
- Vega-de Céniga M, Allegue-Allegue N, Bellmunt-Montoya S, López-Espada C, Riera-Vázquez R, Solanich-Valldaura T, Pardo-Pardo J. 2009. Evidence-based medicine: Its concept and applicability. *Angiologia* 61:29–34.

2

La desaparición administrativa

Interior de la fosa común de panteón Municipal de Pachuca, Hidalgo, México

Crédito: Mirsha Quinto-Sánchez



PROTOCOLO

Gestión Integral de Panteones

Quinto Sánchez Mirsha¹

*¹Laboratorio de Antropología y Odontología Forense (LAOF),
Licenciatura en Ciencia Forense, Facultad de Medicina de la UNAM.*

El presente manuscrito y sus respectivos resultados fueron desarrollados en el marco del proyecto Conacyt para Atención a Problemas Nacionales 2518-2016 (FM/DI/149/2016) titulado “*Proyecto NN: Protocolos de Identificación Humana, Colección Osteológica Nacional y Base de Datos de Personas No Identificadas y/o Desaparecidas*” otorgado en la categoría de Investigador Joven al Laboratorio de Antropología y Odontología Forense (LAOF) de Ciencia Forense de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México con un periodo de ejecución de 2018-2020. Se agradece la revisión y comentarios a las Dras. Sofia Huerta Pacheco, Ivet Gil-Chavarría, la Mtra. Roxana Enríquez Farías y el Arqlg. Juan Carlos Equihua Manrique. Además, la revisión del texto a Joel Ortega, Daniela Canchola y Paulina Cruz, tesistas de grado y posgrado del LAOF.

Introducción

En 2016, la Licenciatura en Ciencia Forense fue beneficiada con un proyecto Conacyt para Atención a Problemas Nacionales titulado “**Proyecto NN: protocolos de identificación humana, colección osteológica nacional y base de datos de personas no identificadas y/o desaparecidas**”, el mismo tuvo su principal meta científica en “*Construir un nuevo paradigma en la gestión de panteones basada en la aplicación de un innovador protocolo de recuperación de restos que permita garantizar los derechos post mortem*”.

Lo anterior integrando un protocolo de intervención en cementerios que posibilite la total identificación de las personas en fosas comunes a través del tiempo y teniendo una perspectiva de investigación científica con la configuración de una Colección Nacional Osteológica, permitiendo generar un nuevo flujo de trabajo en materia de gestión de restos humanos de fosas comunes, osarios o nichos (Personas No Identificadas, PNI) o de fosas individuales no reclamadas (Personas Identificadas No Reclamadas, PINR), facultando gestionar su trazabilidad, evitando su pérdida o descontextualización y liberando de cargas por saturación a todos los niveles del flujo de trabajo en materia tanatológica.

Por este objetivo, el Laboratorio de Antropología y Odontología Forense (LAOF) de la Licenciatura en Ciencia Forense de la UNAM propone esta guía básica para realizar excavaciones controladas que permitirán la liberación de espacios para fosas individuales, familiares (para aquellas fosas no reclamadas o regulares) y comunes en panteones, ofreciendo un flujo de trabajo integrativo que permita la gestión de restos de personas sin que se pierda su trazabilidad, empleando los espacios ya existentes en los panteones y/o cementerios, ahorrando recursos y generando una perspectiva de trabajo humanitario y de protección a los derechos *postmortem* de cada persona inhumada en una fosa común en México.

El presente documento intenta generar directrices basadas en evidencia para la intervención en panteones o cementerios del país, con un protocolo generalizado para estandarizar el procedimiento, independiente de la administración local, que permita la evaluación del problema con una metodología robusta y brinde datos confiables a los Comités Estatales o Locales de Búsqueda y/o a la Comisión Nacional de Búsqueda (CNB), así como a Fiscalías que lo requieran, profesionales de las ciencias forenses y/o equipos independientes.

El peor escenario para la crisis forense que acontece en México, es sumar la ausencia de datos básicos con los cuáles se puedan realizar toma de decisiones o generar políticas públicas basadas en evidencia, que ayuden a mitigar la situación de crisis que se vive en el país en materia de desaparición.

Marco normativo

En el presente documento se integra un protocolo generalizado para la intervención estandarizada en panteones, lo que está mediado por un sistema de reglamentación en el marco legal mexicano. Los panteones están delimitados legalmente por el artículo 115, fracción III, inciso e), de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, donde se establece que: “*Los Municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos*” entre éstos, los panteones.

La mayoría de los panteones o cementerios en el país tienen un reglamento que especifica su estructura, operación y servicios. Dentro de estos, la

dinámica de inhumación en fosas únicas asignadas a familias, el movimiento de cuerpos entre fosas o criptas a fosa común, cuando se ha vencido el periodo estándar delimitado por el reglamento para inhumar a más personas por motivos de espacio, con excepción de aquellas fosas bajo un régimen de perpetuidad; y además en el reglamento se delimita la fosa común.

Como un ejemplo, en el Reglamento de Cementerios del Distrito Federal se establece la definición de Fosa Común, es “*el lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados*”. Además, en el Capítulo VII De los Cadáveres de Personas Desconocidas, se establece en los artículos 56 y 57 que:

Los cadáveres y restos humanos de personas desconocidas que remita el Servicio Médico Forense para su inhumación en la fosa común, deberán estar relacionados individualmente con el número del acta correspondiente, satisfaciéndose además los requisitos que señalen la Oficina Central del Registro Civil y la autoridad sanitaria del Departamento del Distrito Federal.

De igual manera, en la Ciudad de México, el Manual de Organización del Instituto de Ciencias Forenses del Tribunal Superior de Justicia establece dentro de las funciones “*el registro, control y seguimiento de identificación de occisos desconocidos y filiación requeridos por las autoridades competentes*”.

Con la publicación de la Ley General en Materia de Desaparición Forzada de Personas, Desaparición Cometida por Particulares y del Sistema Nacional de Búsqueda (LGMDFP) en noviembre de 2017, se estableció el marco legal para la generación de un Programa Nacional de Exhumaciones e Identificación Forense (PNEIF); establecido en el Capítulo Octavo de la misma LGMDFP, en lo relacionado al diagnóstico, línea base e información metodológica.

Específicamente, el artículo 135 de la LGMDFP establece los criterios mínimos para con el PNEIF delimitando que su desarrollo estará a cargo de la Fiscalía General de la República (FGR) y que éste deberá contener como mínimo 15 puntos a desarrollar. El presente documento entonces ha realizado un

acercamiento a algunos de éstos con la incorporación del modelo basado en evidencia. Los puntos que pueden considerarse de interés para el presente documento son los siguientes:

- a. Diagnóstico, línea de base e información metodológica sobre la elaboración del programa;
- b. Información estadística sobre el número de cuerpos inhumados sin identificar;
- c. El listado de todos los panteones y cementerios del país, así como información sobre el número de cuerpos sin identificar inhumados en cada uno y las circunstancias y contextos correspondientes;
- d. Las estrategias regionales o locales de exhumación que se determinen de acuerdo con contextos y/o patrones específicos;
- e. Los criterios logísticos de priorización de las actuaciones de exhumaciones e identificación forense, de acuerdo con información recabada;
- f. La evaluación de los recursos humanos y técnicos necesarios para su implementación;
- g. El presupuesto asignado para la implementación y seguimiento del programa;
- h. Las actuaciones previstas para la identificación de las personas inhumadas y para proceder a las inhumaciones controladas, así como los tiempos previstos para su realización;
- i. Las instituciones que participarán en la implementación del Programa, estableciendo sus responsabilidades e indicadores específicos de gestión, proceso y resultado;
- j. Los mecanismos y modalidades de participación de las familias, colectivos de familias y organizaciones de la sociedad civil o personas acompañantes en los procesos de diseño, implementación, seguimiento y evaluación del programa;
- k. Los objetivos del programa y sus indicadores de gestión, proceso y resultados, determinando tiempos para su medición, y
- l. El cronograma de implementación del programa, estableciendo acciones a corto, mediano y largo plazo.

Bajo esta perspectiva debería estar asegurado el registro y trazabilidad de las personas no identificadas, sin embargo, México no cuenta con un Registro Nacional de Fosas Comunes, a pesar de que la LGMDFP lo establece. Históricamente, la gestión de los restos en fosas comunes es un rubro olvidado de la administración pública de todos los niveles de gobierno.

Recientemente se ha publicado el Protocolo Homologado para la Búsqueda de Personas Desaparecidas y No Localizada (PHB), en conformidad con el artículo 49, fracción XVI de la LGMDFP, en él se establecen algunas directrices que ayudarán a la mejora del vacío legal de las fosas comunes del país. Dentro del PHB, se establece la Búsqueda Generalizada que en su punto 4.2 integra el Cotejo del RNPDO con registros de inhumaciones en fosas comunes, donde como lo detalla el punto 353 del protocolo:

Las autoridades que administren fosas comunes deben cargar en el módulo de fosas comunes del RNFCFC información sobre los cuerpos y restos humanos inhumados en fosas comunes, incluida la relativa a inhumaciones anteriores a la entrada en vigor de este Protocolo [BGFC1]. El módulo de fosas comunes del RNFCFC será confrontado con el RNPDO a través del SUTI [BGFC3]. Mientras se desarrolla la solución técnica para automatizar la confronta [BGFC2], ésta será realizada por la CNB periódicamente [BGFC4]

Según el PHB cuando exista “un grado aceptable de correspondencia entre la información de una persona desaparecida y la información disponible sobre la persona cuyo cuerpo fue inhumado en la fosa común” la Comisión Local de Búsqueda debe realizar gestiones para con la “Bitácora Única de la persona desaparecida con las acciones realizadas [BGFC10], contactar a la familia, explicarle los hallazgos y dársele acceso irrestricto al expediente de búsqueda [BGFC11]. También debe contactarse a la autoridad ministerial responsable de la Búsqueda Individualizada de la persona y entregarle la totalidad de la información recabada [BGFC12]”.

Además, otro punto determinante que establece el PHB, es lo establecido en el punto 358:

Para evitar la realización de maniobras innecesarias en una fosa común, en los casos en que este método

de Búsqueda Generalizada arroje numerosas coincidencias [BGFC7] debe establecerse una coordinación entre todas las autoridades responsables de la Búsqueda Individualizada de los posibles positivos para fines de exhumación e identificación [BGFC8]. Las y los familiares podrán participar en la elaboración de cualquier plan de exhumación, identificación y restitución, y en la observación de su ejecución. Todos los restos que sean exhumados de una fosa común y por cualquier motivo no puedan restituirse a la familia de las personas a las que pertenecieron [BGFC13] deben ser inhumados en un panteón forense, o, en su defecto, en fosas individualizadas [BGFC14].

Es importante señalar que, dentro de las causas de imposibilidad de localización de una persona incluidas en el PHB, se enlista a las fosas comunes, citando que:

Haber sido depositados en una fosa común, habiéndose realizado pericias de identificación humana o no; y con la posibilidad de reubicaciones en la misma fosa común, sustracción de restos y dispersión por efecto de la fauna o fenómenos naturales

De igual manera, se considera que el estar en instituciones educativas o científicas es otro punto de imposibilidad de localización, así como también la práctica de incineración o destrucción, hábito antiguo que apartir de 2017 quedo prohibido. La visión de innovación es garantizar los derechos *postmortem*, que permitan elevar la probabilidad de identidad de los restos como un principio rector de cualquier procedimiento en investigación o docencia que implique el uso de restos óseos o cuerpos de personas.

Algunos estados han avanzado mucho en materia de desaparición, por ejemplo, el Estado de Coahuila publicó en junio 2019 una la Ley para la localización, recuperación e identificación de personas del estado de Coahuila de Zaragoza, cuyo objetivo es “reconocer y garantizar el derecho a la plena identificación de todas las personas fallecidas en el Estado de Coahuila de Zaragoza o cuyos restos pudieran encontrarse en el territorio del

Estado, y los derechos de las familias de las personas desaparecidas en los procesos de búsqueda, localización, recuperación, identificación forense, notificación y entrega de restos humanos”.

También, reconociendo el principio de búsqueda, derecho a la verdad y memoria. En la Sección IV se establece la necesidad de conformación de Planes de Exhumación e Identificación, delimitando fosa clandestinas o panteones del estado. Asimismo, se emplaza a la Fiscalía a realizar un “catálogo completo de todos los restos humanos que se encuentren bajo su responsabilidad, ya sea bajo su responsabilidad directa, o a confiados a otras instituciones, indicando para cada uno, toda la información disponible, sobre su procedencia, fecha de recuperación, contexto del hallazgo, otros elementos relevantes recuperados, así como su ubicación física y los procedimientos de individualización que se hayan llevado a cabo”.

Un punto de suma relevancia es que en la Sección V se trata el Resguardo y Conservación de Restos Humanos, Objetos personales y otras evidencias, estableciendo en su artículo 88 que:

La Fiscalía adoptará todas las medidas necesarias para garantizar que tanto los restos humanos como los objetos personales y otras evidencias recuperadas sean resguardados en condiciones que permitan asegurar su conservación individualizada, su clasificación, seguridad y localización precisa facilitando su identificación y restitución a la familia.

Además, se establece un criterio de resguardo sin mediar el tiempo, estableciendo que “Cuando no haya podido obtenerse información útil para la identificación luego del tratamiento y análisis de los restos humanos conforme a los más altos estándares científicos y técnicos disponibles, o no haya sido posible su tratamiento con las técnicas actuales, se conservarán los restos para someterlos a nuevos procesos que permitan los avances científicos futuros.”

La ley trata las inhumaciones (LGMDFP-Capítulo VI), estableciendo la forma de inhumación individual, la estricta documentación del proceso y la prohibición de la destrucción de cuerpos o restos.

Para la configuración del presente protocolo, se revisó un reglamento de panteones por estado, intentando conocer si dentro del mismo se define a la fosa común, qué tratamiento se da a los cuerpos de PNI o desconocidas, a las PINR y si reconoce a osarios. Solo tres reglamentos no están disponibles para consulta pública: Querétaro, Chilpancingo y Tlaxcala; el resto se pueden consultar en la siguiente url: laofunam.com/gip/. Con la anterior revisión, se asegura seguir las normas primarias de cada reglamento y la Ley General de Salud como referencia para con los procedimientos de tratamiento de restos humanos y/o cadáveres.

Finalmente, el proyecto APN2518-2016 está registrado y aprobado por la División de Investigación y Comisión de Ética de la Facultad de Medicina-UNAM con el número FM/DI/149/2016.

La búsqueda de personas desaparecidas: el caso de las fosas comunes

Dentro de la complejidad del rubro búsqueda de personas, existen un sinnúmero de espacios (ambientes) donde se pueden realizar acciones de búsqueda o prospecciones, para este protocolo, un universo de búsqueda, poco tratada y minusvalorada, lo son las fosas comunes. Quizás por su contexto y respaldo legal, al estar reguladas por diversas legislaciones y reglamentos, y en tutela de alguna fiscalía y con la administración del orden municipal, pareciera que las fosas comunes de panteones serían un lugar donde, por cuenta del Estado, los restos de las personas estarían resguardadas con un grado de certeza enorme, pero la realidad supera estas predicciones.

La emergencia forense que vive el país ha denotado muchos casos donde la gestión de cuerpos en fosas comunes está lejos de ser la correcta, Tetelcingo, Jojutla o Palo Verde, Veracruz, son lugares que dan evidencia de la pobre o nula gestión administrativa en panteones, misma que requiere de una estandarización basada en evidencia y no la simple gestión desde una directriz empírica o administrativa. Por este motivo es que el presente protocolo se construye, tratando de dar directrices generales para permitir una gestión innovadora de restos de personas en panteones.

Diagnóstico preliminar

Según el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE 2018) del INEGI, en México existen 4,120 registros de panteones en el país, de los cuales 3,686 son públicos y solo se reportan 434 privados. Sobre estos datos se calculó la Frecuencia de Panteones Públicos por Estado (FPE) y se recopilieron 19 variables más para un análisis integral (de las cuáles solo siete resultaron válidas para el análisis, ver más abajo). Dentro de los metadatos que el DENUE aporta, se tienen las coordenadas geográficas de cada panteón, gracias a lo cual se realizaron análisis geoespaciales. Este diagnóstico intenta analizar de manera bivariada y multivariada el fenómeno de los panteones a nivel nacional para generar una primera caracterización sobre éstos.

Aproximación bivariada

Se generó una caracterización y análisis de la distribución de panteones en México, contrastando diversas variables respuesta por medio de regresiones lineales simples, lo que se ha denominado **aproximación bivariada**. Los resultados muestran que la frecuencia de panteones en México tiene una tendencia dependiente de la cantidad de municipios de cada estado (Tabla 1), presentado una fuerte y significativa correlación entre el número de panteones y municipios por estado ($r^2=0.8064$, r^2 ajustado $=0.7999$ $p=3.213e-12$), siendo Oaxaca el estado con mayor cantidad de panteones y municipios; y Baja California Sur con la menor (Tabla 1, Figura 1a), esto es sumamente predecible por la planificación general en materia de administración pública, donde dentro del ordenamiento municipal se requiere de un panteón o cementerio municipal. La política pública aquí, sería no solo generar la regla de un panteón por municipio, sino generar un proyecto estatal para la gestión de panteones y articular que municipios circunvecinos puedan compartir instalaciones y recursos para la gestión de restos.

Asimismo, se presenta una correlación con la población estimada para 2018 (INEGI 2018) mayor de 18 años ($r^2=0.2718$, r^2 ajustado $=0.2475$, $p=0.00222$) aunque esta se diluye cuando es caracterizada por la densidad poblacional, es decir, los habitantes por km^2

Tabla 1. Frecuencia ordenada de panteones respecto de municipios y fosas comunes en las 32 entidades federativas de México.

Estado	Código	Panteones ¹	Municipios	Fosas ²	
				En operación	Cerradas
Oaxaca	OAX	553	570	2	0
Puebla	PUE	400	217	46	207
Estado de México	MEX	378	125	2196	2190
Veracruz	VER	278	212	46	85
Jalisco	JAL	196	125	123	236
Michoacán	MIC	182	113	7	1
Hidalgo	HID	145	84	9	46
Chiapas	CHP	131	123	1	3
Guerrero	GRO	130	81	33	191
Yucatán	YUC	124	106	440	2222
Morelos	MOR	104	35	3	2
Guanajuato	GUA	99	46	96	24
Sonora	SON	93	72	81	169
Ciudad de México	CMX	90	16	10	3
Tabasco	TAB	86	17	71	229
Zacatecas	ZAC	76	58	2	0
Tamaulipas	TAM	69	43	372	1449
Nuevo León	NLE	67	51	13	23
San Luis Potosí	SLP	59	58	75	26
Chihuahua	CHH	58	67	201	2873
Sinaloa	SIN	53	18	10	0
Coahuila	COA	46	38	301	202
Durango	DUR	38	39	413	451
Nayarit	NAY	38	20	21	27
Tlaxcala	TLA	36	60	1	5
Campeche	CAM	33	11	0	0
Querétaro	QUE	33	18	1	0
Baja California	BCN	24	5	346	133
Aguascalientes	AGU	20	11	0	0
Quintana Roo	ROO	19	11	72	0
Colima	COL	17	10	1077	7
Baja California Sur	BCS	11	5	0	0
Totales		3686	2465	6069	10804

¹según datos del DENUE, ²según datos del INEGI 2020.

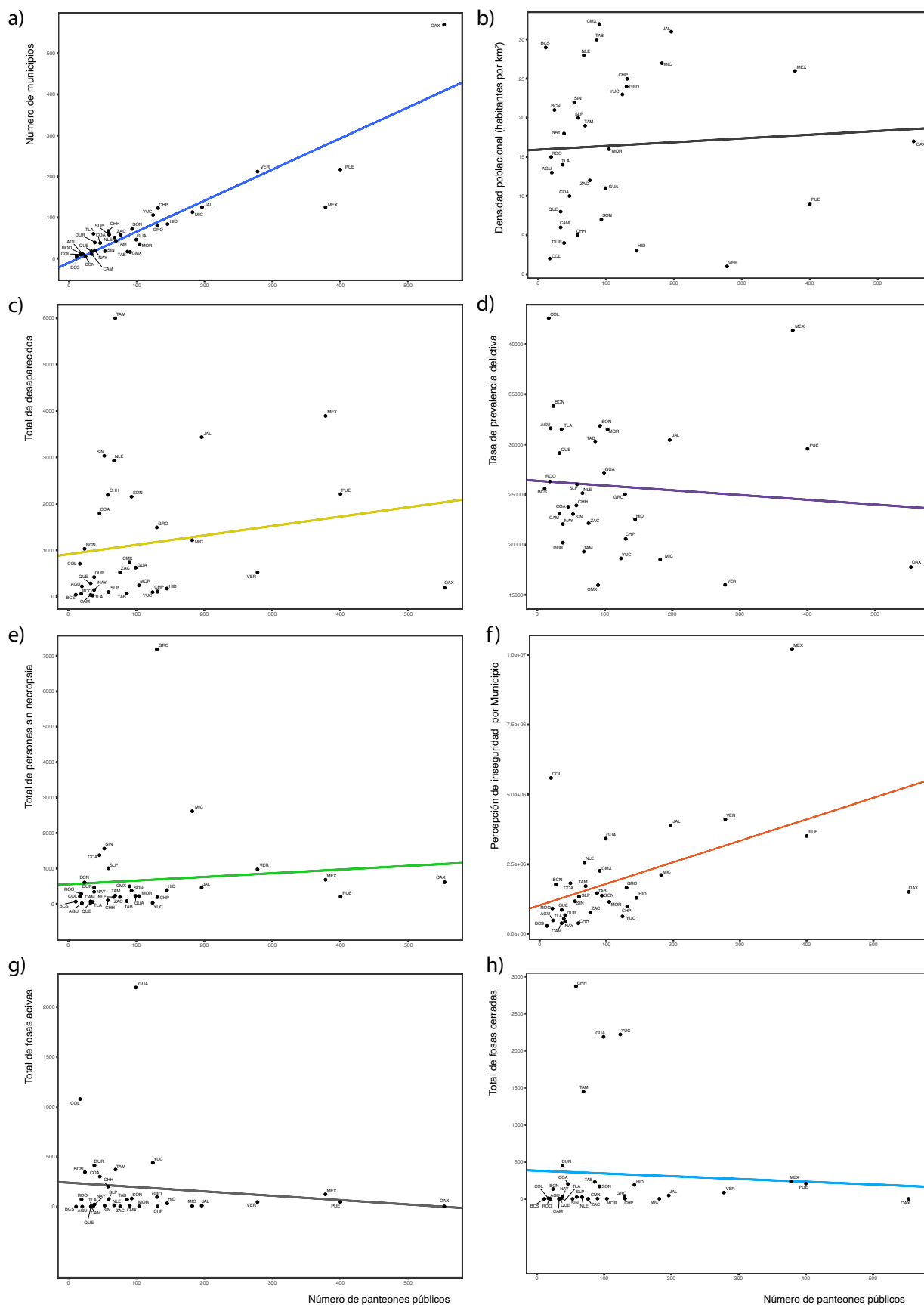


Figura 1. Gráfica de correlaciones entre la frecuencia de panteones públicos (FPE) y las ocho variables incluidas (Tabla 1). Se presentan las líneas de ajuste lineal para cada caso.

($r^2 = 0.00375$, r^2 ajustado = -0.02946 , $p = 0.7392$, Figura 1b). Estos datos permiten caracterizar el problema de la alta densidad poblacional con la baja cantidad de panteones, como por ejemplo la Ciudad de México (CMX), Jalisco (JAL) o Nuevo León (NLE) principales capitales en el país (Figura 1a). La política pública recomendada debería estar enfocada en generar una correlación positiva entre la densidad poblacional y el número de panteones, mientras esta asimetría este presente, la gestión de panteones en México tendrá un rezago, no se piensa como una perspectiva inmediata, sino de largo plazo.

Después, cuando es analizada la cantidad de personas desaparecidas de 2006 a 2018 respecto de la frecuencia de panteones por entidad federativa (Figura 1c), pensando en criterios de búsqueda en fosas comunes, los resultados no presentan una correlación ($r^2 = 0.03138$, r^2 ajustado = -0.0009023 , $p = 0.3321$), pero permite dar cuenta de que estados como Tamaulipas presentan una gran cantidad de personas desaparecidas y una baja frecuencia de panteones.

Luego, cuando es analizada la tasa de prevalencia delictiva por entidad federativa por cada cien mil habitantes para 2018 (Figura 1d), si bien no existe una correlación significativa ($r^2 = 0.008205$, r^2 ajustado = -0.02485 , $p = 0.622$), se observa que aquellas entidades con tasas de incidencia delictiva alta tienen pocos panteones, y estados como Oaxaca tienen una gran cantidad de panteones respecto de su incidencia delictiva baja.

Además, del análisis de los datos de defunciones de personas fallecidas por homicidio donde no se ha realizado necropsia por entidad federativa, resultó en una correlación no significativa ($r^2 = 0.00978$, r^2 ajustado = -0.02323 , $p = 0.5902$), pero es notable la frecuencia de casos para el estado de Guerrero, Michoacán, Sinaloa, Coahuila y San Luis Potosí (Figura 1e).

De igual manera, cuando se analizó la percepción de inseguridad en el municipio, se pudo constatar una correlación baja, pero significativa ($r^2 = 0.2384$, r^2 ajustado = 0.213 , $p = 0.004583$), destacando Colima como un estado con una alta percepción de inseguridad y poca cantidad de panteones (Figura 1f).

Otra perspectiva importante, es conocer la relación de fosas comunes activas o funcionales, la cual tiene una tendencia negativa y no significativa ($r^2 =$

0.0164 , r^2 ajustado = -0.01639 , $p = 0.4849$), donde se observó que Guanajuato y Colima presenta una gran cantidad de fosas comunes activas para la cantidad baja de panteones, y Oaxaca, aunque tiene un gran número de panteones, cuenta con pocas fosas comunes. Finalmente, las fosas cerradas describen una tendencia negativa no significativa ($r^2 = 0.003943$, r^2 ajustado = -0.02926 , $p = 0.7328$), donde Chihuahua, Yucatán, Guadalajara y Tamaulipas presentan la mayor cantidad de fosas comunes cerradas y Oaxaca nuevamente presenta una baja cantidad de fosas para el número de panteones que tiene.

Esta caracterización generalizada bivariada permite entender de forma muy básica que, si bien hay panteones como un servicio, no existe una planificación Estatal y Federal sobre éstos, no se ha compensado su crecimiento y tampoco preparada una perspectiva de fortalecimiento de las fosas comunes, incluso a varios años de publicada la LGMDFP.

Aproximación multivariada

La caracterización de fenómenos complejos como los patrones de personas desaparecidas requiere de enfoques multinivel, como lo pueden ser las técnicas de estadística multivariada, donde en el estudio de fenómenos sociales complejos se ha destacado su importancia y utilidad, por ejemplo, para generar políticas públicas o cálculo de índices de pobreza (Alkire and Foster, 2009; Bourguignon and Chakravarty, 2019). Luego entonces, sobre las variables disponibles (Tabla 2) se diseñó un análisis compuesto que permitiera la caracterización del fenómeno y la generación de un modelo de agrupación para definir, basado en evidencia, un plan de acción. Se pretender dar una visión integral y proponer estrategias de intervención para el Plan Nacional de Exhumaciones (PNEx). Para ello, por medio de Análisis de Componentes Principales y Análisis de Agrupamientos (Cluster) sobre las ocho variables empleadas en la aproximación bivariada, se realizó un análisis de caracterización multivariada.

Como primer punto, se generó una matriz de correlaciones entre las variables (Figura 1), si bien el análisis primario tuvo 19 variables, 11 fueron eliminadas por una alta correlación entre ellas ($r^2 < 0.9\%$), tomando únicamente las variables antes descritas, todas

Tabla 2. Variables incluidas en la aproximación multivariada para definir el Plan de Intervención del Programa Nacional de Exhumaciones.

No	Variable	Código	Origen
1	Frecuencia de panteones públicos por Estado	FPE	Denué
2	Densidad poblacional por Estado	DPO	Inegi
3	Sumatoria de personas desaparecidas por Estado	TDE	Cenapi
4	Tasa de prevalencia delictiva por Estado	TPD	Inegi
5	Percepción de inseguridad por Municipio (sumada por Estado)	MINS	Inegi
6	Frecuencia de personas fallecidas sin necropsia por Estado	SPSN	Inegi
7	Frecuencia de fosas comunes activas por Estado	TFA	Inegi
8	Frecuencia de fosas comunes cerradas por Estado	TFC	Inegi

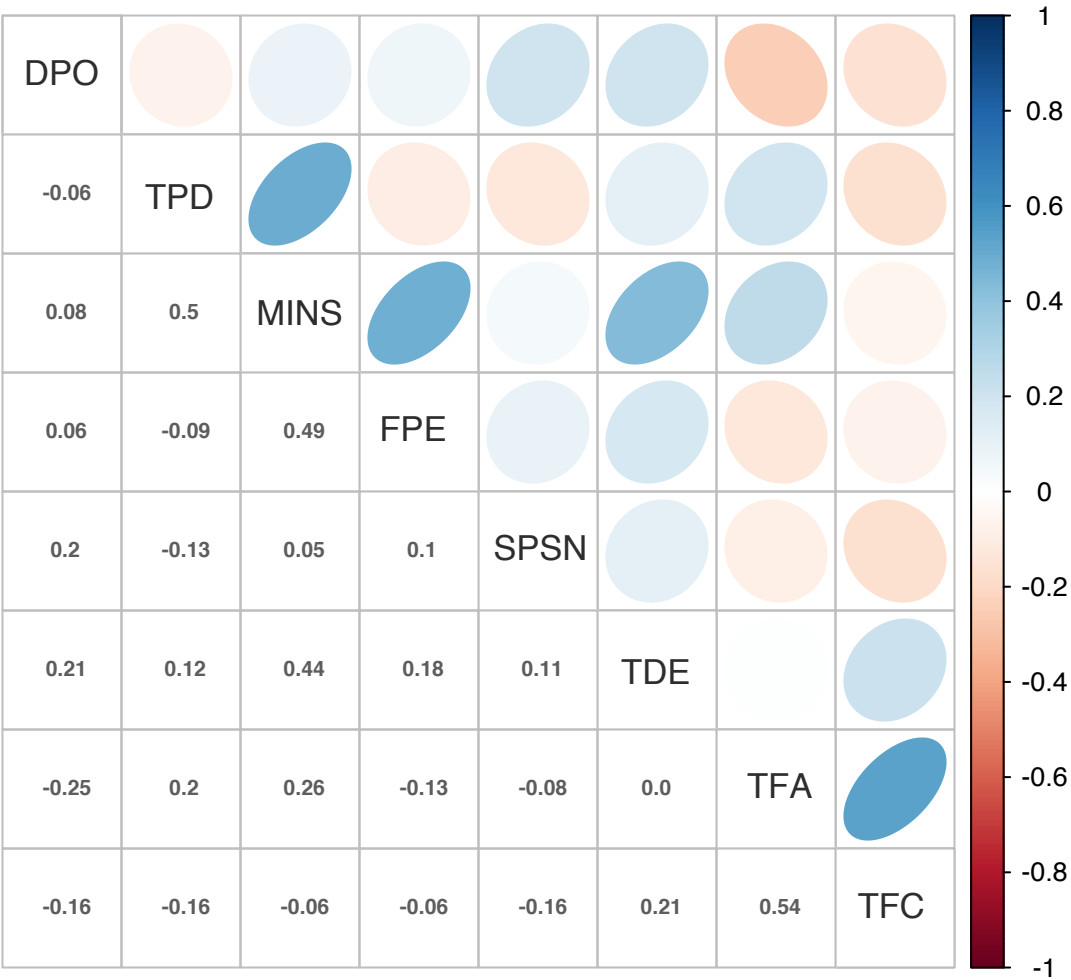


Figura 2. Matriz de correlación entre las variables incluidas en el análisis (Tabla 2) teniendo una correlación máxima de 0.54 para TFA-TFC.

ellas pensando en caracterizar el problema desde una perspectiva integral y dado a no tener estudios previos con la misma lógica, éste se considera inédito. Se puede observar que las variables incluidas tienen una correlación máxima de 0.54 (TFA-TFC), por lo cual se considera plausible el uso de esta matriz con baja multicolinealidad para los análisis subsecuentes.

Como segundo paso, se calculó un Análisis de Componentes Principales (PCA), que resultó en ocho componentes principales para explicar el 100% de la variación en los datos (Tabla 3). Los dos primeros componentes explican un 46.9% de varianza.

Tabla 3. Resultados del PCA: eigenvalues, varianza y varianza acumulada por cada PCscore.

No	Eigenvalue	Varianza	% Acumulada
PC1	1.958	0.245	0.245
PC2	1.793	0.224	0.469
PC3	1.267	0.158	0.627
PC4	0.995	0.124	0.752
PC5	0.875	0.109	0.861
PC6	0.650	0.081	0.942
PC7	0.306	0.038	0.981
PC8	0.155	0.019	1.000

El análisis de la topología de los dos primeros componentes principales (PC1= 24.5% y PC2= 22.4% de varianza), permite visualizar que el Estado de México (MEX) y Guanajuato (GUA) se encuentran fuera de la variación normal para $\alpha=0.01$ (Figura 3a). Además, JAL, PUE, TAM y COL aparecen dispersos hacia el eje positivo del PC1. Sobre el PC2 se diferencia GRO para el extremo positivo y GUA en el eje negativo (Figura 3a). Las variables que explican el patrón topológico de los datos son MINS+TDE para el PC1 lado positivo, SPNS+DPO para el PC2 positivo y TFA+TFC para el PC2 negativo.

El patrón de datos permite ver que los *outliers* generan una dispersión artificial de los datos por lo que se justifica un análisis en ausencia de éstos. Entonces, se realizó una iteración más del PCA eliminando tres estados (MEX+GUA+COL) para poder visualizar los datos independientes de esta fuente de variación extrema (Figura 3b). La nueva topología permite

evidenciar otra subestructura en los datos y una mejor definición de las variables respecto de los PCscores; se muestra a TAM+ YUC+ CHH+ DUR+ COA en los ejes negativos de ambos PCs, teniendo relación con las variables TFA+TFC y TDE, aunque esta última más ajustada al PC2 negativo (Figura 3b). El PC1 eje positivo y PC2 eje negativo, generan un agrupamiento de nueve estados (JAL+ VER+ PUE+ GRO+ OAX+ MIC+ NLE+ CMX+ SIN), explicados por las variables MINS y FPE. Finalmente, el PC2 eje positivo, explica otro grupo de 15 estados (AGU+ TLA+ QUE+ BCS+ CAM+ ROO+ NAY+ MOR+ TAB+ ZAC+ SLP+ CHP+ HID+ SON+ BCN) que se explican por la variable TPD.

El Análisis de Componentes Principales permite entonces, caracterizar la complejidad de los datos y conocer que es posible distinguir cuatro grandes fuentes de datos. Los tres estados que tienen una variación extrema (MEX+ GUA+ COL) y los tres grupos que han sido descritos en el segundo PCA (Figura 3b), explicados por variables de interés primaria como la cantidad de fosas comunes (TAM+ YUC+ CHH+ DUR, PC2 negativo), otro eje explicado por la cantidad de personas desaparecidas (15 estados, PC2 positivo) y uno más explicado por la percepción de inseguridad y por la frecuencia de panteones (9 estados, PC1 positivo). Así, este escenario permite tener presente forma de agrupar la variabilidad observada en grupos para delimitar un plan de intervención, empero los subsecuentes análisis permiten refinar esta aproximación.

La segunda fase de análisis realizados fueron una serie de Análisis de Cluster. Como primer paso, se estimó el número de agrupaciones (clusters) óptimo para cada conjunto de datos, empleando el paquete NbClust en R (R Core Team, 2015). Dicho paquete, calcula 30 métodos de *clustering* y, por un criterio de mayoría, decide el número óptimo de agrupaciones (k) en un conjunto de datos determinado. Se realizaron dos iteraciones con la totalidad de los estados y eliminando a los tres fuera de rango (*outliers*).

Los resultados dan cuenta de que, para todos los estados, dos clusters ($k=2$) es el resultado más frecuente con cuatro métodos (Hopkins = 0.6229913), y no se presenta un consenso secundario. Para el caso de la iteración eliminando *outliers*, el número de clusters más frecuente fue cuatro ($k=4$) con seis métodos (Hopkins = 0.5549377), y como segunda opción dos grupos con cuatro métodos.

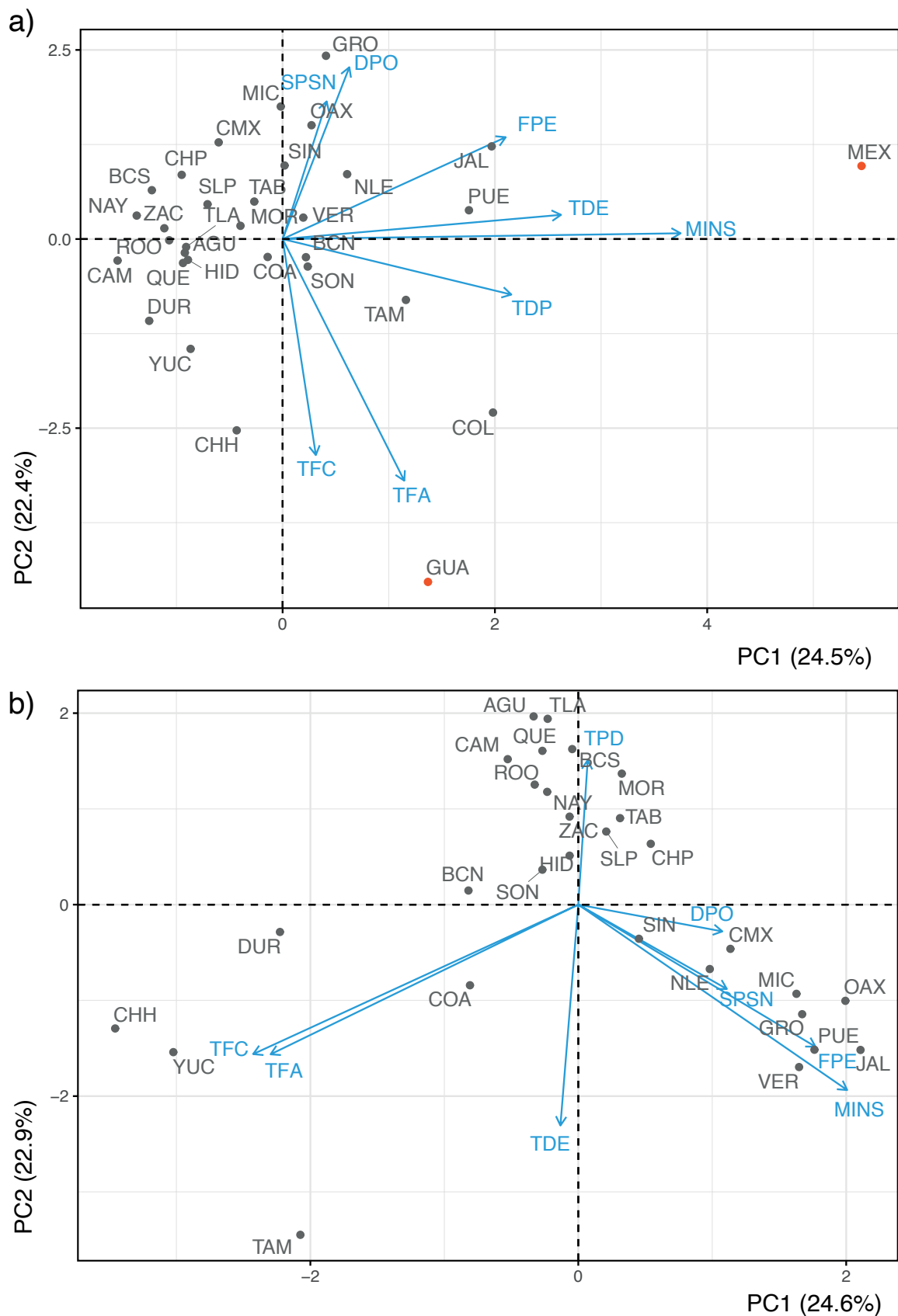


Figura 3. Gráficos de dispersión del Análisis de Componentes Principales sobre la base de datos total (a) y sin los estados más variables (b). En azul claro se muestran los vectores de las variables analizadas y su relación topológica con los estados.

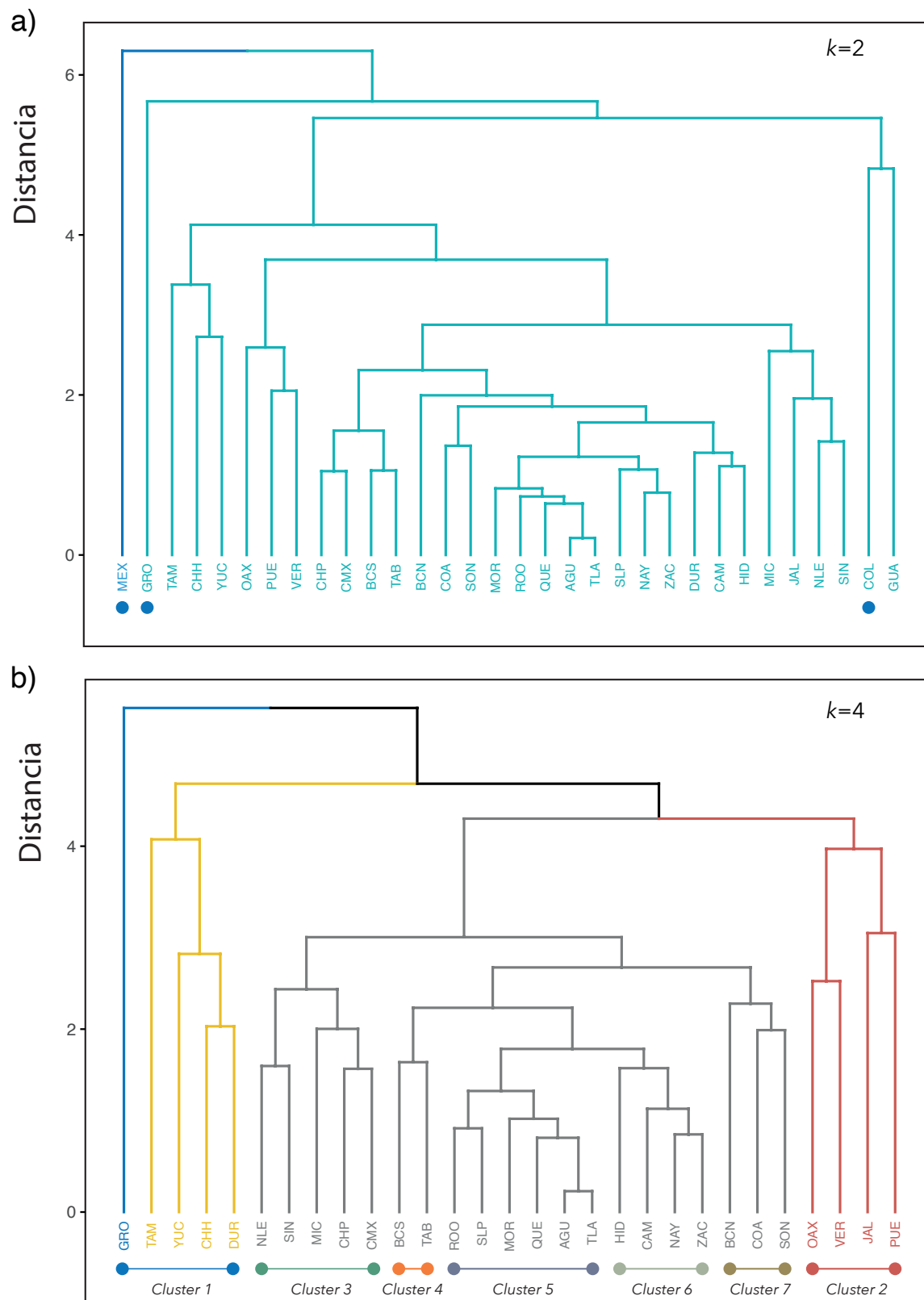


Figura 4. Clusters (dendogramas) para las iteraciones realizadas: a) todos los estados y b) sin *outliers*, para el número óptimo de clusters resultantes $k=2$ y 4. Además, se han agregado los posibles subclusters en un código de colores delimitados por dos círculos y una línea continua. De jerarquizarse una intervención en el país, esta sería una guía de intervención

Conociendo el número de clusters óptimo se tomaron los primeros seis PCscores (94.2% de varianza explicada), para calcular distancias euclidianas entre cada par de estados, generando una matriz de distancias, con la cuál se calculó un árbol jerárquico por medio del algoritmo UPGMA en R para $k=2$ y $k=4$, para los datos generales y sin *outliers*, respectivamente (Figura 4).

Para el análisis de todos los estados, y como se había constatado en el PCA, MEX y GRO salen como grupos externos, seguidos de COL y GUA (Figura 4a). El resto de los estados forman un cluster con una subestructura topológica compleja.

Después, para el segundo análisis ($k=4$), GRO aparece como grupo externo seguido de un grupo con TAM+ YUC+ CHH+ DUR (Cluster 1, Figura 4b), después un grupo más con OAX+ VER+ JAL+ PUE (Cluster 2, Figura 4b). Finalmente, se observa un grupo de 20 estados, con una subestructura compleja, de la cuál se propone una sub-división en cinco clusters más no homogéneos pero con una pertinencia funcional (Figura 4b).

Estrategia de intervención: Plan Nacional de Exhumaciones (PNEx)

Los análisis realizados (PCA+Cluster) permiten proponer una estrategia de intervención para el PNEx, siendo esta una intervención paulatina, sistematizada y programada de las fosas comunes y panteones (Figura 5, Tabla 4). La propuesta se fundamenta en los ejes de explicación de variables del PCA y en las agrupaciones encontradas en el Cluster, teniendo tres categorías de prioridad: alta (triángulo rojo), media (cuadrado naranja) y baja (círculo verde). Se ha generado una propuesta geoespacial del mismo indicando en diferentes colores los clusters que se han establecido y se ha añadido el dendrograma para su contraste y para denotar la prioridad de atención (Figura 5).

Dependiendo de las capacidades Federales, Estatales y Municipales es que la presente propuesta se puede materializar. Los Estados de prioridad alta son MEX, GRO, GUA, COL, TAM, YUC, CHH y DUR (Cluster 1), lo que implica la intervención de 5096 fosas activas y 9418 cerradas, en 829 panteones. Como segundo orden de alta prioridad están OAX, VER, JAL y PUE (Cluster 2) lo que implica 217 fosas

activas y 528 cerradas en 1427 panteones. Por estos datos es que se define la intervención del PNEx como un objetivo a mediano-largo plazo, ya que se superpone con la emergencia forense que vive México, por lo cuál la administración de recursos forenses es de suma importancia. Entonces, se deberían de configurar equipos de respuesta para panteones, lo que elevará la especialización de estos y permitirá un mejor resultado en un tiempo óptimo.

Se recomienda realizar pruebas de intervención del protocolo en los estados más cercanos al centroide del PCA, es decir el cluster (HID-CAM-NAY-ZAC) quienes son los estados con menos Fosa Comunes Activas ($n=32$) y Cerradas ($n=73$) en 292 panteones. Esta fase es de suma importancia para la correcta estandarización del presente protocolo.

El Plan Estatal de Exhumaciones e Identificación Forense, del Estado de Coahuila define que para realizar exhumaciones en fosas individuales para cuatro cuerpos se necesitarían dos días, generando una exhumación al mes (12 al año). En casos complejos, que definen como aquellas “*fosas individuales que no se encuentran ubicadas previamente y se tiene duda de que el cuerpo a exhumar no se encuentre en la fosa, por lo que sea necesario el abrir más fosas, casos de restos mezclados, entre otros*”, se prospecta que cuatro cuerpos se necesitarían entre dos a tres días de trabajo de exhumación, realizando exhumaciones cada mes y medio (ocho al año). Finalmente, expone el documento, que en caso de fosas múltiples define que en “*recuperación serían 3 días*” no definiendo intervalo para mes o año. Luego entonces, se tendría en un año el máximo de 48 exhumaciones realizadas, con este dato y asumiendo que existe un cuerpo de una persona por fosa activa o cerrada en el país, se tardarían 351 años en realizar las intervenciones en las 16,873 fosas comunes del país. La planeación fue pensada con un recurso humano básico: un criminólogo, un médico general, un odontólogo y un antropólogo, por ende, la capacidad de respuesta.

Es de importancia aclarar que la gradación de prioridad no pretende ser discriminatoria, simplemente pretende ordenar la secuencia de intervenciones, ya que es imposible realizar el PNEx de forma generalizada, porque los recursos forenses en México se encuentran rebasados, no en el presente inmediato, sino desde hace años. Entonces, la planeación en forma de *triage* es importante para realizar una mejor praxis en las

Tabla 4. Cluster o agrupaciones resultantes del análisis para cada iteración realizada.

Hipótesis de mayoría, k=2	
Cluster	Estados
Cluster 1	MEX+GUA
Cluster 2	Restos de estados
Segunda iteración dejando fuera a MEX, GUA y COL.	
Hipótesis de mayoría, k=4	
	Prioridad
Cluster 1	[MEX+GUA+COL] GRO+TAM+YUC+CHH+DUR
Cluster 2	OAX+VER+JAL+PUE
Cluster 3	NLE+SIN+MIC+CHP+CMX
Cluster 4	BCS+TAB
Cluster 5	ROO+SLP+MOR+QUE+AGU+TLA
Cluster 6	HID+CAM+NAY+ZAC
Cluster 7	BCN+COA+SON

intervenciones de fosas comunes y panteones en general.

En el Plan Estatal de Exhumaciones e Identificación Forense, del Estado de Coahuila se establece, Criterios de priorización de exhumaciones basado en lo que ahí se define como “*mayores probabilidades de identificación*” estableciendo primera prioridad a los cuerpos de personas que cuenten con información verificada como:

- Cotejo de necrodactilia con algún sistema de registro (AFIS, INE, otros).
- Correspondencia de perfil ADN.
- Casos de desaparecidos que, por la información aportada por la familia, haya datos verificables de su posible identificación.
- Otros.

Y como segundo orden de prioridad, que en carpeta de investigación se tenga datos indicadores (*sic*), es decir cuerpos identificados sin entregar. Y como tercer orden de prioridad, cuerpos de personas sin identificar que no cuenten con datos indicadores (*sic*) en carpeta de investigación.

La visión del presente protocolo es opuesta, dado a que las personas con información de historia de vida, hipótesis de búsquedas sólidas e información *postmortem*

tendrían favorecida una pronta identificación, la estrategia del presente protocolo está enfocada en aquellas personas sin necropsias, sin datos *postmortem* y sin toma de muestras genética. La priorización del presente protocolo, como se ha indicado, solo va a la estrategia de intervención nacional, pero localmente, si bien se puede generar estrategias específicas, se debe pensar en aquellas personas nunca favorecidas por el sistema científico forense del país, esto es las personas no identificadas o NN.

Patrón de distribución geográfica de panteones

Como ya se ha establecido en los análisis previos, el patrón que presentan los cementerios está relacionado con la cantidad de municipios. En esta sección, se profundiza el análisis geográfico de éstos, para ello se analizan los datos de frecuencias de panteones (FPE), fosas activas (TFA) y cerradas (TFC) con una perspectiva geoespacial. Primero, se generaron tres mapas con las frecuencias de FPE, TFA y TFC para visualizar su distribución generalizada en el país con la ayuda de R (R Core Team, 2015).

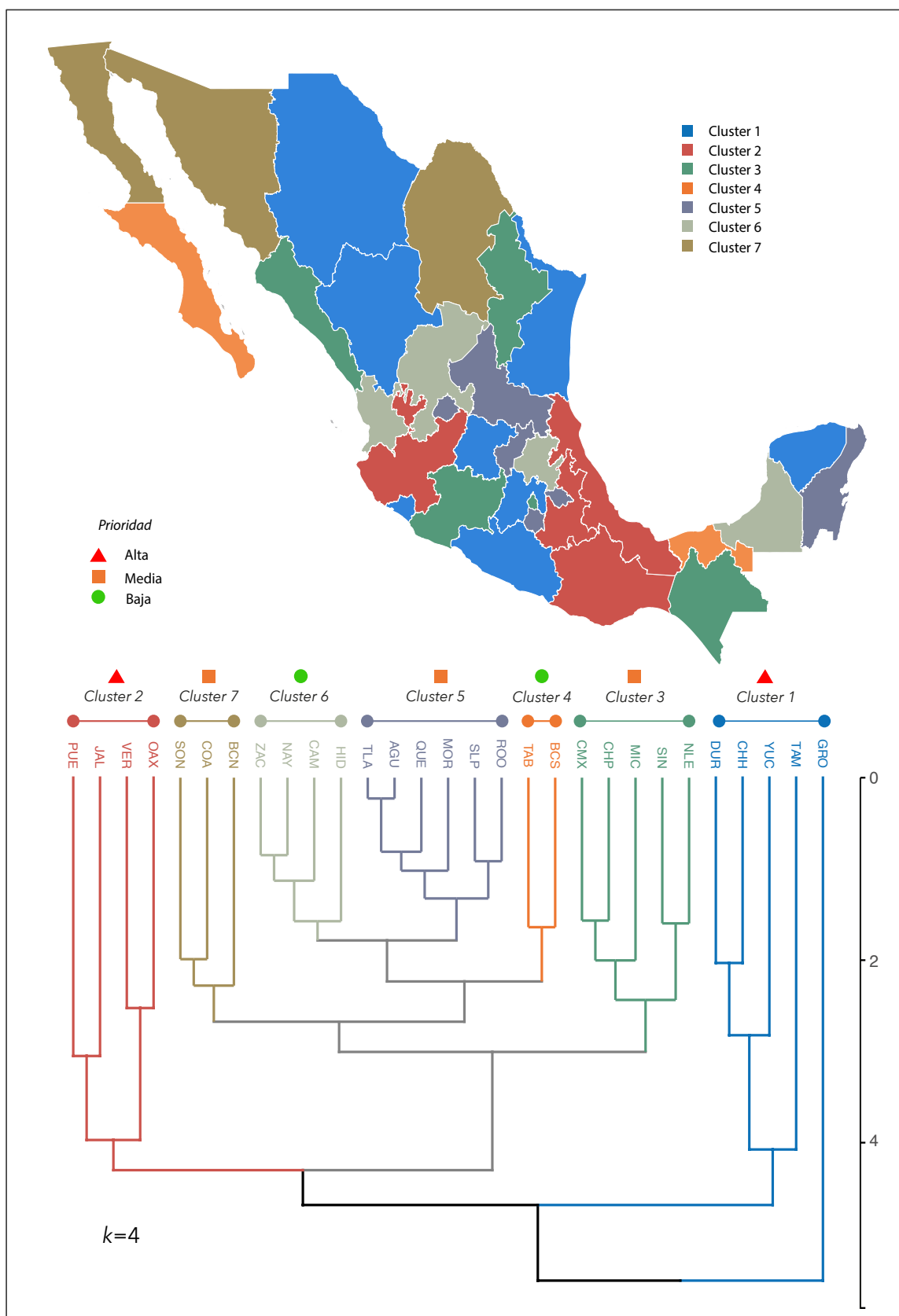


Figura 5. Propuesta para el Programa Nacional de Exhumaciones (PNEx) integrando todos los resultados de los análisis realizados. El mapa indica en colores el cluster resultante, abajo se retomó el dendrograma $k=4$ con su agrupación por colores y la prioridad de intervención determinada por un triángulo (alta), cuadrado (media), y círculo (baja).

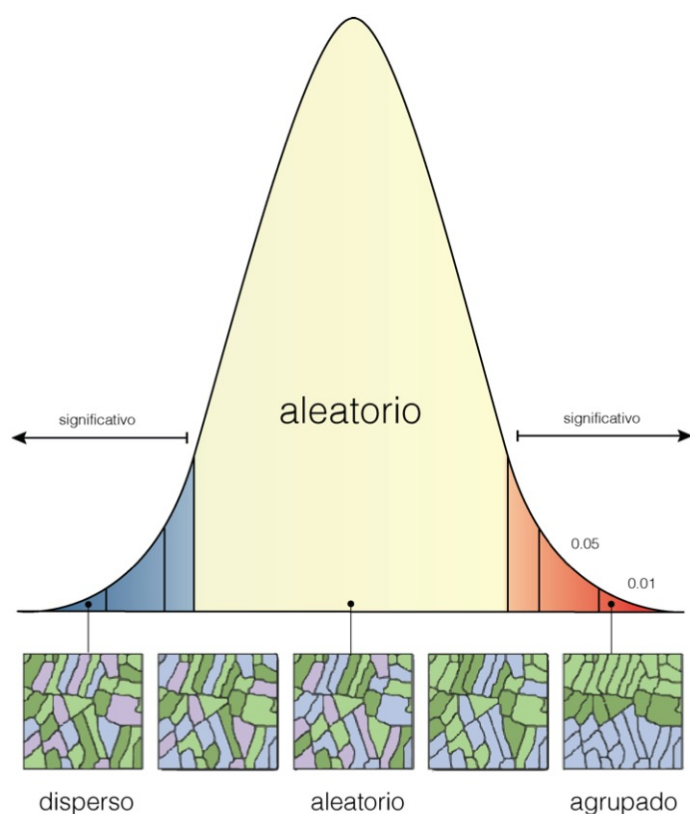


Figura 6. Representación gráfica de los posibles escenarios de autocorrelación espacial en un conjunto de datos geográficamente referenciados: dispersos, aleatorios y agrupados. La distribución representa la equivalencia entre los valores del índice I de Moran y los scores Z.

Como complemento, se tomaron las coordenadas geográficas de cada capital por estado y se relacionó con las variables respuesta FPE, TFA y TFC con el fin de evaluar si existe una autocorrelación espacial. Se considera la hipótesis nula de que los datos de panteones y fosas tendrán una completa aleatoriedad espacial (CAS, Figura 6), evaluado por medio del índice I de Moran (Moran, 1950), que por medio de la correlación geoespacial, determina si un conjunto de datos presenta una señal espacial respecto de otras regiones en el espacio. En dicho análisis se evalúa si los datos se encuentran geográficamente agrupados, dispersos o al azar. De esta manera, se calcula el valor del índice I de Moran, un score Z y p-valor para evaluar la importancia de ese índice. En general, si el valor del índice I de Moran es cercano a 1, indica agrupación; en contraste, un valor de -1, indica total dispersión. Un valor de 0, indica un patrón espacial aleatorio (CAS). Para las pruebas de hipótesis estadísticas, los valores del

índice I de Moran, pueden ser transformados a un score Z en el que los valores superiores a 1.96 o menor que -1.96 indican autocorrelación espacial significativa al nivel de confianza del 5% (Figura 6).

Para el caso del mapa de frecuencias de panteones (FPE) se observa que la mayor concentración de panteones está en la zona Sur y Centro del país (Figura 7). Después, para el total de fosas activas (TFA) se puede ver que no existe un patrón geográfico definido, observándose altas frecuencias en el Centro, Este, Oeste y Norte del país (Figura 8). Finalmente, para el caso del total de fosas cerradas (TFC) no es observable algún patrón específico, pero se presentan concentraciones de casos en el Norte, Centro y Este del país (Figura 9). Será importante, que fiscalías o comités locales de búsqueda puedan realizar el análisis en una escala municipal para comprender mejor la distribución local y diseñar un patrón específico de intervención, con los lineamientos metodológicos aquí descritos; que ha sido uno de los ejes analíticos que el Equipo Mexicano de Antropología Forense (EMAF), ha realizado desde hace años y que ha reportado ya en algunas comunicaciones en congresos y en reportes técnicos.

Finalmente, la autocorrelación espacial (Figura 10, Tabla 5) permiten caracterizar la naturaleza geoespacial de los datos. Se observa que todos los valores I de Moran son cercanos a 0 (Tabla 5), mostrándose valores significativos para un $\alpha=0.01$ en un caso y uno más para $\alpha=0.05$. Los valores Z-score permiten concluir que para el caso de FPE se presenta un patrón geoespacial agrupado (2.1554, Figura 10a), para el caso de TFA se observó un patrón disperso (-3.288, Figura 10b) y, finalmente, para el caso de TFC se muestra un patrón aleatorio (-1.0465, Figura 10c). Esto datos permiten entender la dinámica de las fosas y panteones en México y basar cualquier estrategia de intervención del PNEx en las tendencias aquí descritas, como complemento para los análisis multivariados presentados anteriormente.

Es importante hacer notar que algunos de los datos aquí aportados provienen de una encuesta realizada por el INEGI, en el que algunos casos no se reportaban datos, por lo que se anotó como cero.

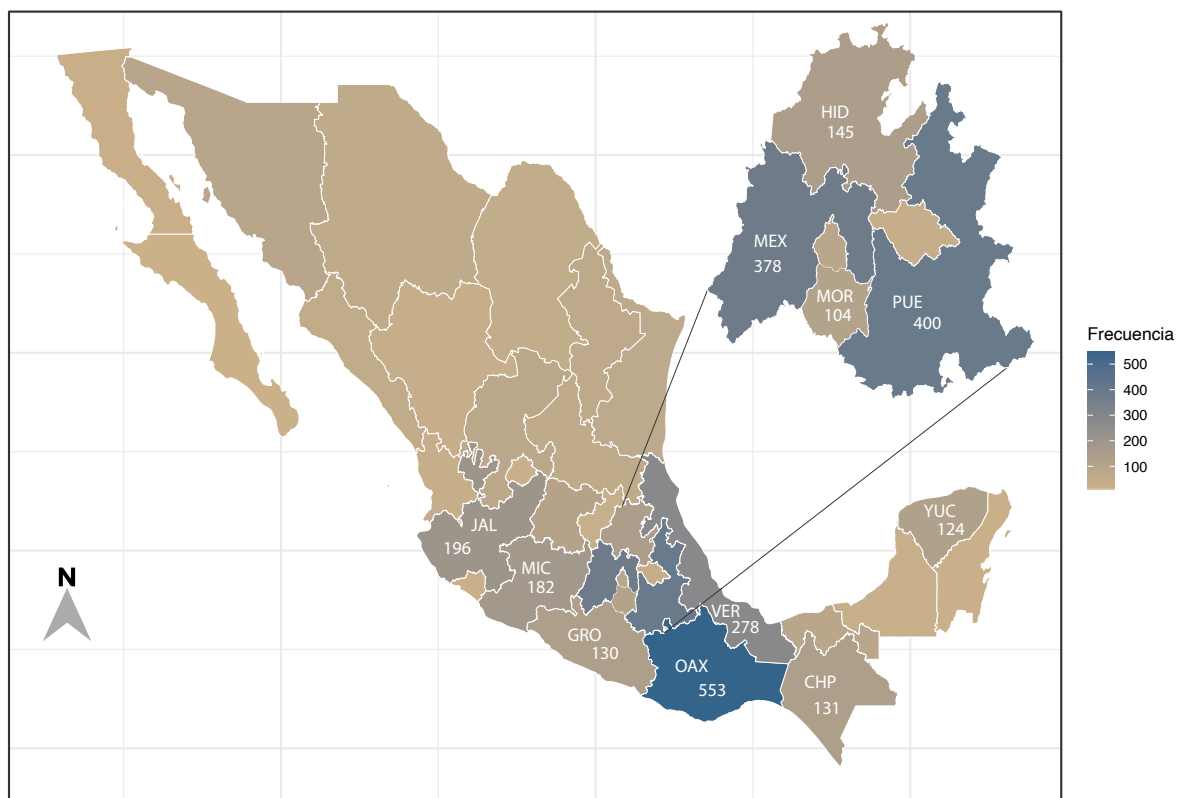


Figura 7. Distribución geográfica de los panteones en México. Se observa la mayor concentración de panteones en la zona Sur-Centro del país.



Figura 8. Distribución geográfica del total de fosas comunes activas por Estado. En azul se observan los Estados con mayor incidencia de TFA.



Figura 9. Distribución geográfica del total de fosas comunes activas por Estado. En azul se observan los Estados con mayor incidencia de TFA.

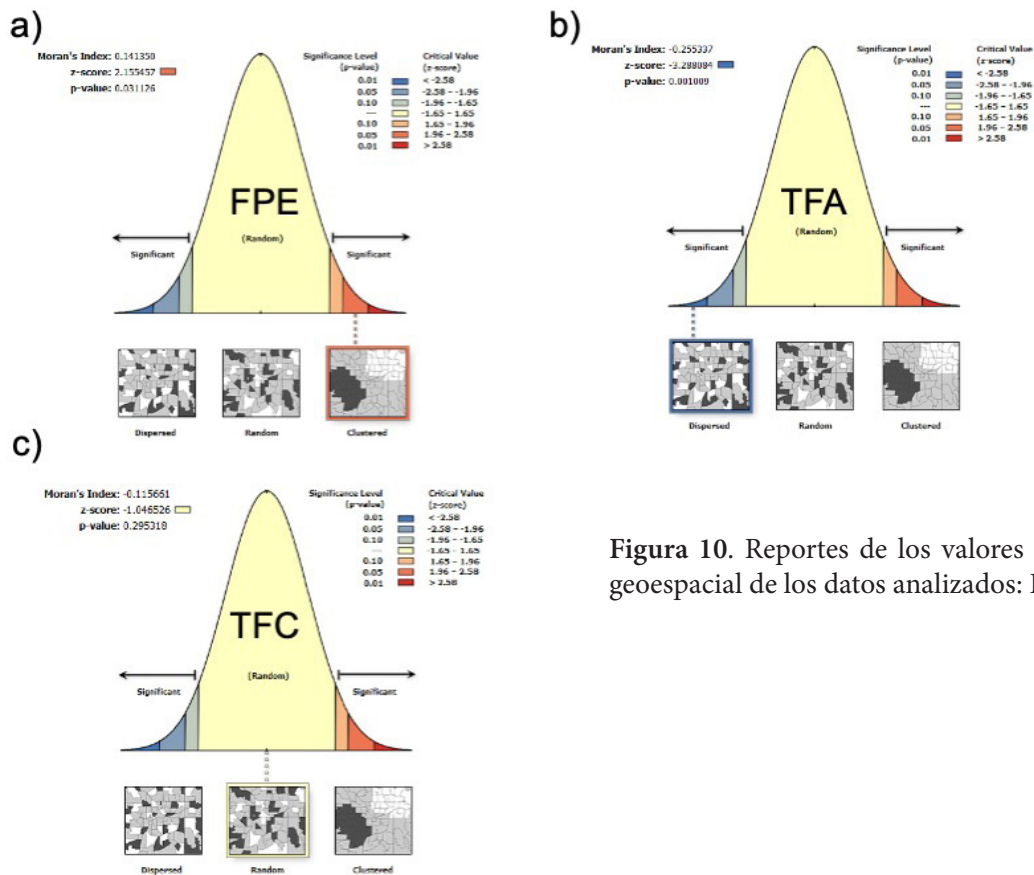


Figura 10. Reportes de los valores de autocorrelación geoespacial de los datos analizados: FPE, TFA y TFC.

Tabla 5. Valores resultantes del análisis de autocorrelación geoespacial, se presenta la variable y su resultado del I de Moran, valor esperado, Z-score, varianza y valor *p*.

Variable	Moran I	Esperado	Z-score	Varianza	Valor <i>p</i>
FPE	0.1314	-0.0322	2.1554	0.0064	0.0311
TFA	-0.2553	-0.0322	-3.2880	0.0046	0.0010
TFC	-0.1156	-0.0322	-1.0465	0.0063	0.2953

Protocolo de intervención en panteones

La presente propuesta se fundamenta en la aplicación de un protocolo de investigación antropológica forense denominado Gestión Integral de Panteones (GIP, 2019). Se trata de un protocolo que tiene el objetivo de establecer un modelo basado en evidencia para intervenciones en panteones en diversos contextos de interés para la búsqueda, prospección, localización, exhumación e identificación de personas en el contexto de la crisis forense que acontece en México.

Como se ha indicado, el punto principal de este protocolo es el Programa Nacional de Exhumaciones (PNEx), empero los contextos de aplicación del protocolo aquí descrito pudieran servir en casos unitarios de búsqueda de personas que han sido inhumadas en panteones y que por motivos diversos se ha perdido su localización en el recinto, fueron descontextualizadas en osarios, o se perdió su trazabilidad desde una tumba. El protocolo GIP, tiene la perspectiva de integrar un nuevo paradigma de gestión y manejo de restos de personas no identificadas (PNI), personas identificadas no reclamadas (PINR) y resguardo de osarios (Os), asegurando su trazabilidad por medio de la generación de un plan integral de administración de panteones basado en evidencia y con una visión de protección a los derechos *postmortem*, con lo cual fomenta acciones de mitigación a la crisis humanitaria de desaparición que aqueja a México.

El contexto de intervención: los cementerios

Los cementerios constituyen un tipo particular de espacio de entierro, que se puede entender mejor si se aprecia la naturaleza de cuatro características interrelacionadas: sus características físicas; su propiedad y significado;

la relación del sitio con las identidades personales y comunitarias; y su sacralidad (Rugg, 2000). Si bien esta definición es integrativa hay una serie de definiciones que pueden retomarse para entender el contexto de los cementerios en una perspectiva socioeconómica (Tabla 6) y que nos ayudan a delimitar conceptualmente al objeto de estudio. Quizás el dato más antiguo que se tiene sobre un rito funerario colectivo se remonta a Marruecos hace 11-12 mil años (Mariotti et al., 2009), es decir, la creación de espacios rituales donde se inhumaba colectivamente a personas es intrínseco al humano, hoy en día los panteones brindan un servicio municipal importante pero su infraestructura y recursos siempre han sido limitados.

Los panteones o cementerios deberían tener una extensión mínima de cinco hectáreas con bardas de tres metros de altura, y debe planificarse para poder responder a la inhumación de cuerpos para 7 o 17 años según la tasa bruta de mortalidad regional, se considera que en un medio urbano se realizan en promedio 5-7 inhumaciones los 365 días, es decir, entre 1,825 y 2,555 personas al año (Plazola et al., 1996). También, con base en su diseño arquitectónico funcional, se planifican diversas zonas con porcentajes de área asignados, designando aproximadamente el 40-45% de área para fosas, esto es dos hectáreas aproximadamente. Empero, no se encuentra una recomendación para el área de la fosa común. El diagnóstico de panteones o cementerios se puede realizar coligiendo estos indicadores y presentando evidencia sobre su planificación y funcionalidad.

Ahora bien, las fosas comunes son definidas como aquel “lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados” (RCDF, 1984, ver Tabla 7 para algunas definiciones en México), en algunos casos también se inhuman personas identificadas no reclamadas (PINR).

Tabla 6. Diferentes definiciones de cementerios o panteones.

No	Autor	Definición
1	(Curl, 1999)	Un gran parque ajardinado o terreno dispuesto expresamente para la deposición o el entierro de los muertos, que no sea un cementerio adjunto a un lugar de culto
2	(Kolbuszewski, 1995)	Un determinado sector del espacio delimitado por determinadas resoluciones formuladas a priori, según las cuales es allí donde se llevarán a cabo prácticas funerarias acordes con las necesidades religiosas, étnicas, culturales (es decir, consuetudinarias) y otras fácilmente definidas de una determinada comunidad
3	(Meyer, 1997)	Otra característica tiene más importancia: los cementerios contienen lápidas que describen las características de la vida de una persona fallecida y las fechas de nacimiento y muerte
4	(RCDF, 1984)	Cementerio o panteón, el lugar destinado a recibir y alojar los cadáveres, restos humanos y restos humanos áridos o cremados;
5	(INEGI, 2020)	Lugares de propiedad municipal o privada, destinados exclusivamente para recibir y alojar los cadáveres, restos humanos y restos humanos áridos o cremados, esqueletos, partes óseas y cenizas.
6	(Plazola et al., 1996)	Etimológicamente deriva del latón tardío <i>Cementarium</i> , y del griego <i>Koimeterion</i> , lugar de reposo. Terreno descubierto, pero cerrado por una muralla, destinado a enterrar cadáveres. Espacio destinado a recibir y alojar cadáveres. Servicio público o privado cuyo funcionamiento, conservación y operación depende de los servicios de inhumación, exhumación, reinhumación, cremación de cadáveres y restos humanos áridos.
7	NOM-036-SCFI-2007	Al lugar donde se reciben e inhuman cadáveres, restos humanos y restos humanos áridos o cremados.

Para el caso de la antropología forense, las fosas comunes son clasificadas como intervenciones en fosas masivas o colectivas y pueden diferenciarse de aquellas fosas clandestinas por el marco legal que hay sobre ellas. Teóricamente, las fosas comunes serían sitios donde por el resguardo y custodia del Estado, su praxis aseguraría la trazabilidad de los restos de personas. En algunos documentos de intervenciones en cementerios de equipos en Colombia incluso a las fosas comunes se les denomina como legales (Guberek et al., 2010), en reconocimiento de esta parte legal-burocrática que engloba a las mismas.

Ahora bien, respecto del concepto en inglés *Mass Grave* se deben hacer algunas acotaciones ya que puede confundir la delimitación de este concepto, que según una definición estricta, las *Mass Grave* conllevan un sitio de ejecución de un crimen y la deposición ilegal de cuerpos (Skinner, 1987; Jesse y Skinner, 2005), que para Latinoamérica se ha denominado como fosas clandestinas. Es importante recalcar varios puntos, si bien teóricamente se espera que las fosas comunes o legales estén fuera del orden del crimen o deposición ilegal, México aporta evidencia de que esto no es una

generalidad. En varios contextos de panteones se ha documentado entierros clandestinos, exhumaciones ilegales y tráfico de órganos óseos, como principales acciones ilegales en un predio con protección del Estado (para detalles sobre fosas clandestinas ver González et al., 2019). Por ello para México, a pesar del marco legal que existe la fosa común o legal, no podría quedar en este concepto, en tanto no haya un diagnóstico y evaluación de cada fosa común. Lo anterior, define entonces, que los límites conceptuales de las fosas comunes no está definido, pudiéndose tener un marco legal, pero con acciones reiteradas y continuas a través del tiempo que son claramente ilegales, no solo en la óptica administrativa, sino de delitos tipificables.

En otra dimensión esta que, independientemente del concepto de clandestinidad-legalidad, es importante establecer que el estándar de intervención deberá ser basado en evidencia y ajustarse a una intervención de fosa clandestina (*mass grave*), lo que implica una recuperación y documentación detalladas, para poder entonces presentar evidencia para cualquier delito que en la fosa común pudiera acontecer.

El presente protocolo se integró con la revisión de diversos protocolos, guías y publicaciones científicas de diversas instituciones internacionales y equipos de antropología forense independientes, siguiendo un modelo basado en evidencia (Sackett et al., 1996; Sackett, 1997; Mykhalovskiy y Weir, 2004). Respecto de la revisión de evidencia científica se evaluó el nivel de la evidencia (calidad) para establecer una clase de recomendación (intensidad) que va de: A, se recomienda (alta); B, es razonable (moderada); C; utilidad incierta (baja); D, no se recomienda (muy baja) y E, riesgo (perjuicio), lo que permite generar una referencia de color de la evidencia científica (Figura 7, Introducción).

Como referencia primaria se han seguido las recomendaciones y filosofía del informe para el fortalecimiento de las ciencias forenses de EUA (NRC, 2009), los estándares de la Organización de los Comités de Áreas Científicas de Ciencia Forense (FAS-OSAC-

NIST, 2020) del subcomité de Antropología Forense (SACs, 2020) y los documentos base del *Scientific Working Group for Forensic Anthropology* (SWGANTH, 2010a; c, 2012b; c; a, 2013b, d, a, e; f, c; g, 2010b, 2013h; i, 2011c, b, a, e; d, 2012e; d).

Secundariamente, la revisión sistemática trabajó con 58 documentos (Tabla 8) mediante la cual se ha construido la presente propuesta, siempre delimitando la mejor evidencia de acuerdo con la jerarquía de evidencia (calidad). Se revisaron un total de 250 documentos únicamente resultaron de interés los documentos abajo descritos y se han dividido en dos grandes grupos, como guías, protocolos y manuales, y artículos científicos como otro grupo. Así, para esta versión del protocolo se considera este universo de evidencia. Después del análisis se ha establecido una intensidad de recomendación de acuerdo con la pirámide de jerarquía de evidencia (Figura 6, Introducción).

Tabla 7. Definiciones de fosa común en reglamentos de panteones de las capitales de entidades federativas (Ver anexo 1 para todo el listado).

No	Reglamento	Definición
1	Reglamento del Servicio Público de Panteones del Municipio de Mérida	Es el espacio de uso gratuito en el que son depositados los cadáveres, los órganos humanos, los restos humanos áridos, en los casos siguientes: a. Cuando no hayan sido reclamados, después de transcurridos tres años contados a partir de la fecha de la inhumación; b. Cuando lo soliciten sus deudos, y c. Cuando lo determinen las autoridades competentes.
2	Reglamento de Cementerios para el Municipio de Campeche	Lugar destinado para inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados y de personas que no puedan pagar los derechos de una fosa
3	Reglamento de Panteones del Municipio Libre de Veracruz	El lugar destinado para la inhumación o reinhumación de cadáveres humanos, sus partes, restos o restos áridos.
4	Reglamento de Panteones del Municipio de Oaxaca de Juárez, Oax.	Lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados, previa orden del Ministerio Público, de la Autoridad Judicial o del Oficial del registro civil.
5	Reglamento de Panteones para el Municipio de Guadalajara	La excavación horizontal en el terreno de un panteón destinada a la inhumación de cadáveres y restos humanos de personas desconocidas y no reclamados
6	Reglamento de Panteones para el Municipio de Durango	Sepulcro donde son depositados los cadáveres o restos humanos cuya identidad se desconoce, o no hayan sido reclamados para su inhumación
7	Generalidad de reglamentos	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados.

Tabla 8. Revisión sistemática realizada por el presente protocolo.

No		Protocolo o Guía	Recomendación
1		Scientific working group for forensic anthropology (SWGANTH).	A
2		Guía Latinoamericana de buenas prácticas para la aplicación en antropología forense (GLAAF, 2016).	A
3		Protocolo de Minnesota sobre la investigación de muertes potencialmente ilícitas (ACNUDH, 2017)	A
4		Personas desaparecidas, análisis forense de ADN e identificación de restos humanos (CICR, 2010)	A
5		Guía práctica para la recuperación y análisis de restos humanos en contextos de violaciones a los derechos humanos e infracciones contra el derecho internacional humanitario (CICR, 2017)	A
6		La gestión de cadáveres en situación de desastres (CICR, 2006)	A
7		Guide to disaster victim identification (IVIC-INTERPOL, 2018)	A
8		Manual de investigación y documentación efectiva sobre tortura, castigos y tratamientos crueles, inhumanos o degradantes (ONU, 2001)	A
9		Protocolo de búsqueda, levantamiento y exhumación de restos humanos (Polo-Cerdá et al., 2018)	A
10		The scientific investigation of mass graves (Cox et al., 2008)	A
11		Forensic archaeology advances in theory and practice (Hunter and Cox, 2005)	B
12		Forensic recovery of human remains: archaeological approaches (Dupras et al., 2012)	B
13		Guidance for best practice for the treatment of human remains excavated from christian burial grounds in England (APABE, 2017)	B
14		Propuestas metodológicas para la documentación y búsqueda de personas desaparecidas en Colombia (EQUITAS, 2010)	B
15		Prácticas operacionales idóneas en relación con el tratamiento de los restos humanos y la información sobre los fallecidos para personal no especializado (CICR, 2004)	B
16		Protocolo homologado de búsqueda-Comisión Nacional de Búsqueda (CNB, 2020)	B
17		Guía de búsqueda de personas desaparecidas con enfoque en la verdad y la justicia (Giasf, 2018)	B
18		Guía forense para la investigación, recuperación y análisis de restos óseos (EAAF, 2020)	B
19		Violencia y terror: hallazgos sobre fosas clandestinas en México 2006-2017 (González et al., 2019)	B
20		Plan nacional de búsqueda-Colombia (CBPD, 2012)	B
21		Manejo de cadáveres en situaciones de desastre (OPS, 2004)	B
22		Código deontológico para el estudio, conservación y gestión de restos humanos de poblaciones del pasado (Aranda et al., 2014)	B
23		Análisis y recomendaciones técnicas para la administración de la muerte en tiempos de pandemia Covid-19 (Equitas, 2020)	B
25		Estándares forenses mínimos para la búsqueda de personas desaparecidas y la recuperación e identificación de cadáveres (INMLCF, 2016)	B
26		Standards and guidance for forensic archaeologists (CIFA, 2014)	B
27		Field guide to the excavation of inhumated human remains-guide 14 (BAJAR-OSSAFreelance, 2005)	B
28		Plan estatal de exhumaciones e identificación forense para el ejercicio 2018 (GEC, 2018)	B
29		Intervención arqueológica forense-localización, excavación y exhumación de las fosas comunes del cementerio municipal de Castro del Río (Arqueoforense, 2018)	B
30		The Bournemouth protocol on mass grave protection and Investigation (ICMP, 2020)	B
31		Protocolo para el tratamiento e identificación forense y guía de especialidades periciales federales- PGR y guía de especialidades periciales federales (PGR, 2015)	C

Tabla 8. Revisión sistemática realizada por el presente protocolo (continuación, artículos científicos).

Artículos científicos		
32	Planning the archaeological recovery of evidence from recent mass graves (Skinner, 1987)	
33	Guidelines for international forensic bio-archaeology monitors of mass grave exhumations (Skinner et al., 2003)	
34	A typology of mass grave and mass grave-related sites (Jessee y Skinner, 2005)	
35	An autopsy of the grave: recognizing, collecting, and preserving forensic geotaphonomic evidence (Hochrein, 2001)	
36	The archaeology of contemporary mass graves (Haglund et al., 2001)	
37	Keeping the pieces together: comparison of mass grave excavation methodology (Tuller y Durić, 2006)	
38	The use of forensic archaeology in the investigation of human rights abuse: Unearthing the past in East Timor (Blau y Skinner, 2005)	
39	Exploring non-invasive approaches to assist in the detection of clandestine human burials: developing a way forward (Blau et al., 2018)	
40	Optimizing search strategies in mass grave location through the combination of digital technologies (Abate et al., 2019)	
41	Societal safety, archaeology and the investigation of contemporary mass graves (Juhl y Einar Olsen, 2006)	
42	Turf wars: Authority and responsibility for the investigation of mass graves (Skinner y Sterenberg, 2005)	
43	The Contribution by (Forensic) Archaeologists to Human Rights Investigations of Mass Graves (Juhl, 2005)	
44	Archaeology and the forensic investigation of recent mass graves: ethical issues for a new practice of Archaeology (Steele, 2008)	
45	Unearthing atrocities: mass graves in territory formerly controlled by ISIL (UNAMI-OHCHR, 2018)	
46	Vegetation dynamics as a tool for detecting clandestine graves (Caccianiga et al., 2012)	
47	Analyzing and Interpreting Lime Burials from the Spanish Civil War (1936–1939): A Case 1 Study from La Carcavilla Cemetery (Schotsmans et al., 2017)	
48	Exhumación y análisis de los restos humanos recuperados en una fosa común del cementerio de Tudela (Navarra) (Etxeberria et al., 2010)	
49	The application of remote sensing for detecting mass graves: an experimental animal case study from Costa Rica (Kalacska et al., 2009)	
50	A clandestine burial in Costa Rica prospection and excavation (Congram, 2008)	
51	Defining the place of burial: what makes a cemetery a cemetery? (Rugg, 2000)	
52	The clandestine multiple graves in Malaysia: the first mass identification operation of human skeletal remains (Mohd Noor et al., 2017)	
53	Buried evidence. Unknown, unmarked and mass graves in indian-administered Kashmir (Chatterji et al., 2009)	
54	Descolonizar el encuentro con la muerte: hacia una ciencia afectiva en torno a la exhumación de fosas comunes en México (Silvestre, 2019)	
55	La arqueología como instrumento metodológico en la investigación de los casos de sustracción de neonatos sin la autorización de los progenitores (Gener Basallote et al., 2019)	
56	Claves metodológicas para la intervención arqueológico-forense en cementerios: el ejemplo de Nuestra Señora de Araceli (Lucena, Córdoba) (Sánchez Marcos et al., 2019)	
57	Abordaje integral para el análisis y estudio de una fosa común de la Guerra Civil Española (Herrasti et al., 2019)	
58	Handbook of missing persons (Morewitz and Colls, 2016)	



Figura 11. Protocolo generalizado Gestión Integral de Panteones basado en el protocolo generalizado de la antropología forense.

De manera general, en su praxis el presente protocolo debe asegurar:

- 1) Que los estándares internacionales y las metodologías sean aplicados correctamente,
- 2) Que los diferentes especialistas del equipo de trabajo que desarrollan la investigación se comuniquen y coordinen fluidamente,
- 3) Abordar la investigación forense como lo que es: una secuencia de actividades sistemáticas con el propósito de descubrir o aumentar el conocimiento sobre algo,
- 4) Evitar aislar las investigaciones y centrarse solo en el universo de casos que han sido denunciados,
- 5) Priorizar los casos tomando en cuenta criterios como: el nivel de información obtenida, el riesgo de que los restos sean alterados, las urgencias y necesidades de las familias y que
- 6) La investigación forense no sea vista solo como una acción técnica, sino que debe estar dirigida a esclarecer lo que ocurrió para contribuir a aliviar el sufrimiento de los familiares.

La presente propuesta está basada en los estándares internacionales de intervención en fosas

masivas, *mass graves* (Skinner, 1987; Skinner et al., 2003; Blau y Skinner, 2005; Jessee y Skinner, 2005; Cox et al., 2008), adecuados a contextos cementeriales, concretamente a fosas comunes, fosas de personas no reclamadas y/u osarios y en las recomendaciones de los 58 documentos analizados. Para la intervención se requiere la aplicación de siete fases (Figura 11).

Investigación previa

Es la primera fase del protocolo y tiene el objetivo principal de recabar toda la información disponible sobre el panteón a intervenir, desde una perspectiva integral, esto quiere decir multifactorial e interdisciplinar. Esta fase implica cinco aspectos generales a incluir dentro del protocolo mínimo, dos de ellos están más enfocados en la parte de casos de búsqueda individual (Figura 12, cuadros delimitados en línea discontinua), ya sea reciente o larga data; y tres de estos son los más pertinentes para el trabajo de investigación en cementerios para el PNEx, las líneas o rutas de investigación básicas son: 1) investigación con familiares, 2) carpeta de investigación, 3) investigación en cementerio o panteón, 4) investigación en Semefo, y 5) análisis de contexto (Figura 12).

El proceso general que se realiza son entrevistas, revisiones y análisis para la documentación, caracterización y creación de un Diagnóstico Integral de Panteones, mismo que después de un análisis detallado deberá detonar un Plan de Intervención, que integrará cinco puntos básicos: 1) diagnóstico, 2) valoración, 3) programación, 4) ejecución y 5) evaluación (Figura 12).

Si bien el presente documento se centra en el panteón o cementerio como unidad de acción, se pueden tener otros niveles o escalas de análisis ello dependerá de la delimitación que haya respecto de la estrategia que delimite el PNEx, pero podría ser a nivel municipal, regional, metropolitano, estatal o federal, según convenga.

Trabajo de investigación previo con familiares

Si el caso se trata de una estrategia de búsqueda local o federal, reciente o de larga data o algún caso de que se tenga por equipos independientes se debe realizar todas las acciones necesarias para recabar información de la historia de vida de la persona desaparecida. Es importante enfatizar que es determinante la participación y protección de los familiares de la víctima (s) durante la investigación. Tanto las autoridades pertinentes como los mecanismos de investigación deben mantener un canal de comunicación abierto con los familiares.

Como lo establece el Protocolo de Minnesota (ACNUDH, 2017):

En una investigación se puede reunir diferente tipo de material, aunque no todo será necesariamente utilizado como prueba en el procedimiento judicial. No obstante, se debe proteger, registrar y archivar todo el material y todas las observaciones pertinentes a la investigación. Esto incluye todas las decisiones adoptadas, la información reunida y las declaraciones de los testigos. También se debe registrar la procedencia del material, y la fecha y hora de su adquisición.

Respecto de los familiares serán importante generar reuniones cuantas veces sean necesarias.

Además, explicar y dar certidumbre del proceso a realizar para con ellos. De igual manera, se debe recabar toda la información de historia de vida necesaria de su o sus familiares, y la creación de una línea de tiempo de su proceso de búsqueda o caso.

Según el Comité Internacional de la Cruz Roja, los datos *antemortem* (DAM) incluyen información general personal y social (nombre, edad, domicilio, lugar de trabajo, estado civil, etc.); aspecto físico (estatura, peso, color de ojos, color del cabello, etc.); historia médica y odontológica (fracturas, enfermedades, piezas dentales faltantes, coronas dentales, amalgamas, etc.); rasgos distintivos (hábitos, características particulares como cicatrices, marcas de nacimiento o tatuajes); prendas de vestir y otros artículos personales que la persona desaparecida vestía o llevaba consigo cuando fue vista por última vez; las circunstancias relacionadas con la desaparición. Cuando el caso sea el PNEx, este punto no se realizará, pero quedará pendiente para la confronta una vez que se hayan explorado los perfiles postmortem de las personas no identificadas e identificadas no reclamadas en la fosa común.

Los registros si bien pueden ser determinados con múltiples formatos se recomienda el uso de la plataforma de CICR AM/PM (CICR, 2014a) como una de las formas estándar de sistematizar la información de familiares a través del orbe. En su defecto, puede emplearse los formatos de interpol de la Guía para la identificación de víctimas de catástrofes como un recurso secundario (IVIC-INTERPOL, 2018). Se debe recordar que los familiares tienen el derecho de aportar pruebas y coadyuvar en la investigación penal (ACNUDH, 2017). Dentro del contexto de búsquedas, quizás algunos colectivos de familiares se sumen al trabajo en panteones lo cual debe ser establecido en el Plan de Intervención, delimitando su relevancia y el papel de cada familiar o colectivo.

Aunque quizás en el contexto del PNEx no sea un objetivo focal, en esta fase se pueden realizar tomas de muestra de referencia o la obtención de registros médicos, para ello es de suma importancia tener el consentimiento informado para cada familiar. El Protocolo de Minnesota (ACNUDH, 2017) delimita que: “los donantes deben completar formularios de consentimiento en los que se indique cómo se almacenarán las muestras, quién podrá acceder a ellas, quién gestionará la base de datos genéticos y cómo se utilizarán los datos”.

La comunicación de las intervenciones a la Red de Enlaces Nacionales (REN, 2020), espacio de articulación de familiares de personas desaparecidas, permitirá que algunos de ellos se participen activamente en el proceso.

En este punto puede ser importante pensar en la solicitud de acceso a registros de historial médico y/o odontológico para realizar la posterior confronta durante el proceso de identificación humana. Todos los registros médicos y/o oficiales obtenidos deben ser resguardados conforme a protocolo, es decir, procurar su resguardo en soportes físicos y si es necesario, digitales. Si se trata de un caso abierto, se debe emplear el Registro de Cadena de Custodia (RCC). Para el caso de registros oficiales, el CICR define e incluye (CICR, 2014b, 2017): informes legales, informes y archivos policiales y militares, informes de autopsia, huellas digitales, fotografías, certificados de defunción, registros de cementerios, fotografías satelitales, informes de prensa, informes de ONG, otros. Toda esta información será determinante para construcción de hipótesis de búsqueda.

Carpeta de Investigación

La investigación dentro de la búsqueda en panteones o cementerios puede estar enfocada en la búsqueda de un familiar o realizarse “de oficio” en lo que establece la Ley General en Materia de Desaparición Forzada de Personas, Desaparición Cometida por Particulares y del Sistema Nacional de Búsqueda a través del Programa Nacional de Exhumaciones (LGMDFP). En este protocolo el enfoque es de trabajo sistemático en panteones. Si bien pueda ser un solo individuo, dos o toda la fosa, la aplicación del presente protocolo debe ser exhaustivo y proactivo hacia las personas no identificadas en la fosa común, permitiendo el reordenamiento del sitio de intervención y generando datos que permitan la identificación de aquellos individuos que si bien, en el caso de una búsqueda específica, no son parte del proceso, deberán ser examinados para integrar una ficha *postmortem* y sumar su perfil a los bancos de datos nacionales, lo que implica aumentar la probabilidad de su identificación y entrega a familiares.

Cuando sea un caso único es de vital importancia el análisis de la carpeta de investigación, informes de necropsia, peritajes relacionados, informes

de intervenciones anteriores, perfiles AM, y demás información disponible. El conocimiento de las hipótesis de investigación del caso, línea de tiempo e información asociada son de vital importancia para esta ruta de revisión. Como la ALAF propone, se debe revisar “*toda la información relacionada con el hecho desde una perspectiva holística*” (GLAAF, 2016).

Cuando el proceso sea dentro del marco de aplicación del Programa Nacional de Exhumaciones (PNEx) la intervención deberá ser exhaustiva en todo predio que se haya delimitado históricamente como fosa común y/o osario, para ello la delimitación del **Diagnóstico Integral de Panteones** y el **Plan de Intervención** son determinantes.

Investigación en panteón o cementerio

En esta ruta se deben asegurar todas las peticiones de permisos para acceso al predio y a los archivos de corte histórico inhumaciones regulares y de fosa común del recinto. Además, la administración del panteón o cementerio deberá elaborar un listado del personal del panteón (de preferencia histórico) y las personas que tiene acceso a la fosa común y/u osario. También, es necesario tener acceso al censo más actualizado y registro histórico del cementerio, enfocado en: 1) la cantidad de personas no identificados (PNI) inhumados en la fosa común, 2) el número de personas identificadas no reclamadas (PINR) y su destino final (fosa común, osario, nicho o cremación, aunque esta última está prohibida). También se debe solicitar cualquier planimetría, planos, croquis, mapas, fotografías, etc., que puedan ser de interés para la localización de una persona.

Se deberá realizar un diagnóstico (Dx) sobre la fosa común, osario, nichos y de la presencia de casos de tráfico de tejidos humanos (hueso). Respecto de la fosa común, se necesita revisar, analizar y documentar sus dimensiones, número de individuos inhumados (NII), si existe algún identificador por persona (placas de identificación), si se realizan inhumaciones individuales, colectivas o mixtas, y el personal que labora en la fosa (mejor cuando éste sea histórico).

Todos los datos resultantes quedarán plasmados en una pequeña base de datos para uso del diagnóstico y como documentación general del proyecto. También,

con esos datos se debe cotejar con aquella información que el Semefo aporte como listado de personas inhumadas en el recinto (Validación 1), esto es el histórico del número de individuos inhumados (NII) en la fosa común. El objetivo al realizar este análisis es conocer las inconsistencias en el registro y poder generar hipótesis de investigación en el cementerio, pero también generar con la intervención nuevas directrices para mejorar la calidad de la gestión de restos en el panteón a nivel regional. Además, sobre esta información es que se podrá delimitar un cronograma de intervención en el predio, ya que se podrá hacer un aproximado de las personas inhumadas y el tiempo que se puede llevar la intervención; dicho cronograma se integrará como parte del **Plan de Intervención (PIIn)**.

Esta información permitirá generar un flujograma de los procedimientos estándar del panteón o cementerio para actividades que sean pertinentes con la gestión de los restos, esto como una forma de que la intervención sea integral para con la administración de panteones y que los problemas que se han generado por la mala gestión de fosas comunes y cementerios, no se vuelvan a generar. Este flujograma se integrará como parte del **Diagnóstico Integral de Panteones (DIPa)**.

En esta fase, de forma paralela se realizarán acciones de planeación cartográfica del área de intervención a través de imágenes satelitales o fotografías aéreas, ello permitirá tener un panorama del área a trabajar, sus características fisiográficas, ubicaciones geográficas, elevaciones y posibles dificultades técnicas de trabajo. Se evaluará como una forma de determinar la limitación de intervención de algunos equipos como el geofísico, retroexcavadora, etc. La perspectiva de análisis de imágenes satelitales a través del tiempo es importante en algunos contextos para advertir el efecto ambiental sobre las áreas y las posibles redelimitaciones del recinto con motivos de espacio o por cambios estacionales.

Se recomienda entrevistar a todo el personal del panteón o cementerio que tienen acceso a la fosa común para conocer de forma estándar el trabajo que se realiza en dicho espacio.

Semefo

El Semefo deberá facilitar un listado histórico de las personas que han sido clasificados como personas no identificadas (PNI) y personas identificadas

no reclamadas (PINR) que fueron inhumadas en fosa común o aquellas que hayan sido destinadas a universidades para trabajo de investigación y docencia. Así, se podrá delimitar un número de individuos sometidos a necropsia (NISN) y conocer la frecuencia de personas enviadas para investigación y docencia en universidades (PEU) y cuantas inhumadas en panteones (PIP, CNB, 2020), este último número será parte del universo de personas a encontrar en la fosa común y permitirá con los datos de registro del panteón, poder realizar una confronta de listados (Validación 1, Figura 12). Es de suma importancia que, en los casos de búsquedas individuales o generalizadas, los peritos o equipos forenses a intervenir puedan acceder a las carpetas de necropsia de dichas personas, para obtener la mayor cantidad de información posible que servirá dentro del proceso de validación de las intervenciones a realizar.

Análisis de contexto

Dentro del proceso integral de intervención en panteones o cementerios es de suma importancia generar un análisis de contexto, que, si bien en si llevan su propia metodología, aquí se piensa en un contexto generalista, es decir, tomar una herramienta analítica que permita identificar diversos hechos, conductas o discursos que constituyen el marco referencial en el cual un determinado fenómeno estudiado tiene lugar en un tiempo y espacio concretos. Si bien el análisis de contexto puede ser enfocado en aspectos diversos, aquí deberá llevarse a cabo en las vertientes social-cultural (e.g. Marroquin, 2006; Herrera, 2010). Por ello es de suma importancia la inclusión de la Antropología Social, Etnología y/o Sociología en las instituciones y/o equipos de intervención.

Debido a que la intervención en panteones puede estar trabajando en recintos con diversos monumentos de carácter histórico, podría ser necesario peritajes arquitectónicos, históricos o de protección al patrimonio cultural; más aún, si la hipótesis de búsqueda de una persona lleva a una intervención cercana o dentro de alguna fosa de interés histórico, serían indispensables dichos análisis. Por ello es importante que si el caso lo requiere el INAH sea notificado de las intervenciones.

El peritaje antropológico se refiere a la prueba judicial que hace un análisis acerca de los usos,

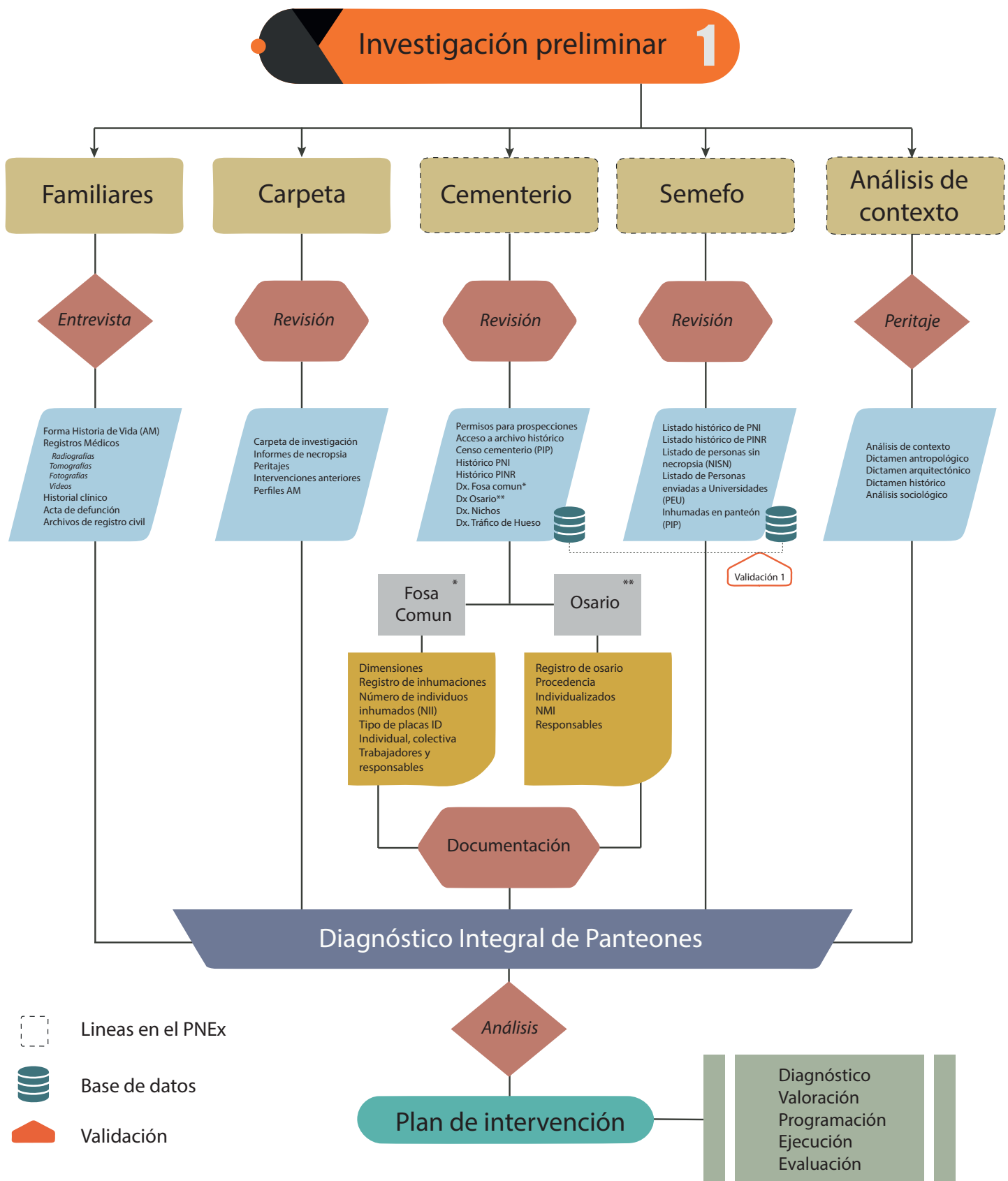


Figura 12. Protocolo de Investigación previa del GIP con cinco directrices mínimas a desarrollar para la integración de un Diagnóstico Integral de Panteones, lo que permitirá en cada caso generar un Plan de Intervención que se recomienda sea local. *ver Figura 25 ** ver Figura 26.

costumbres y tradiciones de individuos en referencia a un grupo minoritario respecto de su diferencia cultural con otro grupo (Herrera, 2010). Los especialistas que realizan la prueba deben evaluar la pertinencia de realizar un **Dictamen Antropológico** que mediante la aplicación de métodos y técnicas de algunas disciplinas de las ciencias sociales como la antropología socio-cultural, la sociología, la historia, la etnología o la lingüística se logre el conocimiento del contexto de la persona (s) involucradas en el caso, ya sean víctimas o perpetradores. Ello ayudará a lograr una aplicación basada en evidencia y con un enfoque diferenciado, que para el caso de usos y costumbres en panteones o cementerios comunitarios la generación de esta información es de vital importancia sea realizada antes de las intervenciones.

Diagnóstico Integral de Panteones

Toda la información documentada, revisada y sistematizada debe integrar un **Diagnóstico Integral de Panteones** (DIPa), este es un documento tipo informe que permite la concentración de toda fuente de información para realizar el análisis e investigación para identificar y delimitar la situación general del cementerio o panteón de una comunidad o población, determinando problemas y necesidades, así como caracterizando los factores detonantes o determinantes de malas praxis o inconsistencias; lo que permitirá generar estrategias para su solución viables y factibles. Respecto del PNEx, es de suma importancia que el documento sea generado de manera transdisciplinar, incluso deben considerarse incompletos sin la participación de los colectivos de víctimas y/o población interesada. No se piensa la intervención bajo la praxis tradicional u ortodoxa de las ciencias forense “cada especialidad un dictamen” sino generar un informe de intervención conjunto como se ha ya establecido como estándar (e.g. Etxeberria et al., 2010; GLAAF, 2016; Arqueoforense, 2018).

Plan de Intervención: procedimiento

La información de la Investigación Previa es analizada e integrada para generar un **Plan de Intervención** que es un documento que delimita una(s) ruta(s) de solución a las hipótesis de intervención generadas, establece

prioridades, criterios y estrategias a realizar en los panteones o cementerios. Se trata de un documento delimitando un **Procedimiento Operativo Estándar** (POS) que serán las directrices de praxis de toda intervención en panteones. También se incluye un apartado de presupuesto y financiamientos, que incluye el desglose de toda la intervención con una perspectiva en costos.

Una parte importante del documento es el cronograma de intervención, que es una programación sobre la frecuencia e intensidad de las intervenciones. Permitirá, la gestión de personal, recursos, planeación de pruebas periciales complementarias, etc. Deberán ser incluidos los datos del censo del panteón o cementerio, inhumaciones realizadas (histórico o por intervalo de fecha), en fosa común y tumbas, exhumaciones realizadas en fosa común y tumbas, número de personas no reclamadas, en tumbas y perpetuidad, datos sobre osarios, etc.

Según la Guía del EAAF, (2020), el **Plan de Intervención** pueden incluir: presupuestos, equipo, acceso al área de seguridad para la fosa, comunidad, familiares e investigadores, comunicaciones, herramientas a utilizar, infraestructura en caso de que la excavación posterior se prolongue, alojamiento, alimentación, asistencia médica, relación con la comunidad, relación con los medios de comunicación.

Si bien el documento es de carácter abierto, aquí se proponen cinco secciones generales: 1) diagnóstico, 2) valoración, 3) programación, 4) ejecución o desarrollo y 5) evaluación.

Trabajo de campo

En la presente fase se realiza una investigación arqueológica forense con el objetivo de buscar, documentar, recuperar personas y evidencia asociada, y dar interpretaciones respecto a las condiciones en las que dichas evidencias fueron depositadas (GLAAF, 2016).

Este punto del protocolo es la aplicación del **Plan de Intervención** siguiendo dos perspectivas de aplicación: a) de un caso de investigación forense o b) de la aplicación del Programa Nacional de Exhumaciones (PNEx).

La praxis a desarrollar en campo debe estar estrictamente sustentada en estándares internacionales de intervención en fosas masivas (Skinner, 1987; Skinner et al., 2003; Blau and Skinner, 2005; Jesse and Skinner, 2005; Cox et al., 2008), adecuados a contextos cementeriales, que en su generalidad no serán un entierro unitario, sino más bien es probable la presentación de restos mezclados de personas (L'Abbé, 2005; SWGANTH, 2013c; Kontanis and Sledzik, 2014; Naji et al., 2014; Puerto et al., 2014; Schaefer, 2014; Mohd Noor et al., 2017; Osterholtz, 2018, 2019; de Boer et al., 2020), por ello se deben considerar todos los detalles de arqueotafonomía (Dupras and Schultz, 2014; Duda, 2016; Castex and Blaizot, 2017).

De manera general, se tendrá tres fases para el desarrollo del trabajo de campo (Figura 13), fases que en varios protocolos son sinonimia de investigación arqueológica forense (GLAAF, 2016). La arqueología forense incluye la interpretación de los factores naturales y culturales que resultan en la deposición, posiciones, asociaciones y los estados tafonómicos de restos y las evidencias físicas asociadas (GLAAF, 2016) en muchos casos su principal objetivo es el de *“localizar el lugar de un delito (el sitio) o fosas; identificar, registrar y recolectar toda la evidencia contextual y física incluyendo restos humanos; y suministrar documentos e informes a las autoridades correspondientes”* (Congram and Vidoli, 2016) por ello su relevancia en la cadena de procesos de la intervención antropológica forense para lograr el acceso a la verdad, justicia y reparación, no solo a la identificación humana. Las fases propuestas para esta sección son:

- 1) Prospección de la fosa común.
- 2) Exhumación.
- 3) Recuperación de restos y evidencia asociada.

Prospección de la fosa común

Por definición la prospección arqueológica o arqueogeofísica son los términos para la identificación no destructiva de características y materiales asociados enterrados (Batayneh, 2011), se ocupa fundamentalmente de la identificación de contrastes entre materiales dentro y fuera de las estructuras de interés arqueológico forense. Si existen restos subterráneos, estos pueden afectar la superficie del

suelo y provocar variaciones en las propiedades físicas del terreno y por ende ser detectados, en mayor y menor medida. La prospección podría describirse como la toma de una radiografía (*sensu* Corsi, 2013) a un sitio, y puede ser también usarse el término “diagnóstico arqueológico”, lo que implica una serie de metodologías y enfoques para el levantamiento de sitios arqueológicos (Corsi, 2013), aunque ese término no implica necesariamente excavaciones en extensión.

Para la arqueología, el trabajo en fosas comunes parecería una línea directa, empero con los datos de fosas comunes cerradas proporcionadas por el INEGI ($n > 10$ mil) es probable que muchos sitios hayan cambiado a lo largo del tiempo, incluso se hayan reutilizado o que nuevas estructuras estén sobre lo que fue en algún momento la fosa. Por ello, la prospección en la parte de detección quizás será relevante. Dado que únicamente en épocas recientes, quizás las últimas dos décadas, las fosas comunes tienen un registro detallado y, apenas hace pocos años, se inhumaba de forma unitaria; las fosas comunes que de primera instancia podría clasificarse como escenarios “fáciles”, podrían resultar en una investigación muy compleja y que requiera más tiempo del estimado. Por ello también, el PNEx debe considerar construir equipos especializados en búsqueda y recuperación, quienes se pueden comparar con los equipos forenses de identificación en incidentes con saldo masivo de víctimas (e.g. Blau and Briggs, 2011; Adams, 2012)

La prospección tiene diversos objetivos, por ejemplo, delimitar las zonas de intervención y obtener información complementaria producto de mediciones por sensores remotos, geofísica, topografía y fotografía. Ello permitirá generar una(s) estrategia(s) de exhumación, esto es una vía para realizar la mejor intervención de excavación posible con el marco de referencia que se tiene. Como aquí el objetivo son las fosas comunes, toda la intervención será un contexto de inhumación compleja. Además, la prospección es de suma importancia, ya que sabiendo el elevado costo y destructividad de la excavación (Renfrew and Bahn, 2011), la prospección es siempre un paso requerido como estándar mínimo arqueológico, ya que es el primer acercamiento a la delimitación de un contexto.

En la praxis, la prospección puede incluir: inspección de superficie, consulta de fuentes documentales (que es un paso que se debió realizar en

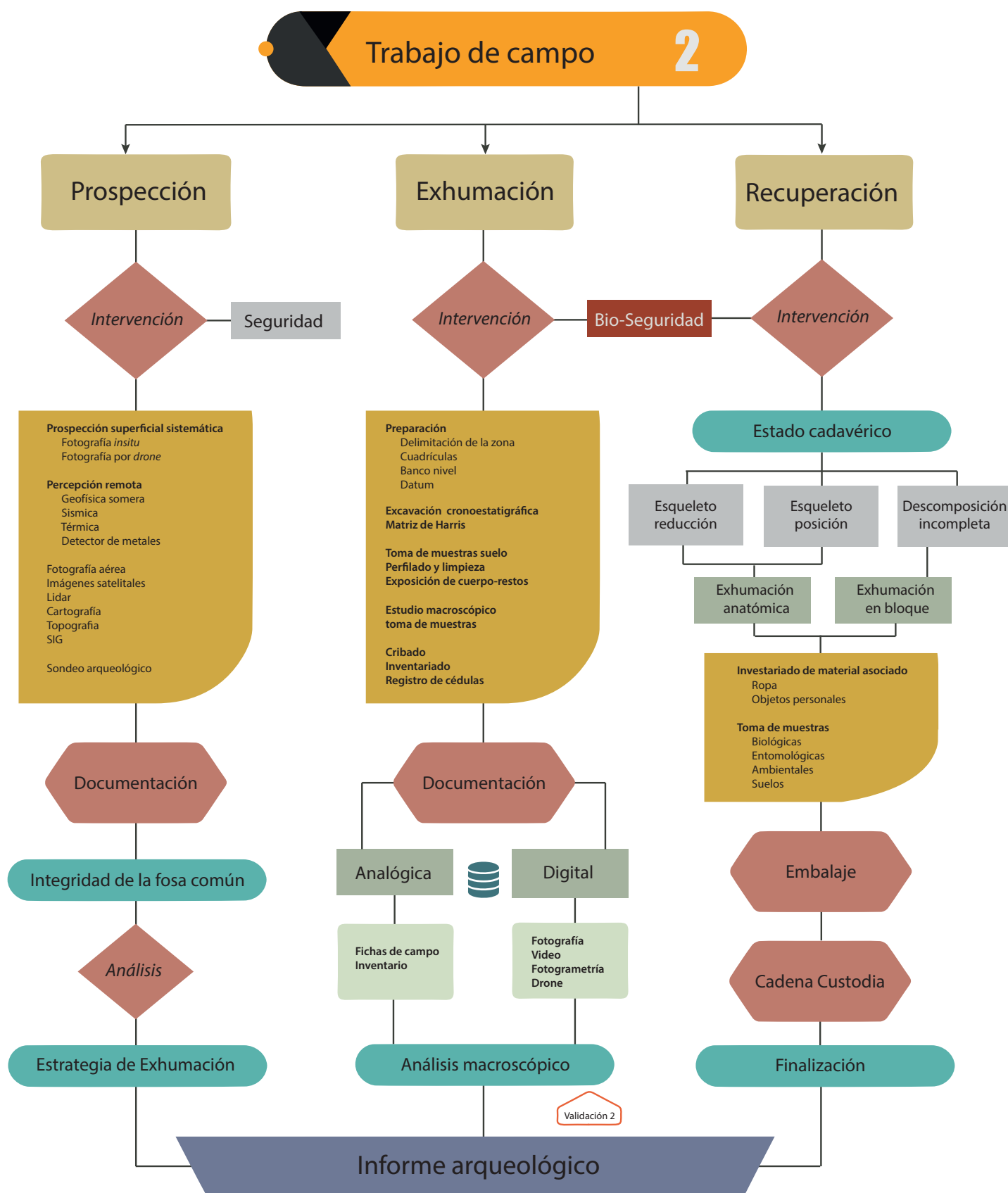


Figura 13. Protocolo de trabajo de campo del GIP con tres directrices mínimas a desarrollar para la intervención de panteones o cementerios, principalmente fosas comunes, fosas de personas no reclamadas, nichos y/u osarios.

la investigación previa), fotointerpretación, registro superficial y SIG, teledetección bajo superficie, que pueden incluir: métodos sísmicos y acústicos, electromagnéticos, de resistividad, magnéticos, por prospección térmica, análisis geoquímicos, reconocimiento aéreo, uso de detector de metales, entre otras (Renfrew y Bahn, 2011). Estas se recomiendan realizarlas de manera reiterativa, es decir la combinación de dos o más técnicas para confirmar un sitio.

La prospección superficial es poco destructiva y en algunos casos podría ser una opción rápida de mapear contextos. Se puede llevar a cabo de dos formas: a) asistemática: es la más sencilla e implica el recorrido a pie del área, la exploración de la franja del terreno (en este caso puede ser la zona circundante a la fosa o los límites de esta, ello permitirá conocer la integridad o aislamiento de esta. También puede realizarse un recorrido por el panteón), debe realizarse una documentación-registro de elementos superficiales (Renfrew and Bahn, 2011). En este caso, esta técnica no tiene un orden preestablecido, por lo que únicamente se recomienda para un acercamiento o visita previa, inicial, nunca como un método de intervención (Renfrew y Bahn, 2011).

Después se tiene la prospección sistemática, donde se emplea un recorrido con un sistema de transectos equidistantes. Si bien en arqueología se tiene muy bien delimitadas las estrategias de prospección, dadas las grandes cantidades de terreno, respecto de las fosas comunes el recorrido inicial debe ser una prospección intensiva de cobertura total, ya que el área, en términos arqueológicos es pequeña.

El área en estudio puede dividirse en sectores y estos se recorren sistemáticamente, lo que permite revisar el área mediante una metodología; y así, asegurar que no exista sesgo en la revisión de algún área. Se puede lograr mayor definición, estableciendo recorridos en unidades de distancia fija y alineadas, generando una parrilla de transectos, recorridos o rutas, que dependiente del personal disponible y el área a cubrir. La intensidad (separación de transectos) podría ser de 1.5 mts como media. Se recomienda incluir este sistema en el plan de intervención, mismo que puede realizar ajustes pertinentes en campo, una vez que se validen las dimensiones de la fosa; asimismo, de cargar los datos de recorridos en el GPS.

Como ejemplo, se presenta la delimitación realizada a la fosa común del Panteón Municipal de Pachuca, que en el análisis para realizar una validación del presente protocolo fue elegido para una intervención. Desafortunadamente, por cuestiones burocráticas no se logró realizar la aplicación de este (2018), a pesar de reiteradas peticiones. Sin embargo, se había realizado la investigación preliminar y se preparó esta figura como parte del plan de intervención (Figura 14). En ella, se puede ver el polígono del cementerio y la fosa común. Sobre el polígono de la fosa común, que tiene aproximadamente 9 x 67m se prospectó realizar seis transectos de una intensidad de 1.5m entre ellos y con un rumbo S 86° O desde la entrada a la fosa, para cubrir los 67m de mayor dimensión de la fosa.

Como es evidente, en los espacios de cementerios resulta fácil cubrir la totalidad de la fosa y realizar registro de esta, incluso por una sola persona, por ello la planificación de responsabilidades en campo debe ser parte del plan de trabajo del equipo de intervención, se sugiere seguir las directrices de Cox et al., (2008, pág. 45, Figura 15).

Los recorridos de superficie buscarán localizar, de manera visual, restos óseos, tejido o elementos compatibles con restos óseos en superficie, mismos que serán marcados con un banderín o indicador numérico para su georreferencia posterior en GPS. Ello permitirá documentar restos en superficie lo que definirá la evaluación de la integridad de la fosa. Cada resto que se encuentre deberá ser registrado arqueológicamente para su posterior análisis bajo una perspectiva de área de distribución y análisis espacial.

Como la portada de esta guía documenta, es frecuente encontrar restos óseos de personas en superficie, dando evidencia de la dinámica de la fosa y las malas prácticas, por ello debe ser documentado como parte de la intervención del Programa Nacional de Exhumaciones (PNEx).

Antes de cualquier intervención se recomienda fijar fotográficamente toda la fosa, mediante fotografías panorámicas en cada vértice del polígono de la fosa. Además, es recomendable realizar una fotografía aérea mediante un drone a 50, 30, 20 y 10 m. Asimismo, se puede diseñar un vuelo para fijar en video toda el área de intervención previa búsqueda (se recomienda la revisión del protocolo sobre tecnologías geoespaciales incluido en esta guía, pág 157). Además, se aconseja

videgrabar todas las actuaciones con el fin de obtener un soporte en la investigación, una cámara panorámica es suficiente para tal fin.

Respecto de la visibilidad del terreno, es importante pensar, que en algunas fosas, sobre todo las cerradas, la vegetación podría tener dimensiones importantes o estar anegada. Por ello se deberá evaluar el corte de la vegetación previo el registro del estado primario de la misma y vuelos del *drone*. Se deberá realizar la poda de manera controlada y con el uso de herramientas que permitan la poda sin ocasionar daño a elementos óseos en superficie. Se recomienda el uso de herramienta manual (machete y tijeras de poda) además del uso de desbrozadoras o recortadores horizontales/cortasetos. Se debe realizar el procedimiento con la supervisión del equipo forense, quienes deben validar si es necesaria la poda y la estrategia de esta. El uso de rastrillos podría representar el daño a estructuras óseas o elementos asociados por lo que se argumenta

a favor del uso de poda manual, la evaluación debe realizarse con una visita al panteón y con la presencia del arqueólogo forense en jefe.

Después de todo el proceso anterior y sobre todo en aquellos escenarios complejos, deberá aplicarse los métodos de prospección remota, esto es técnicas de geofísica somera, percepción remota, fotografía, SIG, etc. La aplicación de estos métodos puede consultarse en los protocolos de geofísica y tecnologías geoespaciales (protocolos págs. 129 y 157, respectivamente). Contraria a la visión intrusiva, la perspectiva del presente protocolo será la de agotar todas las opciones de prospección no intrusiva.

En algunos casos antes del proceso de exhumación de la fosa, puede ser necesario realizar sondeos arqueológicos, para complementar datos superficiales, estos deberán realizarse con todo el detalle y documentación arqueológica pertinente y con responsabilidad del arqueólogo forense en jefe.

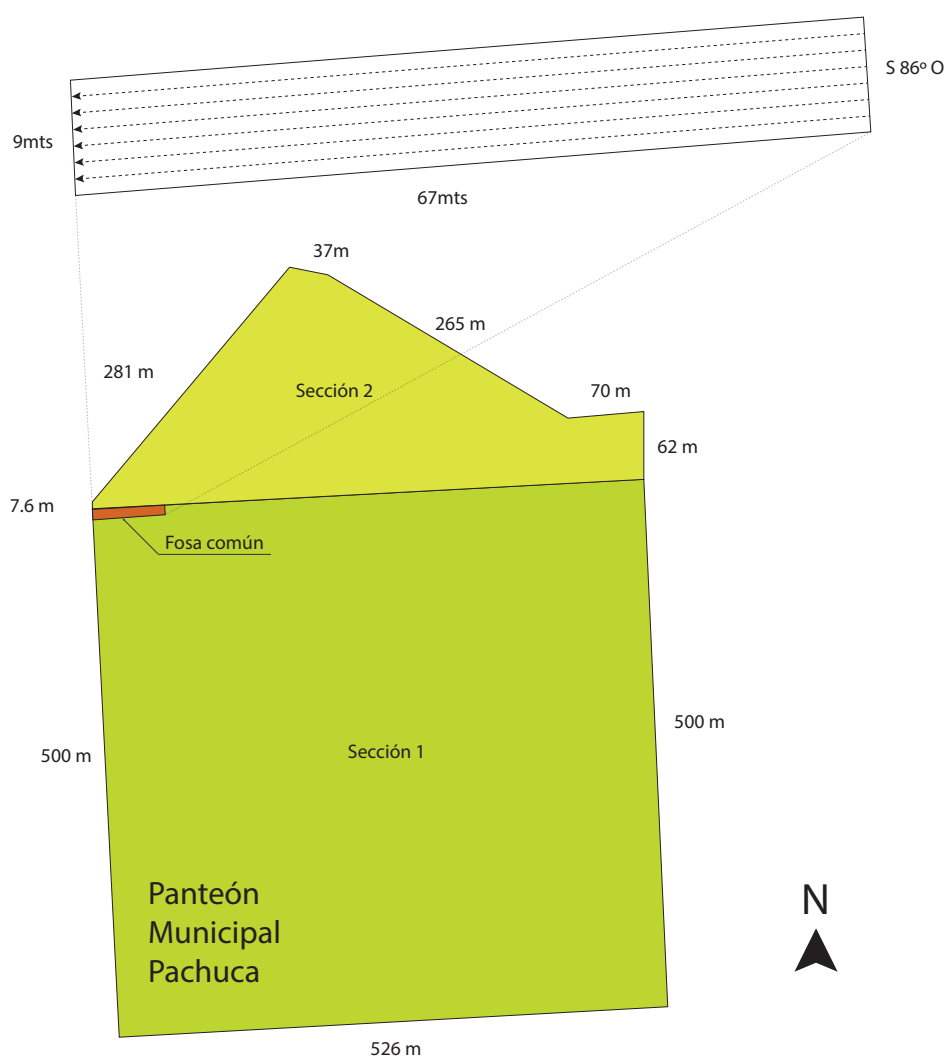


Figura 14. Propuesta del Plan de Intervención del Panteón Municipal de Pachuca para la prospección de la fosa común.

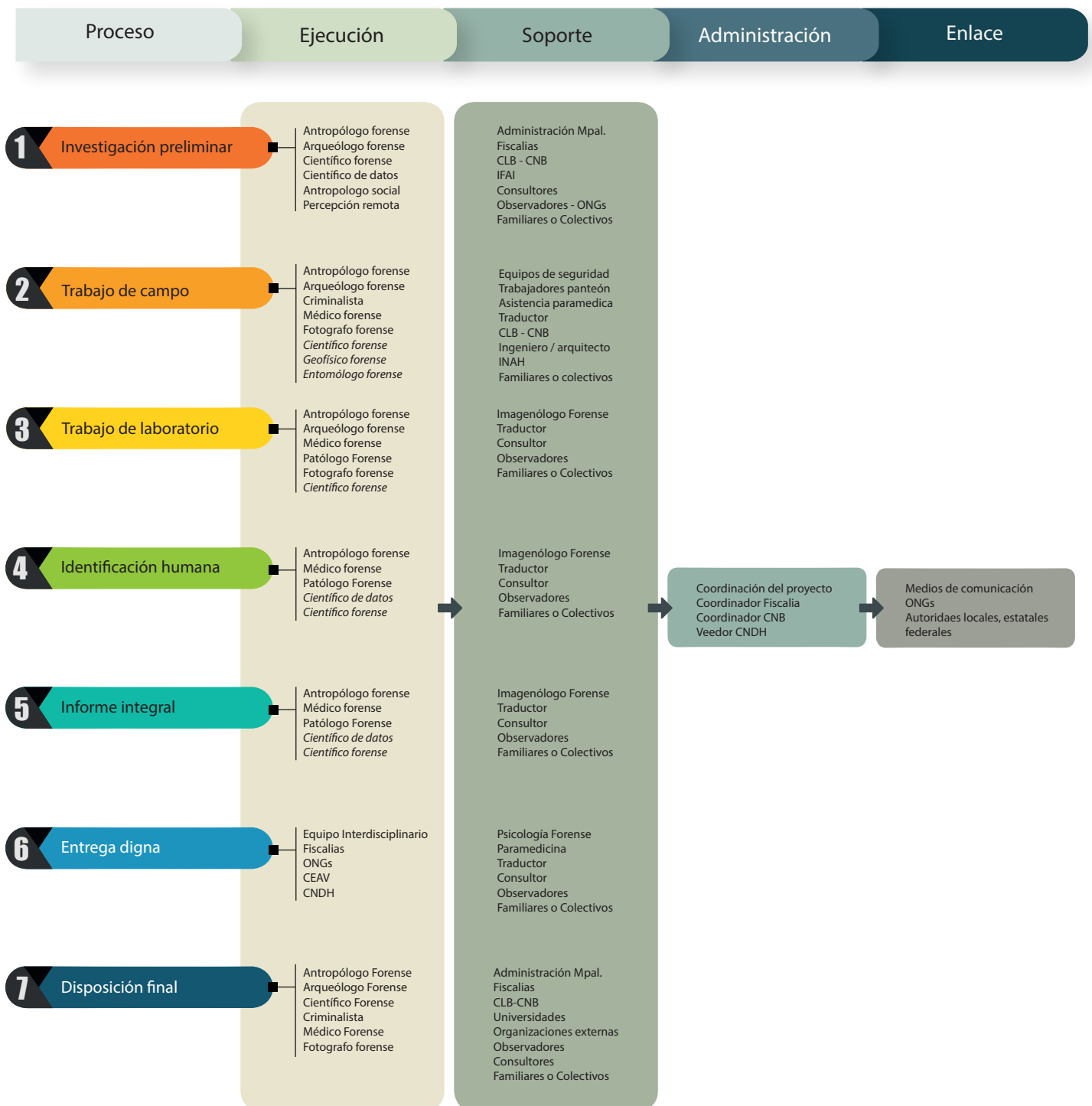


Figura 15. Responsabilidades mínimas propuestas para el presente protocolo para cada fase de aplicación de este, respecto de cuatro enfoques: ejecución, soporte, administración y enlace. Modificado de Cox et al., 2008.

Sobre el uso de varillas T

Las varillas o barras “T” han sido un elemento constante en las prospecciones realizadas en México, con un amplio uso, incluso por equipos científicos. Las barras fueron diseñadas para determinar las diferencias cualitativas en la densidad de los materiales del subsuelo, porque el suelo alterado de una fosa será menos denso que el suelo no alterado circundante. Incluso algunas varillas T tienen una luz interna para realizar una toma de muestra de suelos (sonda de extracción de muestras del suelo), esta última se utiliza para determinar si los horizontes del suelo están mezclados (Dupras et al., 2011). Según Dupras et al., (2011), aunque sin citar alguna evidencia precisa, *“una ventaja de este método sobre las sondas estándar es que no se hunde tanto en el suelo y hay menos posibilidades de dañar el cuerpo y cualquier evidencia asociada”*.

La varilla es definida como una sonda o barra de metal utilizada para detectar variaciones en la densidad de sub-capas superficiales del suelo (Dupras et al., 2011). Otro ejemplo más sofisticado de sonda, es el penetrómetro, que si bien tiene un uso agrícola, podría aplicarse al ámbito forense; y que tiene un manómetro en la unión de la varilla y la barra transversal que miden la compacidad o densidad del suelo (Ruffell, 2005; Dupras et al., 2011), proporcionando así una medición cuantitativa.

El primer trabajo que puso a prueba estas barras fue realizado por Owsley, (1995), con una revisión en una nota científica de Ruffell, (2005) y revisado por Dupras et al., (2011). En los dos primeros trabajos, si bien se dan recomendaciones y se intenta validar su uso como elemento de búsqueda, en el marco de los modelos basados en evidencia no se puede recomendar su uso como método intrusivo, sino únicamente como elemento para delimitación de fosas y cambios en la compactación del terreno superficiales, siempre usado después de los métodos no intrusivos (Dupras et al., 2011). Según las publicaciones antes descritas la barra debe emplearse sistemáticamente en una cuadrícula de búsqueda y también puede usarse como método de seguimiento después de una búsqueda visual para inspeccionar más áreas de interés.

Entonces, no existe suficiente evidencia para recomendar las barras T como elementos intrusivos sobre probables fosas en campo, un elemento de esas

características puede, potencialmente, dañar la escena, los restos o elementos asociados. Por ende, también es necesaria más investigación científica básica en este campo. El método de insertar y oler; debe ser desalentado, sustituido por métodos que sigan un método basado en evidencia y que no sean invasivos. El uso de la barra T sin una sistematización descrita en Owsley (1995), Ruffell (2005) y Dupras et al. (2011) podría considerarse mala praxis si es que se documenta un daño a cualquier elemento del cuerpo, restos de la persona o materiales asociados. La responsabilidad de la ciencia es transmitir a todos los interesados en el rubro forense de las limitaciones o daños que esto puede ocasionar, por lo que esta guía ha determinado incluir este breviarío.

Logística

La prospección arqueológica se realizará conforme a lo delimitado en el Plan de Intervención, pero con la flexibilidad que el trabajo de campo demarca, debe tenerse una perspectiva proactiva para la resolución de situaciones emergentes, siempre bajo un criterio científico. Un punto importante es proteger la seguridad y trabajo del equipo forense, por ello se debe valorar el uso de carpas o lonas en el desarrollo de este, **equipos de protección personal** (EPP) en todo momento para con la realización de diversas actividades, además de los rasgos de bioseguridad que se requieran (ver sección de excavación, Figura 16).

En el caso del abordaje de cementerios, no se deben iniciar procesos de recuperación de cadáveres sin tener claro el universo de los cadáveres a exhumar, así como todas las variables necesarias para la individualización e identificación de estos (INMLCF, 2016).

Preparación de la zona de exhumación

Una vez ubicadas las áreas de intervención mediante la prospección arqueológica (recorridos de superficie) o remota, e infiriendo la complejidad de la intervención, se deberá definir una estrategia de exhumación. Posterior a ello y definidas las zonas de intervención se restringen las zonas para el acceso común y se definen los datos de georeferencia necesarios, protocolos de fotografía previa (aérea y en terreno), la definición del banco de nivel y cualquier requerimiento topográfico.

De igual manera se deben cumplir todos los protocolos de criminalística de campo pertinentes (e.g. manejo del lugar de los hechos, evidencia y cadena de custodia; protección, documentación, recuperación, embalaje y transporte). Además, el sitio deberá estar custodiado por elementos de seguridad del estado (e.g. policía, guardia nacional, ejército, etc.).

Estrategia de exhumación

El equipo científico con toda la información de la investigación previa, el plan de intervención y lo documentado en la fase de prospección tendrá la mayor cantidad de elementos para integrar una **Estrategia de Exhumación** (EEx), que es un diseño breve sobre la toma de decisión de cómo es la mejor forma de comenzar la excavación extensiva del mismo, este documento delimita necesidades técnicas y de recursos humanos para el satisfactorio desarrollo de todo el proceso. La EEx es un documento interno del equipo forense que permite la sistematización del proceso de exhumación, delimita responsabilidades, flujos de trabajo, rondas, elementos de bioseguridad, coordina a los actores, permite la asistencia de familiares, comités de búsqueda, da información a prensa, delimita un orden de mando en terreno, además de que puede estimar un uso de recursos materiales para el procedimiento y ajustar tiempos. Como muchos textos forenses lo delimitan, estará basado en su parte más metodológica en **Procesos Operacional Estándar** (POE) que permitirán la planificación del trabajo a ejecución.

Excavación

En esta fase de la intervención del trabajo de campo se materializa la Estrategia de Exhumación (EEx). Las fosas comunes al ser escenarios complejos que, dependiendo del tiempo de configuración de ésta, incluirán una frecuencia diferencial de casos de cadáveres de personas en diferentes estados de descomposición hasta restos áridos. Debido a la posibilidad de recuperar cadáveres, existe una necesidad básica de contar con un médico forense y/o patólogo forense en campo.

También, como se ha definido por la experiencia en campo, es común la presencia de restos semienterrados o restos en superficie (estos deberán ser

documentados en la fase de prospección). Igualmente, existen algunos casos de fosas comunes a donde se envían extremidades o segmentos corporales que han amputado en procedimientos quirúrgicos estándar en hospitales. En otros contextos, también habrá la presencia de cenizas de las épocas donde la incineración era una práctica constante.

El protocolo de gestión integral de panteones (GIP) tiene su punto total en las fosas comunes, sin embargo, en su afán de realizar intervenciones que detonen un cambio en la realidad inmediata de los panteones, también considera la posibilidad de gestión en fosas/tumbas no reclamadas, nichos y osarios. Para definiciones de las tipologías de inhumaciones puede consultarse el Anexo 2. Específicamente, el Anexo 3 se presenta un protocolo específico para osarios.

Se realizarán exhumaciones en aquellos sitios con datos positivos en la prospección geofísica, aplicando técnicas de investigación arqueológica forense, permitiendo la excavación científica, recuperación y custodia de los restos exhumados. La exhumación científica implica la intervención multidisciplinaria de peritos arqueólogos y antropólogos forenses en la excavación para la localización, documentación, registro y validación; recuperación, embalaje, resguardo, cadena de custodia, y traslado de los restos y evidencia asociada (GLAAF, 2016).

Es importante delimitar áreas de trabajo (Figura 16), como mínimo un área delimitada de excavación, zona para insumos, materiales y asistencia del equipo, laboratorio de campo (y subdividida por especialidades), acordonamiento para prensa y observadores y una zona cómoda para familiares. El control de acceso deberá ser estricto y estar a cargo de policía o seguridad privada. El laboratorio de campo debe estar preparado para manejar los restos cadavéricos y óseos, áreas húmeda y seca, respectivamente. Por ello la fase de planificación es importante, ya que de la lista de personas inhumadas se puede inferir la complejidad de la diligencia. Por ejemplo, en el caso de Jojutla se pensaba en un caso cerrado, una lista de 35 personas daba cuenta de lo que se esperaba, empero se alcanzaron 85 individuos lo que salió de cualquier planeación lógica. Además, de que ese simple detalle, exhibió la mala praxis de diversas autoridades en diversos niveles de Gobierno respecto de la mala gestión en los cementerios. Con la evidencia de Tetelcingo, Jojutla en Morelos y Palo Verde, Veracruz;

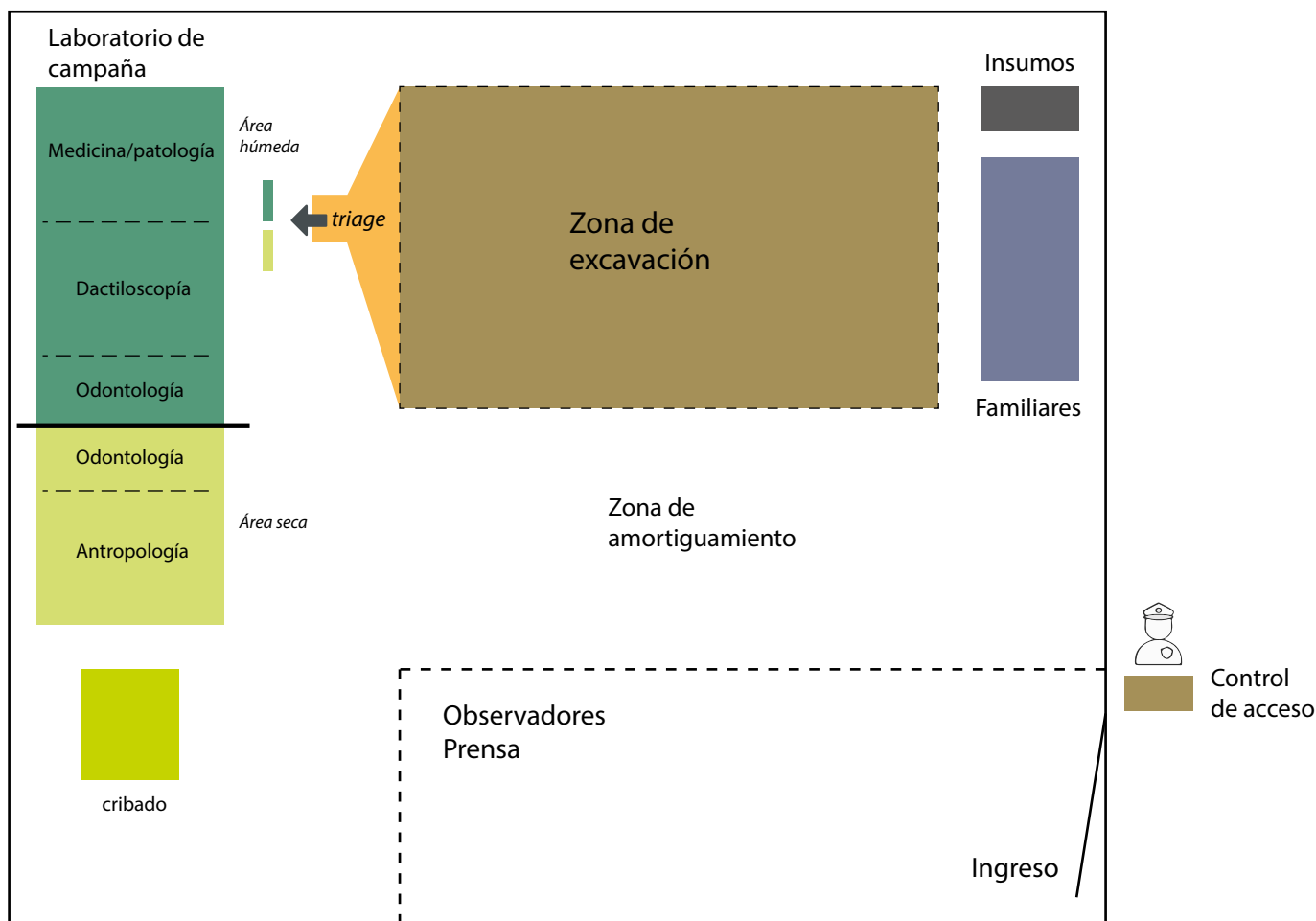


Figura 16. Propuesta de delimitación de áreas en el proceso de exhumación que incluye acordonamientos, zonas de amortiguamiento, de excavación y laboratorio de campaña. También se tiene un área específica, segura y cómoda, para que los familiares puedan concurrir a ser testigos de las diligencias.

el trabajo en fosas comunes no será un caso cerrado, sino casos mixtos por lo que sobredimensionar recursos y personal siempre será una mejor opción.

Como primer paso se debe delimitar la zona de excavación, por medio de estacas metálicas y cintas de seguridad, si es el caso. Deberá haber una zona en la que no se dé acceso a personas ajenas al proceso, únicamente profesionales, autoridades y familiares. Es recomendable tener una zona de amortiguamiento o seguridad entre la excavación y el resto del recinto (Figura 18). Una vez todo listo se realizará el primer fijado de la fosa mediante fotografía, video y planimetrías, además de tomar las coordenadas GPS.

La primera acción es retirar el estrato más superficial de material vegetal (horizonte A) que pueda tener el recinto, se debe tener extremo cuidado con restos óseos pequeños, dientes o cabello. El cribado de todo el

material debe ser realizado, se recomienda hacerlo en un área donde el viento no lleve el polvo directamente a la zona de trabajo de excavación y realizarlo sobre una lona para no combinar materiales.

Durante la excavación arqueológica se seguirá el método harrisiano de excavación por estratigrafía (Harris, 1979, 1991), que consiste en retirar los estratos en el orden inverso a su deposición y considerando los elementos interfaciales de destrucción con el fin de ordenar los eventos sucedidos en el contexto mediante la matriz de Harris (Cox et al., 2008). La elección de otro método de excavación debe ser documentado y justificado (Cox et al., 2008). Toda la excavación debe procurar el análisis *in situ* de las relaciones estratigráficas presentes y preservarlas para su documentación.

A lo largo de toda la excavación se debe realizar la toma de datos de cada elemento que sea de interés respecto de cada estrato y el mismo debe registrarse en una hoja de registro (Anexo 4). Mantener la unidad morfológica y estructural al momento de definir y exponer espacialmente los cadáveres y los elementos asociados (INMLCF, 2016).

La documentación fotográfica incluye tomas generales, de mediano acercamiento y gran acercamiento. Estas fotografías deben ir siempre acompañadas de un testigo métrico y una flecha de norte en el caso de tomarse *in situ* en campo. Además, se deberán realizar planimetrías escala 1:20 de la planta general y para fosas individualizadas en escala 1:10. Se deberá registrar todo elemento asociado que sea identificado. Aunque en fosas comunes regularmente se inhumaba con bolsas de cadáver, también es importante buscar la referencia de la carpeta de investigación de dicho cuerpo. Cuando no exista relación anatómica, evitar las asociaciones de los segmentos corporales en el terreno, sino anotar las posibles relaciones para que sean reanalizadas en laboratorio.

Dependiendo de la información de geofísica y de los datos del personal del panteón que hace las inhumaciones regulares se analizará el ocupar retroexcavadoras pequeñas o medianas. Lo anterior con la supervisión activa del arqueólogo forense. Este procedimiento podrá ahorrar tiempos y evitar generar agotamiento al personal en campaña.

Análisis macroscópico in situ

Es de suma importancia que se realice un estudio de la fosa en campo, como lo define en gran medida el cuidado con que se excavan las osamentas y se registran los datos condiciona las potencialidades y la validez de los estudios posteriores (Duday, 1978, 1981, 1987a y b; Masset, 1987; Duday et al., 1990). Tradicionalmente la arqueología realiza una interpretación de los elementos encontrados como *proxy* de procesos culturales o sociales, aquí en el caso de las fosas comunes, las interpretaciones tienen un paralelo, empero se adosa la teoría de la criminalística para darle sentido a los patrones que se encuentran en dicho contexto.

La fosa común, se entiende como un contexto controlado, como un universo cerrado y como una

escena no criminal. Empero, la situación de las fosas comunes en México establece realidades que no son las esperadas en función de estos tres supuestos generales nulos. Primero, dada su historia de poca gestión, no se espera que sea un contexto controlado, por lo menos en su mayoría. Segundo, se infiere que serán universos de intervención mixtos, con personas totalmente identificadas y no identificadas en una lista determinada, pero algunos que no estarán registrados. Tercero, el tráfico de restos humanos en México parece ser una constante; es común, escuchar la recomendación de “*ir al panteón a conseguir huesos para clases de anatomía*” o para uso ritual en santería, donde se emplea el restos humano como elemento simbólico de dichas prácticas culturales. Si bien, burocráticamente se considera una fosa común como un espacio bajo protección y gestión del Estado, las fosas comunes no tienen un estándar mínimo de operación por lo cual se debe analizar el contexto para dotar de evidencia sobre el manejo de estas, posibles negligencias y/o tráfico de restos óseos.

En este punto, se comenzará a realizar la Validación 2, que es la correspondencia de los listados del registro de persona inhumadas en fosa común con el número de cuerpos al final de la diligencia.

Recuperación

La recolección y embalaje dependerá del tipo de matriz biológica (huesos, dientes, cabellos, restos humanos), la condición general de conservación del indicio y su estado (fresco o seco/árido). En cada caso se deberá salvaguardar la integridad de cada uno de los indicios.

Los cadáveres mezclados se deben levantar y registrar teniendo en cuenta las respectivas relaciones estratigráficas y espaciales con el fin de lograr la reconstrucción contextual. Cuando no exista relación anatómica, evitar las asociaciones de los segmentos corporales en el terreno. Los segmentos corporales que se encuentren articulados anatómicamente deben ser recuperados y embalados manteniendo la unidad estructural del contexto, disponiendo de un rótulo respectivo para cada uno.

Para los restos esqueléticos, ya realizado el inventario completo y detallado, se recomienda un determinado orden de recuperación de los restos de la persona (Polo-Cerdá et al., 2018, Figura 17), asimismo

en ocasiones será imposible seguir esta secuencia por lo que se debería ser flexible. No existe evidencia y consenso sobre cómo este tipo de prácticas pudieran afectar o no a un resto o al proceso mismo de intervención, empero la sistematización del procedimiento es necesaria.

En casos de contextos mezclados, el sistema de registro debe considerar la cantidad de segmentos corporales recuperados y numerarlos consecutivamente; el mismo sistema aplica para los cuerpos de personas recuperadas como una unidad anatómica (Polo-Cerdá

et al., 2018). Este proceso no es equivalente a establecer el Número Mínimo de Individuos (NMI) en campo.

En el proceso de recuperación, no se deben realizar apreciaciones detalladas sobre el perfil biológico o las lesiones que pudieran registrar los cadáveres ni sobre los hechos, pues se pueden generar contradicciones a partir de los análisis posteriores (INMLCF, 2016).



Figura 17. Orden de recuperación de restos óseos áridos sensu Polo-Cerdá et al., (2018), es importante aclarar que este orden es para una sistematización del procedimiento, ya que lo que determinará su levantamiento es el contexto de deposición y posible mezcla de los restos de las personas encontradas en fosa comunes. Entonces, se requiere de cierta flexibilidad en el procedimiento.

En caso de que durante el proceso de excavación se ocasione alguna alteración a la evidencia, ésta debe ser documentada y reportada en el informe final.

Las siguientes prácticas (SWGANTH, 2013i) se consideran inaceptables y deben evitarse en la localización y recuperación de restos:

- Suponer que los esfuerzos de recuperación de la escena deben enfocarse solo en restos humanos, o que los restos humanos representan la única evidencia en la escena.
- Mover o alterar la evidencia potencial antes de documentarla de manera completa y adecuada.
- Agrupar o separar restos humanos y materiales asociados, a menos que sea necesario y esté completamente documentado.
- Emplear técnicas de búsqueda y recuperación innecesariamente destructivas o que consuman mucho tiempo, cuando las técnicas menos destructivas y que ahorran tiempo son igualmente efectivas.
- Actuar sin consultar a la agencia a cargo de una investigación (por ejemplo, hablar con los medios).
- Realizar actos de detección, recuperación o interpretación de restos humanos y pruebas asociadas más allá de la experiencia personal.
- Especular sobre la identificación de características de los restos, la causa y forma de muerte, o la reconstrucción de la escena de tal forma que influya en la investigación, antes de que se realice el examen completo.
- Generación de números de casos sin tener en cuenta los números de casos generados por otras agencias.
- Usar un sistema de codificación que potencialmente podría sesgar el análisis, como el uso de los designadores B (cuerpo) y BP (parte del cuerpo).

Embalaje y cadena de custodia

Todo material recuperado de la exhumación deberá ser embalado en materiales de soporte físico que no promuevan su alteración por cualquier factor (e.g. humedad, temperatura y/o agentes biológicos como bacterias y/o hongos). De preferencia, embaladas en

bolsas de papel *glassine* y cajas de cartón, siempre libres de ácido. Será elegible tener materiales como cajas de polipropileno, tyvek y foami o espuma para contener vibraciones. Igualmente, cada contenedor debe estar protegido y ser del tamaño y material adecuado para cada indicio. Se debe prestar especial atención al traslado de este y evitar poner elementos más pesados sobre aquellos que, por su naturaleza o tamaño, sean más frágiles ya que esto provocaría la fragmentación de estos con la consecuente pérdida de información relevante para el análisis.

Cadáveres. En estos casos se deberá cambiar el embalado del cuerpo de la persona por medio de bolsas para cadáver estándar rotulando en ella el número de individuo asignado y los datos de la carpeta de investigación asignada siempre y cuando este dato esté visible. Para el caso de trabajo con cadáveres se transfieren conforme sean liberados en la exhumación, al área de medicina y/o patología forense.

Restos óseos. En caso de restos óseos puede emplearse alguna caja de polipropileno, foami y tyvek para la protección del éstos (Figura 18). En su defecto una bolsa simple de papel grueso. Para un resguardo definitivo se debe pensar que todos los materiales que se ocupen deben ser libres de ácido. Todo elemento óseo recuperado debe ser embaladas y rotuladas apropiadamente para evitar su descontextualización. Especial atención y cuidado debe tenerse con los restos esqueléticos subadultos, extremando la correcta recuperación y embalaje de todos los elementos óseos.

Término de la exhumación

Para poder definir que la diligencia ha terminado, no deberá haber evidencia de que haya más cuerpos, restos de personas o materiales asociados. Se verificará si la lista de individuos exhumados corresponde con la lista proporcionada por la administración de panteones y Semefo. Además, se debe asegurar que se ha llegado a un estrato natural de suelo y dejado lo perturbado (INMLCF, 2016), esta evidencia debe quedar registrada y ser parte del informe. Después de ello se puede comenzar a rellenar la fosa, en caso de fosas cerradas, se podría dejar una constancia de excavación. Después de haber completado la tarea, se deberá documentar el final de la diligencia

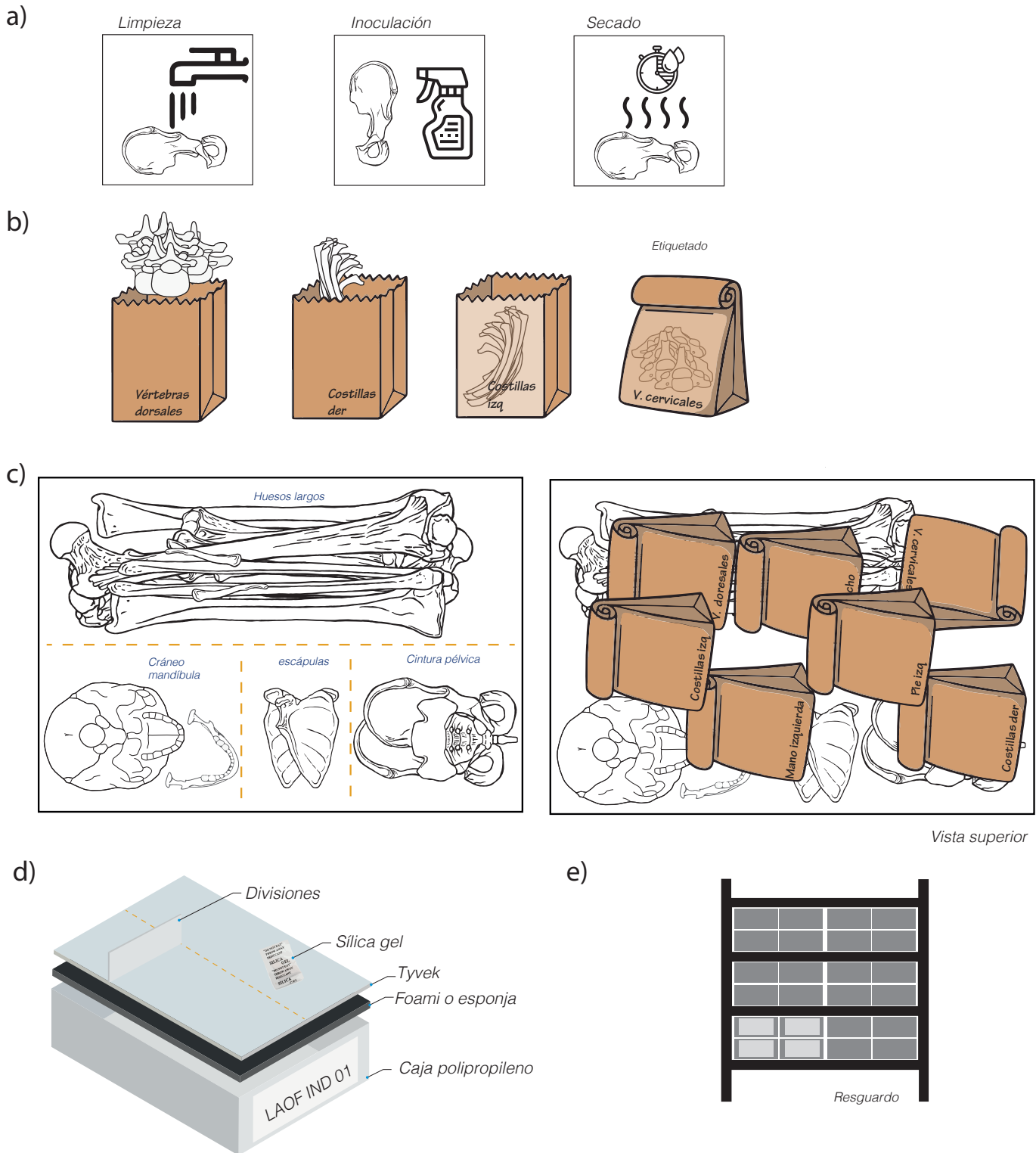


Figura 18. Secuencia de tratamiento general de restos óseos. a) Proceso de limpieza, inoculación y secado de restos óseos. Se deberá evaluar si únicamente con una limpieza con un cepillo o brocha es suficiente o se requiere del uso de agua. La inoculación puede ser requerida en la presencia de hongos. Finalmente, el secado se debe realizar en sitios adecuados a la sombra. b-c) Proceso de ordenamiento de restos óseos en cajas para su resguardo en laboratorio de campo o institucional, durante el proceso de análisis. d) configuración de la caja de polipropileno, con una capa de foami o esponja, seguido de una capa de tyvek, diversas divisiones para evitar golpes por manejo y transporte y una bolsita de sílica gel sobre todo en ambientes húmedos. e) almacenaje en anaqueles con un etiquetado estricto con normas de temperatura controlada y custodia.

Trabajo de laboratorio

Durante esta fase se generan cuatro líneas de implementación de procedimientos encaminados a realizar el análisis antropológico forense: la evaluación de la significancia médico-legal, estimación del perfil biológico, estimación del perfil individualizante y el análisis de materiales asociados (Figura 19).

El laboratorio debe tener políticas y procedimientos para controlar, administrar, identificar, recopilar, indexar, acceder, archivar, almacenar, mantener, asegurar y eliminar los registros, incluidos los archivos de casos en particular (SWGANTH, 2012e).

Las políticas y procedimientos para el control de registros deben incluir disposiciones para mantener su confidencialidad, según corresponda, y realizar copias de seguridad y proteger los registros almacenados electrónicamente contra el acceso no autorizado o enmiendas (SWGANTH, 2012e).

Además, otro de los objetivos del trabajo de laboratorio es la estricta documentación de las evidencias encontradas en los análisis, por ello, en cada una de las fases de la presente sección se debe lograr un registro exhaustivo de este, siguiendo el reporte Documentation, Reporting and Testimony (SWGANTH, 2012e), que define:

La documentación de laboratorio debe prepararse de manera sistemática y organizada que conduzca a la autenticación y verificación. La integridad y trazabilidad de notas, informes y testimonios deben mantenerse en todo momento.

La documentación del laboratorio define y regula cómo se operan y gestionan el laboratorio y sus actividades de prueba, como se ha especificado se debe seguir la filosofía de los procedimientos operativos estándar (POE). La documentación debe existir en varios medios, incluidos copia impresa, electrónica, digital, analógica, fotográfica o escrita. Las versiones actualizadas y autorizadas de los documentos deberán estar disponibles en el lugar de intervención para el funcionamiento eficaz del equipo y laboratorio, ya sea en campo o en alguna institución forense o académica (SWGANTH, 2012e). El siguiente es un listado general

de la documentación del laboratorio;

- Documentar las políticas, sistemas, programas, procedimientos e instrucciones del laboratorio en la medida necesaria para asegurar la calidad de los resultados de sus pruebas.
- Ser comunicativos, comprensibles, con disposición e implementar todo por personal apropiado.
- Establecer uniformidad y estandarización de recuperación y análisis.
- Abordar temas como el entorno laboral (prácticas de gestión, políticas de personal, etc.), procedimientos generales de laboratorio no técnicos (seguridad, protección, administración, etc.), logística y calidad. Las políticas y procedimientos de calidad pueden formar una subsección del manual de laboratorio o pueden tratarse en un documento separado conocido como manual de calidad.
- Definir términos, nomenclatura, siglas, abreviaturas y jerga específicos del laboratorio.

Logística

Esta parte del trabajo implica la toma de decisión sobre el traslado o la implementación de un laboratorio de campo. La presencia de cadáveres en diferentes grados de conservación puede dificultar el flujo de trabajo de la medicina y patología forense, por ello será una decisión científica del responsable de medicina forense, ya que esto implica la evaluación de la capacidad técnica del montaje de un laboratorio a campo o trasladar todos los restos al Semefo, y procesarlos en cada institución con toda la infraestructura requerida.

Para el caso de restos óseos áridos el trabajo de laboratorio en campo es muy viable. Independientemente de ello, el grupo de trabajo en arqueología y antropología forense montará un pequeño laboratorio para la recepción, procesamiento y análisis de restos.

El análisis antropológico forense implica el estudio de restos óseos humanos y cadáveres en distintos estados de preservación con fines, entre otras cosas, de corroboración de identidad. Este trabajo se realiza aplicando el método científico y técnicas inductivo-deductivas y comparativas (GLAAF, 2016).

Significancia médico legal

Análisis preliminar

Se debe realizar una documentación inicial de los indicios y los materiales asociados, mediante la revisión primaria de la cadena de custodia, realizando fotografía y videograbación de cada uno de los elementos entregados en laboratorio. Este paso está enfocado, cuando el laboratorio no está dentro del área de intervención y que tuvo que llevarse a cabo un traslado. Este es un punto determinante para garantizar la integridad de los indicios desde campo al laboratorio, debe ser registrado de manera exhaustiva. Aquí se realiza un proceso de verificación 2, que consiste en la verificación de que todos los materiales de campo estén completo y no exista inconsistencia alguna. Cualquier inconsistencia debe ser integrada como parte de los resultados del análisis y debe reportado al fiscal, juez y/o autoridad pertinente.

Luego, se debe realizar una evaluación generalizada del estado de conservación y condición general de los indicios:

- Con presencia de tejido blando en diferentes condiciones (momificado, saponificado, corificado, esqueletizado con putrúlagu húmedo o con putrúlagu seco). Estos restos requieren que el laboratorio tenga áreas especiales para el trabajo de elementos con descomposición.
- Totalmente esqueletizado, estos serían los restos que podrían trabajarse en un laboratorio acondicionado para trabajar restos sin presencia de tejido blando.
- Mixto. Se observarán características mezcladas de los dos estados anteriores.

La condición en la que se encuentran los restos puede ser:

- Completos.
- Incompletos con diferentes secciones representadas.
- Mezclados.
- Fragmentados y mezclados
- Quemados

Las categorías antes descritas no son excluyentes, por lo que se puede encontrar contextos en los cuales estén presentes individuos esqueletizados, mezclados y quemados. En el caso de las fosas comunes existe una alta probabilidad de encontrar todo el rango de conservación y condiciones descritas.

Limpieza de materiales

La preparación de los materiales para análisis, óseos y asociados, es de mucha importancia y requerirá quizás la asesoría de un profesional de la restauración para delimitar la mejor intervención. Dado el diagnóstico realizado sobre la conservación y condición de los materiales es que se podrá realizar una limpieza general de los restos con una perspectiva de mínima alteración, empleando algún cepillo de cerdas suaves se puede retirar la mayor cantidad de sustrato que restos óseos o materiales asociados puedan tener. En algunos casos se requerirá la remoción de tejido o putrúlagu, lo que deberá realizarse en medios controlados y empleando únicamente agua (GLAAF, 2016).

Procesamiento

Esta fase implica la determinación de la naturaleza de los materiales recuperados o en análisis (hueso u otro material), determinación de la especie (humano de otros animales), orden e inventariados de huesos humanos y determinación del número mínimo de individuos. Se recomienda seguir lo estipulado en el documento *Determination of Medicolegal Significance del Scientific Working Group for Forensic Anthropology* (SWGANTH, 2013e).

En esta fase, por medio de formatos estándar de laboratorio se realiza el inventario de todos los indicios, empleando esquemas anatómicos y tablas de frecuencias. Además, se registra de manera generalizada los restos, en varias vistas y detalles de aquellos registros de importancia para la identificación.

En este caso se ha incluido la posible intervención de algún especialista de zooarqueología o anatomista animal para el reconocimiento de especies de animales, sobre todo en ellos que sean fragmentarios.

Además, el protocolo también incluye el análisis de alteraciones tafonómicas, según el SWGANTH,

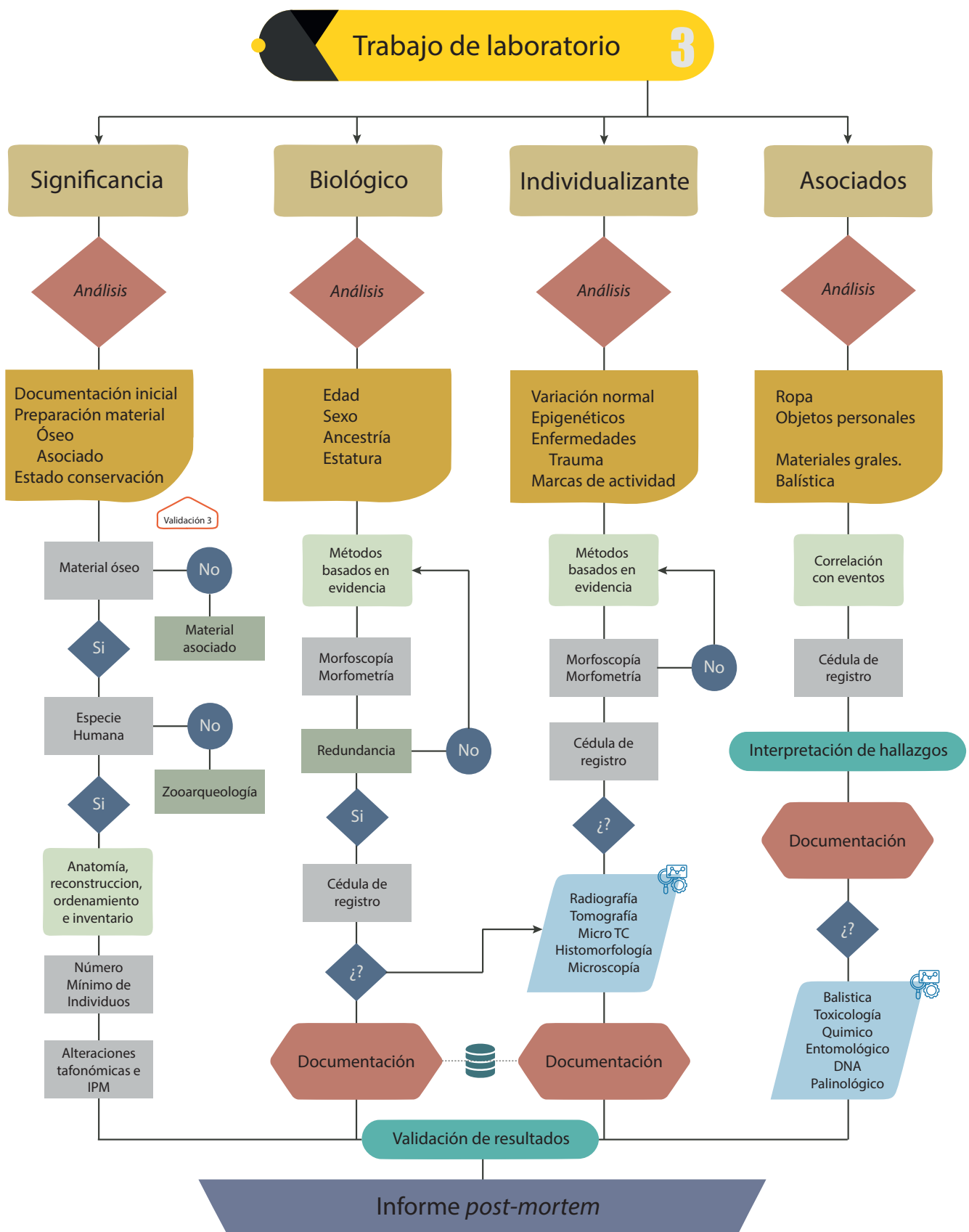


Figura 19. Algoritmo del proceso de Trabajo de Laboratorio o Investigación Antropológica Forense que implica cuatro fases: a) significancia médico-legal, b) estimación del perfil biológico, c) estimación del perfil individualizante y d) análisis de elementos asociados. El resultado final es un informe colegiado.

(2013b) “la identificación e interpretación correcta de las alteraciones tafonómicas de restos humanos puede ayudar con la reconstrucción de eventos post mortem y la estimación del intervalo post mortem (PMI; también conocido como tiempo desde la muerte, TSD). Un examen completo y sistemático de la evidencia es esencial para la identificación de características tafonómicas, registrar su presencia e interpretar su significado.”

La tafonomía forense se enfoca en comprender y documentar los diversos procesos *postmortem* asociados con la descomposición, así como aquellos procesos (tanto naturales como culturales o intencionales) que interactúan con el tejido duro y la evidencia asociada. Luego entonces, los antropólogos forenses pueden contribuir a la estimación del PMI en cualquier etapa del proceso de descomposición, pero también a diferenciar los eventos *postmortem* de los eventos *antemortem* y *perimortem*, todo ello dentro del marco de la determinación de la trascendencia médico-legal.

Las alteraciones que un forense puede registrar son procesos tafonómicos que tienen una amplia gama de efectos observables sobre la evidencia, tanto en tejidos blandos como duros (SWGANTH, 2013a). De manera general se pueden considerar los siguientes:

1. Agentes y efectos abióticos como:

Meteorización.

Mecánico / físico.

Transporte coluvial / fluvial / eólico (rodamiento, etc.).

Ciclos de congelación / descongelación.

Blanqueamiento solar, etc.

Químico.

Pedogénico / subsuperficial.

Envejecimiento químico superficial.

Daños químicos severos relacionados con la erosión del tejido cortical (ácidos o bases).

Eventos térmicos, como:

Marcas de hollín o humo.

Huesos o dientes calcinados.

Evidencia no biológica derretida o quemada.

2. Agentes y eventos bióticos como:

Procesos de descomposición.

Autólisis.

Putrefacción.

Roedores, carnívoros u otros carroñeros (es decir, royendo, masticando, etc.).

Vertebrados acuáticos / invertebrados / corales, etc.

Pisoteo.

Insecto / actividad animal.

Grabado y destrucción de raíces.

3. Efectos antropogénicos como:

Cráneos trofeo (por ejemplo, pintura, tallas, cera, etc.).

Muestras anatómicas.

Cremación.

Prácticas religiosas (Santería, Palo Mayombe, Moncado, etc.).

Mutilación intencionada.

Daño accidental causado durante la excavación de recuperación (herramienta de excavación marcas, equipo mecánico de excavación, etc.).

Respecto del intervalo *postmortem*, existen una gran diversidad de sistemas de descomposición descriptiva, estos son una serie de fases para describir y clasificar el proceso (momento) de descomposición (es de importancia decir que tratándose de una fosa común, con cuerpos de personas que han pasado por un tratamiento médico-legal, el proceso de descomposición no será equivalente al de un cuerpo en una escena del crimen o contexto de hallazgo, como en fosas clandestinas). Al ser la descomposición un modelo complejo, existe un rango amplio de variabilidad respecto de este proceso según el contexto ambiental y de descomposición diferente. Por ello, se recomienda una descripción de la condición del resto o cuerpo de la persona, y hacer referencia a su estado de descomposición y/o su puntuación corporal total. La

elección del método más apropiado debe ser basado en evidencia y considerar entornos físicos y deposicionales similares. Algunas de las variables a considerar en la evaluación del PMI deberían ser (sensu SWGANTH, 2013b):

1. Características ecológicas y pedológicas:

Terrestre exterior.

Temperatura y humedad.

Sustrato del entierro, profundidad del entierro, ecosistema (p. Ej., Pastos, parques, arbolado), contenido de oxígeno, etc.

Suelos: tipo, textura, contenido de humedad, química (es decir, C, N, P, pH, conductividad, etc.).

Sombra, sol, elevación.

Observaciones meteorológicas y estacionales (por ejemplo, humedad; temperatura diaria máxima / mínima, precipitaciones, etc.).

Actividad de insectos y carroñeros.

Terrestre interior.

Ubicación: (por ejemplo, granero, casa - piso alfombrado o duro, automóvil, etc.).

Temperatura y humedad.

Actividad de insectos y carroñeros.

Acuático (por ejemplo, arroyo, pantano, río, lago, océano, etc.).

pH, temperatura, profundidad del agua.

Población de descomponedores. potenciales.

2. Estimaciones de edad, tamaño corporal.

3. Estado físico de los restos, incluida vestimenta y traumatismos.

4. Las modificaciones culturales pueden incluir:

Mutilaciones intencionales.

Daños no intencionales, como metodología de excavación manual o maquinaria utilizada. durante las operaciones de recuperación.

Estimación del perfil biológico

Esta fase implica la evaluación y estimación de edad, sexo, ancestría biogeográfica y estatura:

Edad: Esta estimación se realiza dentro de un intervalo y no es un cálculo exacto. Es más, cuanto mayor sea el individuo mayor será el intervalo. Se deben evaluar varios indicadores como son: el desarrollo de la dentadura, la longitud de los huesos largos y el aspecto y fusión de la epífisis a edades tempranas; y en etapas posteriores del desarrollo se evalúan la sínfisis púbica y la morfología del extremo esternal de la cuarta costilla (SWGANTH, 2013h). En la medida de lo posible se deben usar los estándares más apropiados para la ancestría de los restos que se están analizando.

Sexo: El dimorfismo sexual en el esqueleto humano se aprecia después de la pubertad, así que antes de este periodo la estimación del sexo es complicada. En individuos de mayor edad se puede identificar el sexo valorando morfológicamente las características de la pelvis y el cráneo y también se pueden aplicar evaluaciones métricas de los huesos largos y las superficies articulares. Siempre que sea posible la estimación del sexo se debe hacer utilizando tanto métodos de definición de variables morfológicas como variables métricas (craneales y postcraneales) y se deben utilizar, si es que existen, estándares específicos para la población con la que se está trabajando (OSAC, 2019, SWGANTH, 2010a). La estimación del sexo debe ser reportada como femenino, masculino, probable femenino, probable masculino o indeterminado (OSAC, 2019). En el caso de los individuos subadultos no se recomienda realizar una estimación del sexo ya que no hay ningún método válido publicado (SWGANTH, 2010a).

Ancestría biogeográfica: este aspecto hace referencia a la posible región geográfica o el origen ancestral de un determinado resto, es decir la posible pertenencia a un grupo de población. Para ello se evalúan ciertos rasgos específicos del esqueleto, principalmente del cráneo. Estos rasgos, que pueden ser métricos o no métricos, pueden ser usados para estimar la ancestría siempre que cumplan tres puntos importantes: 1) se cuente con grupos de referencia apropiados, 2) los rasgos estén descritos claramente

y 3) se utilicen métodos estadísticos apropiados de clasificación (SWGANTH, 2013g).

Estatura: para ello se deben realizar mediciones de los huesos largos de las extremidades superiores e inferiores, y aplicando una fórmula de regresión al resultado a partir de la cual podremos obtener un intervalo de estatura. También se pueden medir, junto con los huesos largos, la altura del cráneo y la columna vertebral, en este método será necesario realizar las correcciones pertinentes por la falta de tejido blando. Un aspecto importante en este punto es que se debe contar con información sobre el sexo y la ancestría del individuo con la finalidad de poder usar la tabla de referencia correcta para el análisis. Se debe de tener especial cuidado a la hora de estimar la estatura en individuos subadultos ya que no hay una gran referencia de estándares publicados con respecto a este tema (SWGANTH, 2012a).

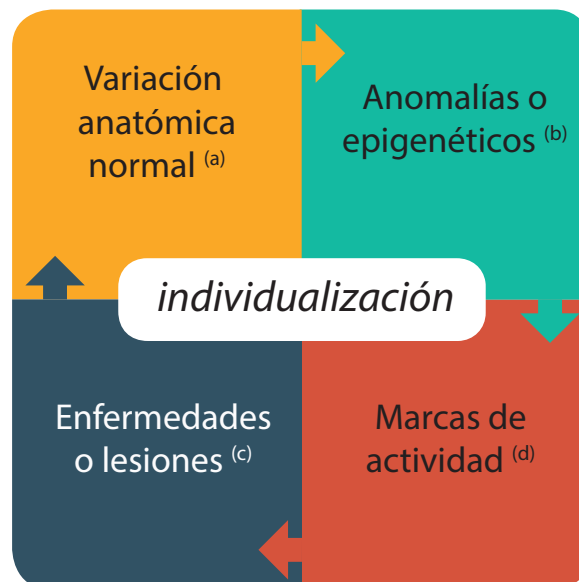


Figura 20. Esquema de los rasgos a evaluar en el proceso de individualización en la construcción de un perfil individualizante.

En cada caso se debe realizar un registro detallado del método empleado y los resultados obtenidos, ello se realiza por medio de cédulas de registro estándar que todo laboratorio dentro de sus procedimientos operativos estándar (POE), debe tener. Es importante la documentación fotográfica de los caracteres evaluados y su sustento estadístico.

En este punto es necesaria la evaluación de pruebas complementarias para la estima de alguno de los rubros del perfil biológico (e.g. radiografía, tomografía, microCT, etc.), ello puede implicar convocar a otros especialistas al trabajo conjunto o solicitar peritajes.

Estimación del perfil individualizante

La creación del perfil individualizante (Gibelli et al., 2016) conlleva el análisis de ciertos aspectos que pueden ayudar a construir un patrón de características únicas en el cuerpo de la persona (restos óseos o cadáver en estado avanzado de descomposición) para, en el marco de un método, poder realizar una identificación en la parte subsecuente del análisis. Esta parte incluye cuatro aspectos a evaluar *sensu* Christensen et al., (2012): a) rasgos de variación anatómica normal, b) anomalías o epigenéticas, c) patrón. de enfermedades (lesiones generales y trauma), d) patrón de marcas de actividad (Figura 20).

Cada particularidad del esqueleto de una persona es documentada con fines de identificación: traumas óseos, implantes quirúrgicos, anomalías anatómicas y procesos patológicos, con la ayuda de la radiografía comparativa (Kahana and Hiss, 1997; SWGANTH, 2010c, 2012d; Ciaffi et al., 2011).

La variación esquelética normal (a) se refiere al rango de expresión morfológica que se observa comúnmente en varias regiones esqueléticas. Ejemplos de variación normal incluyen diferencias en las formas de los senos paranasales, patrones de sutura craneal, patrón de hueso trabecular y contornos de hueso externo. Todas estas características y características están presentes en la anatomía ósea normal, pero muestran diferencias pequeñas pero significativas entre diferentes personas. Debido a que estas características están presentes en casi todos y debido a que tienden a mostrar mucha variación individual, a menudo se estudian por su potencial para facilitar la identificación personal (Christensen et al., 2012).

Por otro lado, las anomalías anatómicas (b) se refieren a variantes en el esqueleto que suelen ser de origen epigenético o congénito que pueden ser usadas para la identificación y que pueden o no tener importancia clínica. Estas son (SWGANTH, 2010c, 2012d; Christensen et al., 2012):

- Huesos accesorios (e.g., hueso wormianos, hueso epactal, sesamoideos).
- Huesos bipartitos (e.g., rótula bipartita).
- Septo esternal.
- Costillas bífidas o supernumerarias.
- Variaciones en la morfología vertebral.
- Características prominentes (e.g., gonion evertido, barbilla bilobada, características faciales muy desarrolladas o muy poco desarrolladas).
- Asimetría craneal no cultural (e.g., escafocefalia).
- Anomalías dentales (e.g., dientes supernumerarios, raíces extra, agenesia dental).
- Polidactilia.

El estudio de las condiciones de enfermedad (c) debe ser llevado a cabo de manera sistemática y siempre acompañado de un diagnóstico diferencial. Dentro de las condiciones patológicas y lesiones se engloban (Christensen et al., 2012; SWGANTH, 2012d):

- Infecciones crónicas (e.g. tuberculosis, osteomielitis).
- Desórdenes metabólicos (e.g. hiperostosis porótica, osteoporosis).
- Neoplasias (e.g., tumores)
- Anomalías congénitas (e.g., espina bífida)
- Patologías vasculares o circulatorias (e.g., aneurisma).
- Patologías articulares degenerativas (e.g., osteoartritis).

En el caso del análisis de trauma (c) se evalúa desde dos perspectivas, la primera aquí presentada es la de individualización, es decir el trauma como un patrón de lesiones único en una persona, que podría ser motivo de identificación personal; y segunda, será imprescindible determinar el tiempo (*antemortem*, *postmortem* o *perimortem*) y mecanismo que produjo el trauma (proyectil, contundente, corto-contundente, térmico) ya que puede ser relevante a la hora de hablar de las circunstancias de la muerte. La documentación debe incluir el texto descriptivo, diagramas y

radiografías. Además, también debe estar presente la localización y características del trauma que deben ser referidas usando términos anatómicos aceptados ampliamente por la comunidad científica (Baraybar, 2008, 2015; Kimmerle and Baraybar, 2008b; a; Ortner, 2008; SWGANTH, 2011a).

Finalmente, respecto de las marcas de actividad (d), se trata de tensiones mecánicas repetidas sobre el esqueleto pueden hacer que los huesos adapten su morfología en respuesta a estas tensiones. Estas adaptaciones a veces se denominan “marcadores de estrés ocupacional” o “marcadores ocupacionales”, en referencia a sus orígenes y a menudo resultan de actividades físicas relacionadas con el trabajo. Sin embargo, cualquier estrés esquelético repetitivo puede producir cambios en la morfología, incluidos los relacionados con actividades recreativas repetitivas u otras tareas o acciones frecuentes. Debido a los muchos tipos diferentes de actividades que resultan en adaptaciones y modificaciones esqueléticas, no es aconsejable atribuir una condición particular a una ocupación particular en el trabajo de casos antropológico forense (Christensen et al., 2012; SWGANTH, 2012d). Todas estas características deben ser descritas y fotografiadas y la terminología usada debe ser consistente con los datos disponibles.

Los métodos empleados para la estimación del perfil individualizante deben apegarse a un modelo basado en evidencia y de preferencia combinar acercamientos morfoscópicos y morfométricos (enfoque holista), lo que permitirá robustecer los resultados. Como en el caso del perfil biológico, se debe generar un registro detallado a través de cédulas específicas.

Finalmente, como se señaló en el inicio de esta sección, es de suma importancia la evaluación del empleo de técnicas complementarias, principalmente, la radiología forense o imagenología forense (Brogdon, 1998; Thali et al., 2003; Rogers and Allard, 2004; Baglivo et al., 2013; Christensen et al., 2014) o la derivación de material a peritajes especializados de otras disciplinas (p. ej. balística, entomología, etc.). De la revisión de los restos óseos es posible y frecuente que el perito requiera de diversos estudios complementarios para diagnosticar alguno de los parámetros del perfil biológico y/o individualizante, los más comunes son radiografías, tomografías o microtomografías (e.g. Angyal and Dérzy, 1998; Brogdon, 1998; Thali et al., 2005;

Christensen et al., 2014; Jalalzadeh et al., 2015). Aunque también puede necesitarse escaneos de superficie para la obtención de modelo 3D, análisis de histomorfología (e.g. Urbanová and Novotný, 2005; Pavón et al., 2010; Goliath et al., 2016), análisis genéticos específicos (e.g. Claes et al., 2014), análisis de C14 (Ubelaker, 2014; Buchholz et al., 2017; Cha et al., 2018; Gil-Chavarría et al., 2020), entre otros. Se requiere que la autoridad facilite y apremie a la realización de estos para elevar la confiabilidad de la prueba.

Análisis de materiales o evidencia asociada

Una parte importante del análisis antropológico es la revisión exhaustiva de todo material biológico y no biológico asociado al contexto de deposición de los restos. Los elementos recuperados son sometidos a estudios específicos con el objetivo de estimar, determinar e interpretar evidencia forense en datos *postmortem* que aporte a la identificación de las víctimas y la determinación de la manera y causa de la muerte y, de este modo, contribuir con la reconstrucción de los hechos (CICR, 2017), incluso dar evidencia sobre alguna intencionalidad o aportar rastros de material genético del perpetrador. Según la GLAAF, (2016), se debe realizar un análisis del material no biológico asociado, lo que incluye la ropa y efectos personales presentes, así como, la documentación de evidencia balística u otros elementos. Para realizar una interpretación de los hallazgos en el material biológico y su eventual correlación con hallazgos en la evidencia no biológica asociada (e.g. proyectil recuperado in situ en la fosa, en relación con orificio observado en la ropa y con lesiones traumáticas observables en los restos humanos analizados). Se debe documentar como mínimo una vista general y de detalle de las prendas de vestir, así como de orificios que puedan estar asociados con lesiones peri mortem. Además, de una vista general y de detalle de los elementos asociados (documentos, proyectiles, etc.). Algunos casos de tortura se han podido evidenciar a través del análisis de evidencia asociada, por ejemplo, ataduras de manos, vendajes, prendas con rastros de impactos de proyectiles, sondas, inyecciones de insulina, etc. Todo ello podría ayudar a tipificar la intencionalidad del evento (ver Kimmerle y Baraybar, 2008).

Como se ha insistido, el proceso debe quedar registrado por medio de cédulas específicas, la parte

más importante aquí es la correlación de eventos y la interpretación de los hallazgos lo que permitirá, previa documentación, la construcción de un caso para identificación o causa probable de muerte.

Finalmente, es necesaria la evaluación de estudios complementarios sobre materiales asociados, por ejemplo, balística, toxicología, entomología, genética o palinología, por citar algunos ejemplos.

Validación de resultados

Todos los resultados obtenidos en el proceso de análisis y documentación deberán ser sometido a un proceso de validación por el responsable del proyecto antes de su integración y entrega en el informe final *postmortem* o informe de trabajo de laboratorio. Respecto de este punto el SWGANTH, (2012c), llama a la reflexión sobre la necesidad de un proceso de prueba de competencias como una forma de garantizar la calidad del proceso realizado. Si bien las pruebas de aptitud se pueden utilizar para evaluar la aptitud individual, su propósito más amplio es verificar que las operaciones analíticas forenses de un laboratorio sean efectivas y que se mantenga la calidad del trabajo. La validación de resultados entonces se presenta como una forma de verificación de la calidad de las operaciones realizadas respecto de los cuatro ejes aquí planteados, enfocadas en:

- Detectar ambigüedades, deficiencias u otros problemas con los procedimientos operativos estándar (POE).
- Problemas con el equipo y los programas de mantenimiento, calibración y verificación del rendimiento del equipo.
- Inestabilidad de los materiales de examen.
- Problemas con los métodos.
- Lagunas en los programas de capacitación (intralaboratorio o equipo).

Así, la presente etapa permitirá eliminar profundamente cualquier factor de error que pudiera existir en los procedimientos realizados, elevando la calidad de éstos y permitiendo robustecer el trabajo forense en laboratorio.

Identificación humana

La identificación forense implica reconocer si un individuo dubitado, cadáver o resto humano es la persona que se supone o se busca, a partir de rasgos únicos. Se trata de un proceso comparativo, sistemático y ordenado que involucra toda la información disponible aplicando métodos de identificación personal para la evaluación de la probabilidad de identidad de una persona o resto (GLAAF 2016).

La identificación comparativa del individuo se realiza si se tiene toda la información *antemortem* (AM) recuperada durante la investigación preliminar, que denominaremos datos de **historia de vida** (Figura 21). Esta será comparada con la llamada información *postmortem*, denominando a este proceso Cotejo de datos *antemortem-postmortem* (Cotejo DAM-DPM). En este punto se requiere de toda la información *postmortem* resultado del proceso de análisis antropológico forense de laboratorio.

Se consideran datos AM toda aquella información de carácter biológico sobre la víctima, esta información incluye sexo, edad, estatura, lugar de origen, características dentales, fracturas y patologías que dejan una marca en el hueso. Actualmente se han incluido datos que hacen referencia a las vestimentas y efectos personales en cuestión, así como el contexto del caso (EAAF, 2020).

Esta información puede ser obtenida de dos maneras; una a través de los registros médicos del individuo (historial médico, radiografías, TAC, etc.) o a través de las entrevistas realizadas tanto a familiares como amigos o conocidos de la víctima.

Según el folleto identificación forense de restos humanos del CICR, (2014):

cuanto mayor sea el número de concordancias entre los DAM y los DPM, tanto mayor será la probabilidad de que los restos efectivamente correspondan a la persona buscada. Si las únicas concordancias entre los DAM y los DPM corresponden a información general, es muy probable que numerosos desaparecidos «concurden» con los restos humanos no identificados. Pero, lógicamente, sólo puede haber una única concordancia auténtica. Las

concordancias fortuitas son muy comunes y causan problemas cuando, por ejemplo, muchas de las personas desaparecidas son soldados desaparecidos en acción, o si han desaparecido numerosas personas

Una confronta no se puede considerar como definitiva si no tiene una comparación con una base de datos de referencia, por ello la importancia de la generación de bases de datos para diversos fenotipos. Cuando se realizan análisis osteológicos que conllevan la toma de medidas para ser integradas en bases de datos, se recomienda utilizar aquellas bases que contienen valores específicos para la población mexicana. Esto no siempre es posible debido a que son pocos los estudios que existen que refieran a colecciones de referencia que tengan estas características específicas de la población.

Método de identificación personal

Durante el proceso de identificación humana es recomendable que se incluya un método holístico (ver como ejemplo FISWG, 2018) donde se integren dos fuentes de análisis por lo menos, métodos cualitativos (visual o morfoscópicos) y cuantitativo (métrico o morfogeométrico) para determinar la identificación. Esto también cumple con la característica de ser redundante, lo que asegura que el resultado sea robusto.

Método estadístico

El análisis de datos estadísticos debe usarse junto con descripciones cualitativas en el trabajo de casos. Los procedimientos, cálculos y pruebas estadísticos deben realizarse de manera apropiada y organizada, y deben estar documentados para permitir la interpretación, reproducción y verificación por parte de partes independientes (SWGANTH, 2012b). La estadística se utiliza en antropología forense para informar inferencias científicas a través de la recopilación, organización, análisis e interpretación de datos. Como tal, estas pautas de mejores prácticas se aplican tanto a la formulación de métodos de antropología forense (investigación básica) como en su uso aplicado en el trabajo de casos forenses. En estas áreas aplicadas pueden incluir la estimación de estatura y edad, clasificación de sexo y ascendencia e identificación personal.

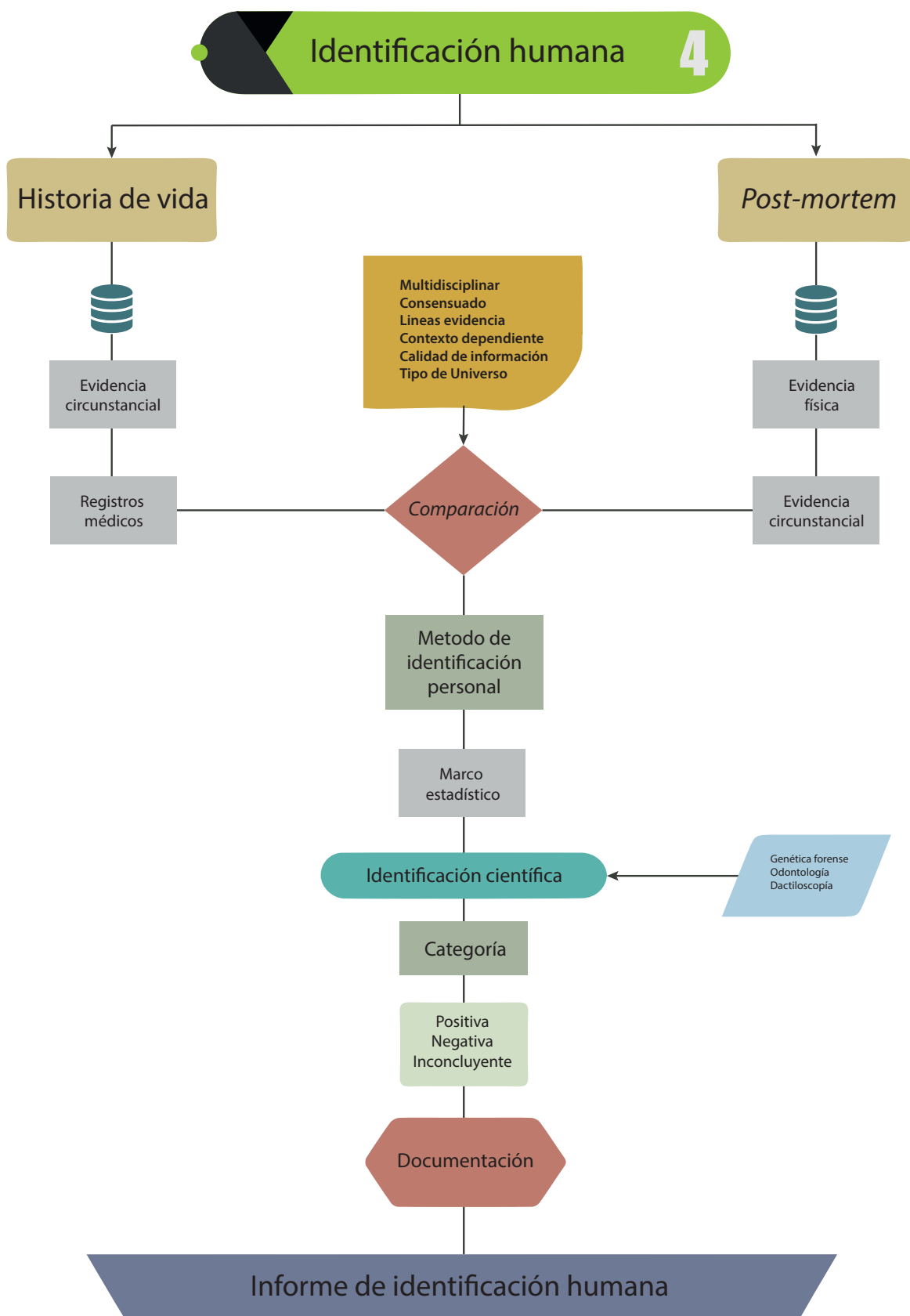


Figura 21. Algoritmo de identificación humana donde se contrasta información de historia de vida y *postmortem* o datos de peritaje para lograr una categoría de identificación. Es un proceso integral que requiere del análisis comparativo de información en un marco estadístico robusto.

Se recomienda el uso de dos técnicas de estadística para validar el resultado, y evitar el error estadístico tipo 1 y 2. Por ejemplo, el uso de componentes principales como un modelo de biodistancia y un análisis de conglomerado como modelo de agrupación.

Las siguientes prácticas se consideran inaceptables y deben evitarse (SWGANTH, 2010c):

- Utilizar procedimientos estadísticos para aplicar e interpretar los resultados que el perito no comprende suficientemente.
- Aceptar acríticamente los resultados de una única prueba estadística como una verdad fundamental.
- Emplear valores críticos convencionales como protocolo de decisión para aceptar o rechazar hipótesis.
- Usar el valor p como indicador de la fuerza de un efecto o prueba de una diferencia significativa.
- Aceptación ciega de los resultados estadísticos sin tener en cuenta su importancia clínica o práctica.
- Uso de múltiples pruebas univariadas sin preocuparse por una mayor frecuencia de errores de tipo I.
- Uso de muestras de referencia con poca aplicabilidad al caso en cuestión (es decir, no son representativas).
- Formulación *ad hoc* de probabilidades *a priori* cuando se utiliza estadística bayesiana.
- Informe de estimaciones puntuales sin intervalos de predicción explícitos.
- Usar la tasa de clasificación correcta como indicador principal del rendimiento del método sin tener en cuenta los valores predictivos positivos o negativos.
- Aplicación de múltiples métodos sin priorización de confiabilidad, validez y valor probatorio.

El proceso de identificación humana es integral y debe ser extendido a otros dictámenes disponibles para elevar la probabilidad de positividad. El cotejo realizado delimita la metodología, los intervalos de confianza y la categoría de identificación final. Se debe recordar que el proceso de identificación debe ser conservador, por ende, cualquier inconsistencia debe ser tomada como limitante y excluir la prueba.

Categorías de identificación

Estas categorías de identificación se corresponden con las propuestas que en la GLAAF, (2016), se definen:

Identificación: La información preliminar disponible y los datos ante mortem y post mortem coinciden con bastante detalle y son suficientemente individualizantes, para concluir que se trata del mismo individuo excluyendo cualquier otra posibilidad. Adicionalmente, la información analizada no presenta inconsistencias inexplicables.

Exclusión: Los datos ante mortem y post mortem son claramente inconsistentes; presentan discrepancias absolutas inexplicables, por lo cual se excluye, más allá de toda duda razonable, que los restos pertenezcan a la persona buscada.

Inconcluyente: La información contextual y la evidencia ante mortem y post mortem son insuficientes en calidad y cantidad para hacer una comparación, o los resultados de la comparación no son lo suficientemente contundentes e individualizantes. Por lo tanto, la identidad de la persona no puede ser confirmada ni excluida, por lo que se recomiendan investigaciones o estudios adicionales.

El enfoque de la identificación debe ser, en la medida de lo posible, multidisciplinario y consensuado, con un flujo de comunicación constante con las autoridades competentes (GLAAF, 2016).. Debe involucrar la participación de diversas disciplinas y el trabajo en equipo. Se recomienda la figura de un coordinador de identificación que integre y dé seguimiento a los resultados parciales de las distintas disciplinas (GLAAF, 2016), quien también deberá realizar la validación con el responsable del laboratorio para finalmente integrarse en un informe de identificación humana.

Al ser este el proceso de suma importancia para los familiares la comunicación del proceso de identificación y los resultados deben ser comunicados a los familiares de manera prioritaria, recibir contención psicológica y seguimiento en el proceso.

Informe integrado

La integración del informe pericial integrado (Figura 22) es la herramienta de comunicación y formalización de los resultados de la investigación científica producida en las distintas etapas del proceso de investigación forense realizada. La especificidad del informe a presentar dependerá del requerimiento de las autoridades solicitantes, como de las tareas desarrolladas por el experto forense (GLAAF, 2016). El proceso de identificación y las investigaciones forenses se determinan en función de las particularidades de cada caso. Se debe tener en cuenta que cuando solo se interviene en algunas de las fases de la investigación, esta debe ajustarse a una teoría integral de la resolución del caso y al proceso de identificación. El Programa Nacional de Exhumaciones deberá tener una base de datos con los dictámenes de intervención realizada en cada fosa común lo que permitirá su evaluación continua, lo que permitirá la reproducibilidad.

Se recomienda seguir el modelo de informe integrado que presenta la Guía práctica para la recuperación y análisis de restos humanos en contextos de violaciones a los derechos humanos e infracciones contra el derecho internacional humanitario del CICR, (2017), el cuál integra los dictámenes (esto además de aquellos dictámenes complementarios, por ejemplo en materia de genética forense, que en casos de restos mezclados, osarios o cuerpos de personas no registradas en archivos serán de mucha utilidad):

1. Informe antropológico social,
2. Informe arqueológico forense,
3. Informe de antropología forense,
4. Informe de odontología forense,
5. Protocolo de necropsia.

Adecuado al caso de panteones, se tendrían: 1) Diagnostico Integral de Panteones, 2) Informe Arqueológico, 3) Informe *postmortem* o de laboratorio, 4) Informe de identificación y, aunque opcionalmente, 5) Informe antropológico. Además, se deben incluir los informes de otras pruebas periciales realizadas. Es importante que todos los informes tengan una

congruencia para con el objetivo de la intervención, que en este caso es el Plan Nacional de Exhumaciones para la gestión de panteones respecto de las personas no identificadas y no reclamadas, así como osarios y/o nichos.

Es indispensable que se detalle, todo el flujo de trabajo estadístico empleado, validación de datos, imputación, análisis, pruebas elegidas, error del método, error de medición, *software* utilizado con versión, etc.; para que cualquier peritaje sea reproducible. El informe integrado es la colección de especialidades y que cada uno tenga una conclusión particular permite una mejor lectura por los operadores de Justicia, e incluso puede ser mejor comunicado a familiares. No se debe olvidar que cualquier comunicación a familiares debe realizarse con asesoría de psicólogos especializados.

Entrega/restitución de restos a familiares y/o destino temporal de los restos (resguardo y protección).

Dentro de la aplicación de la presente guía se intenta dar una ruta generalizada para la gestión integral de panteones en el contexto del PNex (Figura 23). En la emergencia forense que acontece en México, se ha abusado del discurso centrado y priorizado en la identificación humana positiva de la mayor cantidad de personas, sin embargo, es importante puntualizar que esto es apenas una parte ínfima de un proceso mayor.

Primero, hay que contextualizar que el universo de búsqueda en cementerios es de una enorme dimensión, los datos de INEGI sobre fosas comunes publicados en 2020, dan cuenta de ello: existen 6,069 fosas activas y más de 10,804 fosas cerradas. En un escenario hipotético una persona por fosa, se tendrían que realizar la recuperación de 16,873 cuerpos de personas. Claro es que esta proyección es totalmente errónea, pero permite dimensionar el problema de las fosas comunes en México y el porqué de la exigencia de colectivos de familiares para que estuviera dentro de la Ley General en Materia de Desaparición Forzada de Personas, aunque no se delimita sus perspectivas y alcances.

Segundo, si bien en numerosos discursos y trabajos académicos se ha centrado la idea de que la praxis de la antropología forense es la identificación,

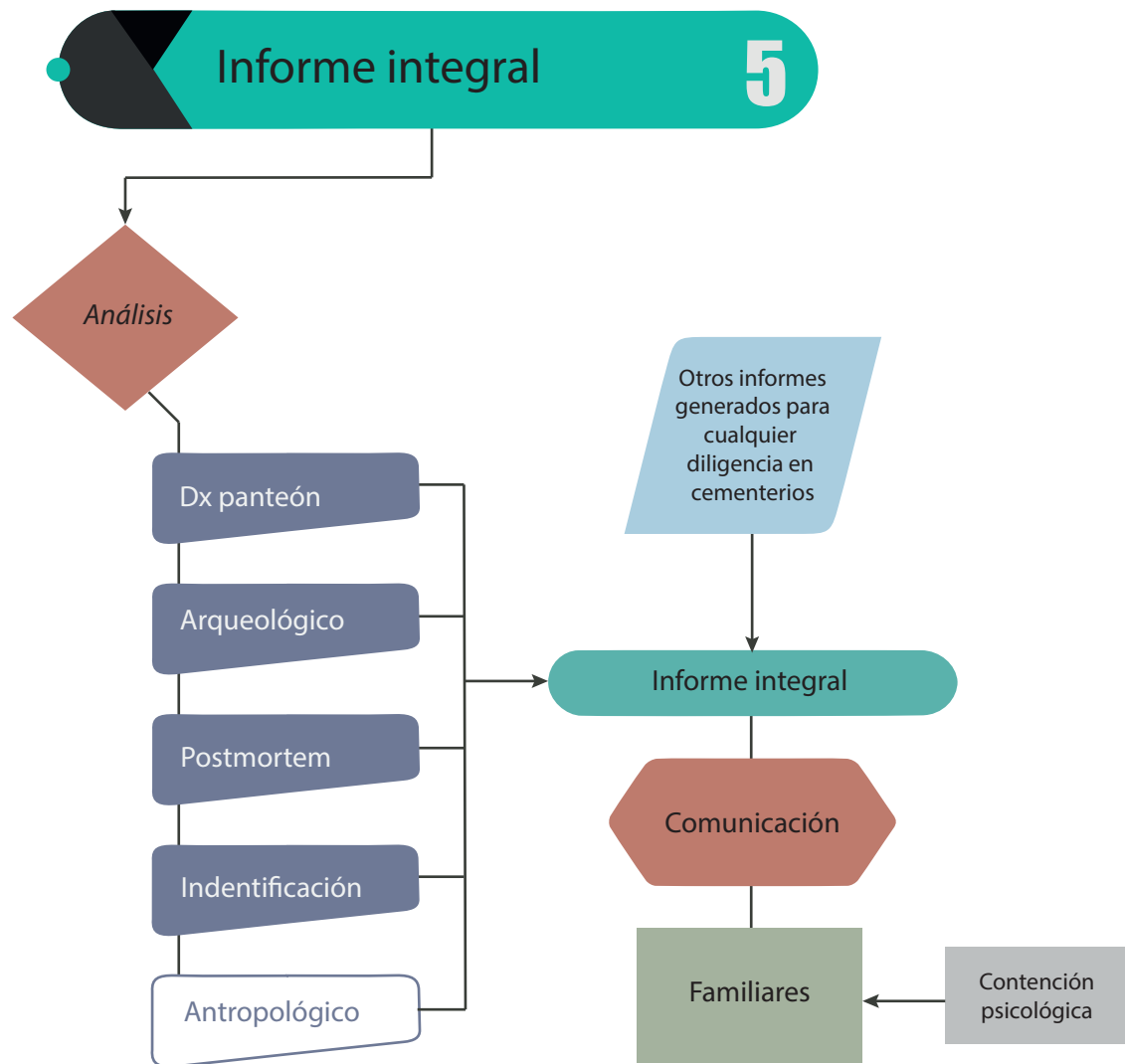


Figura 22. Algoritmo del informe integral forense donde se integra por un análisis los diversos dictámenes realizados en las diversas etapas de la aplicación del presente protocolo y de otros que pudieran generarse como complemento a la praxis forense. Así se podrá realizar la comunicación a familiares de resultados, y pública si es requerido.

como lo atestigua esta guía, se trata realmente de un proceso más de la ruta de la praxis antropológica. La perspectiva del presente documento es reivindicativo de la filosofía de la praxis, es decir tener una crítica activa de lo existente con la generación de un plan de emancipación, basado en evidencia, que genere prácticas transformadoras de la realidad que resulten en acciones de mitigación reales que permitan alcanzar el proceso de Verdad, Justicia, Reparación, Garantías de No Repetición y Satisfacción.

En este sentido, la antropología forense es una pieza para lograr este proceso bajo una perspectiva de praxis transformadora para la materialización de esos objetivos, primariamente establecidos en la resolución E/CN.4/RES/2005/66 y A/HRC/RES/9/11 de la oficina del Alto Comisionado para los Derechos Humanos de Naciones Unidas, donde establece que los objetivos de estos derechos son:

- Garantizar la rendición de cuentas y hacer justicia.
- Fomentar la verdad y la memoria sobre violaciones pasadas.
- Ofrecer reparación a las víctimas.
- Reformar el marco nacional institucional y legal además de promover el estado de derecho de acuerdo con la normativa internacional de derechos humanos, y restablecer la confianza en las instituciones del Estado.
- Asegurar la cohesión social, la consolidación nacional, la participación y la inclusión a nivel nacional y local; además de promover la pacificación y reconciliación.
- Prevenir la repetición de crisis y violaciones futuras de derechos humanos.

También en el Protocolo de Minnesota se detalla en el punto de Rendición de Cuentas y Recursos que:

las personas cuyos derechos hayan sido violados tienen derecho a un recurso pleno y efectivo. Los familiares de las víctimas de muerte ilícita tienen derecho a un acceso equitativo y efectivo a la justicia; una reparación adecuada, efectiva y rápida; el reconocimiento de su situación ante la ley; y el acceso a información sobre las violaciones y los

mecanismos de rendición de cuentas pertinentes. La reparación completa comprende restitución, indemnización, readaptación, garantías de no repetición y satisfacción. La satisfacción incluye la verificación de los hechos y la revelación de la verdad al público por parte del gobierno, una explicación precisa de las violaciones ocurridas, la aplicación de sanciones a los responsables de las violaciones, y la búsqueda de las personas desaparecidas y de los cadáveres de las personas asesinadas

Si bien el Protocolo de Minnesota (PMi) tiene un enfoque sobre ejecuciones extrajudiciales, la mala praxis administrativa para el caso de la desaparición “administrativa” de cuerpos de personas y la omisión del Estado para la gestión de fosas comunes, permite el uso del protocolo de Minnesota como un *proxy* de praxis para con los familiares de personas en fosas comunes. Además, como lo detalla el PMi, “*El derecho a conocer la verdad se extiende a la sociedad en su conjunto, dado el interés público en la prevención de las violaciones del derecho internacional y la rendición de cuentas por ellas*”. Y así como para una ejecución extrajudicial, “*los familiares tienen derecho a solicitar y obtener información sobre las causas de la muerte, así como a conocer la verdad acerca de las circunstancias, los acontecimientos y los motivos que la provocaron*” en este caso las causas por las cuáles algún familiar pudo llegar hasta una fosa, algunas veces sin necropsia o porque algún cuerpo se perdió su trazabilidad como resto identificado, fue incinerado o descontextualizado en un osario.

Por lo tanto el presente documento justifica en su praxis por el enfoque de derechos humanos, específicamente en su contexto de aplicación en cementerios, derechos *postmortem*, que explícitamente consideran (Villarreal, 2019):

1. El cumplimiento de la voluntad del destino de las propiedades.
2. El tratamiento decoroso del cadáver y restos.
3. El respeto a la honra.
4. El reconocimiento a la personalidad jurídica.

Los derechos *postmortem* también son reconocidos en la Ley General de Salud, artículo 346 “*Los cadáveres no pueden ser objeto de propiedad y siempre serán tratados con respeto, dignidad y consideración*” que, si bien no se cataloga o tipifica la mala praxis sobre éstos, si delimita su trato y consideración. Aquí, extendemos el espectro de estas consideraciones de los derechos *postmortem* a ser buscado, localizado, recuperado, identificado y ser restituído o resguardado hasta que pueda un familiar reclamarlo sin que descontextualice.

Luego entonces, el punto toral de la aplicación del presente protocolo es la búsqueda de Verdad y Justicia, Reparación, Garantías de No Repetición, Satisfacción y Memoria.

Contexto dependencia

Como ya se ha argumentado, la gestión dentro de los panteones tiene una prioridad en el orden municipal, que en el caso de las fosas al tener que interactuar con fiscalías estas tienen una injerencia Estatal y Federal.

Es también evidente que no todas las personas que se extraigan de las fosas serán identificadas positivamente de manera inmediata. Por ello es de importancia que aquellos que tengan una categoría de identificación positiva después de la aplicación del presente protocolo deberán ser restituídos a sus familiares. Esta primera sección esta enfocada en esas personas y la segunda en aquellas personas que no tengan una identificación positiva o reclamo.

Restitución

La restitución de restos es parte del proceso de reparación, que, junto con la indemnización, readaptación, garantías de no repetición y satisfacción permiten que los familiares tengan un proceso integral de reparación (GLAAF, 2016; ACNUDH, 2017).

Como se ha establecido se debe generar un ambiente activo de participación de los familiares y/o colectivos de víctimas, como se los confiere la Ley General de Víctimas artículos 19-21. La Guía de búsqueda de Personas desaparecidas del Giasf, (2018) establece para el caso de la restitución que:

“Es importante que los funcionarios del Estado, los familiares y sus acompañantes coordinen adecuadamente y con tiempo la entrega de los restos humanos identificados, acordando cuáles serán los procedimientos, quién lo hará y cómo se llevarán a cabo, de acuerdo con las expectativas sociales y culturales de las familias y en el lugar determinado por ellas, contribuyendo a dignificar la memoria de sus seres queridos.”

Las creencias o costumbres de los familiares no deben inferirse o generalizarse ante cualquier duda o controversia, es mejor requerir un dictamen pericial en antropología social, etnología, sociología o psicología para asegurarse de que el proceder de restitución logrará los requerimientos de los familiares y permitirá no generar un escenario de revictimización.

También, dada la diversidad cultural de nuestro país, podría ser necesaria la ayuda de traductores o lingüistas, no solo durante el proceso de restitución, sino para las notificaciones del proceso de investigación y/o los resultados. Como una buena praxis se deberá privilegiar la comunicación oral y en idioma indígena concreto.

En el proceso de restitución debe, imperativamente, participar al menos un representante de cada institución que realizó el proceso de investigación, dando certidumbre no solo al acto reparador para las familias, sino como un proceso de la investigación forense *per se*.

La fiscalía debe velar por que se entreguen todos los documentos que den certidumbre el proceso de investigación, pero también a la restitución. Ello puede ser resuelto con el acompañamiento de instituciones de atención a víctimas o derechos humanos, que deberán coordinar, durante todo el proceso la contención psicológica que se requiera (ACNUDH, 2017).

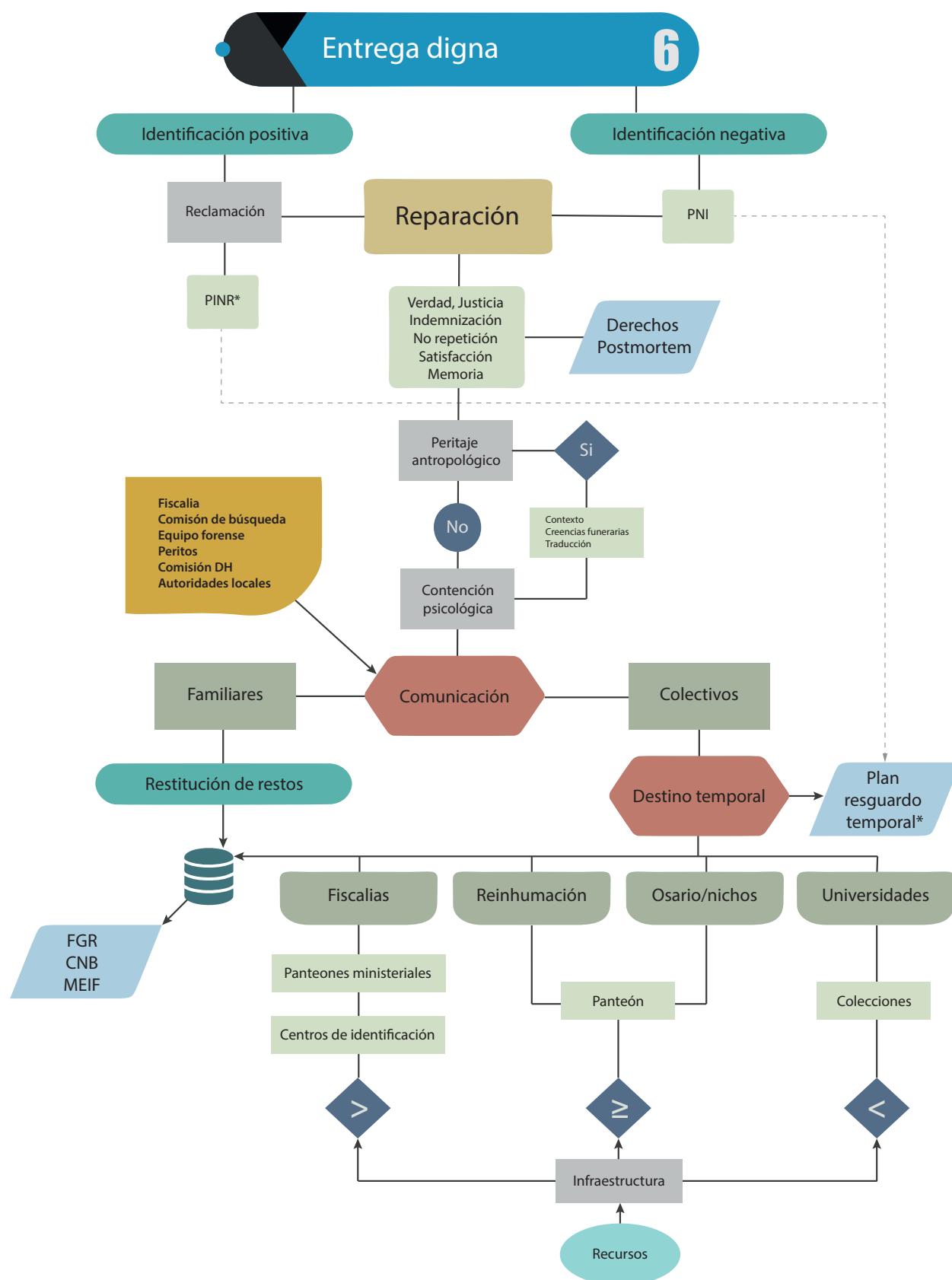


Figura 23. Algoritmo de la entrega digna a familiares donde se delimitan aspectos generales del proceso de Reparación, es decir acceso a la Verdad, Justicia, indemnización, garantías de no repetición, satisfacción y memoria; con la propuesta del presente documento que es integrar los derechos *postmortem*. * ver Figura 24.

Destino temporal de los restos: resguardo y protección

El segundo mayor desafío que tendrá la administración pública y Fiscalías, es dar destino temporal, resguardo y protección a las personas recuperadas de cementerios (fosas comunes, osarios o personas no reclamadas) que por diversos factores no sean identificados o no sean reclamados, todo ello en el marco de los derechos *postmortem*. Este proceso debe ser de forma ordenada, brindando el principio de protección a cada persona (restos), asegurando un resguardo digno y salvaguardando los objetos asociados (personales) como evidencia.

El Programa Nacional de Exhumaciones deberá entonces realizar un **Plan para el destino temporal, resguardo y protección de personas no identificadas y/o no reclamadas** (Figura 24), dicho plan deberá generar, quizás localmente, las directrices de mitigación inmediata, a mediano y largo plazo para atacar el problema de la gran cantidad de personas a exhumar. Se debe garantizar la generación de bases de datos de todos los cuerpos de personas recuperadas, garantizar la necropsia de estos (deberían tener prioridad de atención) y poder articular todos estos datos con el Sistema Nacional de Datos Forenses para hacer una red de consulta nacional sobre todos los datos que hayan emanado de la aplicación del presente protocolo (PNEx).

La presente guía delimita pasos importantes del **Plan para destino temporal de restos**, empero deberá ajustarse a las realidades de cada Estado, con la participación de familiares, colectivos, fiscalías, universidades y equipos independientes, ello mejorará la configuración general de éste (Figura 24).

La estrategia para el destino temporal de cuerpos de personas se requiere de una política pública dinámica que permita resolver la problemática usando todos los recursos disponibles tanto de fiscalías, panteones y universidades. La inversión en infraestructura para la construcción de panteones forenses resulta contradictoria cuando lo que la evidencia sugiere es la mejora de procesos, estandarización de POE, inversión en personal capacitado en administración de panteones; estos tres factores podrían reducir por mucho la gestión en panteones de manera primaria, para luego planificar la generación de infraestructura:

Nichos para restos en reducción esquelética y osarios (la estrategia detallada para osarios se encuentra en el Anexo 3). Respecto de las Fiscalías, deberán seguir con los panteones ministeriales, pero también fortalecer las Fosas Comunes ya disponibles que, con un **Plan de Manejo**, se puede realizar un ciclo de recuperación de cuerpos de personas a 8-10 años y resguardar los restos en nichos en el panteón, resguardarlos en las instalaciones de la Fiscalía o en Universidades, en tanto algún familiar reclame los mismos o que sus datos tengan una identificación presuntiva o positiva.

Resguardo en Universidades

La presente es la propuesta que Ciencia Forense generó, en el marco de ejecución del proyecto Conacyt para Atención de Problemas Nacionales PN-2518-2016 titulado “*Proyecto NN: Protocolos de identificación humana, colección osteológica nacional y base de datos de personas no identificadas y/o desaparecidas*”. Como una forma de solucionar el resguardo de restos es a través de la articulación con Universidades, mediante la generación de series (colecciones) osteológicas. Las Fiscalías y Panteones pueden tener una gestión eficiente, tanto en el procesamiento de restos e informes (sobre todo en restos óseos de fosas comunes, osarios y personas identificadas no reclamadas) pero también dando soporte a los panteones que no tengan la infraestructura preparada para resguardar a todos los restos recuperados de la aplicación del PNEx. De hecho, el resguardo en Universidades representa una menor inversión de recursos e infraestructura para el resguardo temporal de restos de personas.

De forma histórica, las series osteológicas han generado una protección activa de restos de personas de distintos contextos: arqueológicos, históricos y recientes, permitiendo la generación de bases de datos específicas para el trabajo forense. En México, existen varios ejemplos de ello, con un éxito probado, no solo por la generación de conocimiento, sino por el resguardo y protección de los restos, que sobre sale ante los ejemplos de mala administración pública (cementerio o panteón) y Fiscalías.

Los restos humanos, cita Cassaman (2006), no son solo unos artefactos más, ellos tienen potencialidad, es decir están cargados de significados políticos, emociones y simbolismos. Las series de restos óseos

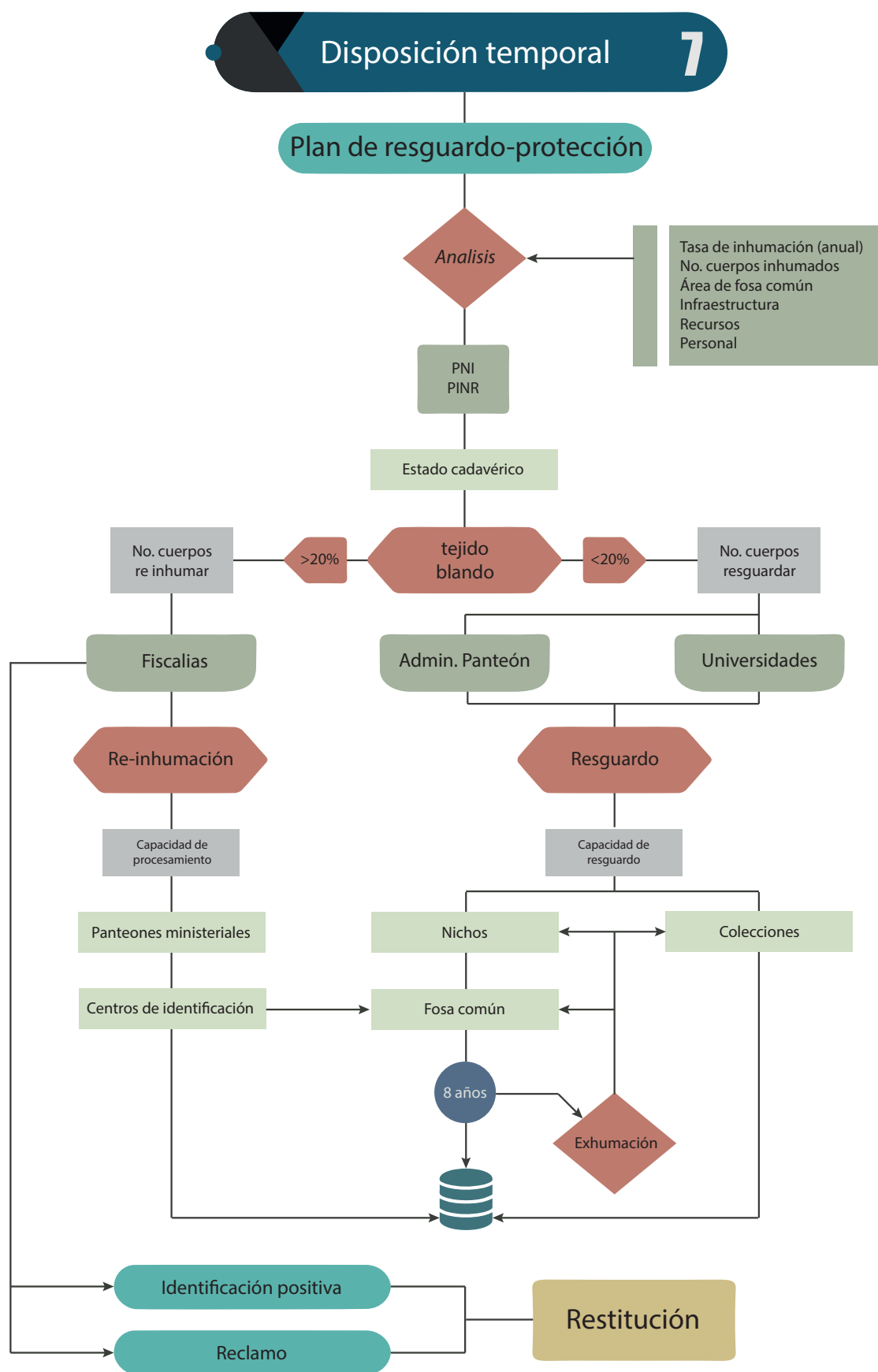


Figura 24. Algoritmo del Plan de Resguardo y Protección Temporal de los restos óseos de personas.

humanos son sorprendentemente comunes, de acuerdo con una encuesta el 90% de las instituciones culturales inglesas (132 de 146), posee aproximadamente 61,000 huesos humanos (Palmer, 2003). En la actualidad, los museos o universidades se han alejado de esta visión científica sobre la pertenencia de los restos, sobre todo arqueológicos, generando el Acuerdo de Vermillion en 1986 en el World Archaeological Congress (WAC), como respuesta a las controversias generada por los movimientos indígenas en Estados Unidos y Australia sobre el derecho de los restos en museos y la repatriación de estos (para detalle consultar Endere y Ayala, 2012).

A nivel internacional, el registro de colecciones osteológicas realizado por la Forensic Anthropology Society of Europe (FASE) denominado “*Map of Identified Osteological Collections*” permite a cualquier persona conocer una georeferencia de series osteológicas en tres vertientes: a) colecciones de interés forense, b) colecciones de personas no identificadas y c) colecciones sin una temporalidad. En cada una de éstas, se tiene un registro de cada resguardo, lo que permite conocer que hay 33 colecciones de interés forense en el mundo con aproximadamente 20,859 individuos, 52 colecciones de personas no identificadas con aproximadamente 49,585 individuos y, finalmente, 55 colecciones sin una temporalidad, históricas o arqueológicas sumando más de 169,868 individuos. En cada una de estas instituciones se generan protocolos, guías y POE, que mantienen un estricto control de cada uno de los restos, procurando un almacenaje correcto y ético. Además de atestiguar el potencial del manejo de restos, es importante decir que muchos de estos Museos se sumaron a las demandas de restitución de restos de las comunidades indígenas, abriendo el debate en la comunidad académica negacionista a la restitución de restos óseos o materiales asociados, que hoy es la idea dominante.

Argentina es ejemplo positivo de proceso de intervención en panteones y de resguardo temporal. La **Colección Prof. Dr. Rómulo Lambre** (La Plata, Argentina) se integró “*hacia el año 2005 en la ciudad de La Plata, Argentina, la formación de la Colección Osteológica Prof. Dr. R. Lambre, a partir de acuerdos periódicos (2005, 2012) entre las Cátedras de Citología, Histología y Embriología “A”, Facultad de Ciencias Médicas (FCM), Métodos y Técnicas de la Investigación Antropobiológica, Facultad de Ciencias Naturales y*

Museo (FCNyM), y el Cementerio Municipal La Plata (CMLP). Dichos restos son cedidos periódicamente por esta última institución a la FCM con el objetivo de utilizarse en tareas de investigación y enseñanza (Ordenanza Municipal 9471/02). Los mismos pertenecen a cadáveres cuyo destino era su cremación o disposición final en osario, puesto que no habían sido reclamados por familiares.” Es clara la contribución de la conformación de la serie (colección), como una forma de resguardo temporal de los restos en Universidades, evitando la mala praxis de la cremación o la disposición en osarios y su consecuente descontextualización.

El mismo proceso se ha documentado en Colombia, donde se conformó la Colección de Referencia del Esqueleto Humano de la Población Colombiana Moderna que es un proyecto del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF) y que se avaló mediante el mismo proceso, “*a raíz de la firma de un convenio entre la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos del Distrito (UAESP) y el INMLCF, en el que la primera entidad dona cuerpos identificados a la segunda, para que la investigación científica pueda ser realizado. Los cuerpos provienen de los cuatro cementerios distritales o estatales de Bogotá y corresponden a quienes, por ley, cuatro años después de haber sido enterrados deben ser exhumados y depositados en osarios o cremados-incinerados. En caso de que la familia no recoja el cuerpo, el cementerio lo saca de la cripta y lo incinera. Sin embargo, desde 2009 y gracias al citado convenio, si una familia solicita el cuerpo en una fecha posterior a cuatro años de inhumación, el cementerio solicita al INMLCF que devuelva el cuerpo y se lo entregue a la familia*” (Sanabria et. al 2016). De igual manera, el proyecto fue aprobado por el Comité de Bioética del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, y deja clara la función e importancia de las Colecciones Osteológicas, ya no desde un punto de vista científico, sino de carácter de protección a los derechos *postmortem* y de reparación de las personas, ayudando a maximizar la probabilidad de identificación de estos restos.

Además, para el caso de Argentina es importante la reflexión de los especialistas que participaron en la recuperación sobre la praxis realizada en el proceso de recuperación y resguardo de restos:

Los estándares referidos al manejo de estos restos fueron evaluados por el Comité de Bioética de la FCM de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) (Exp. 800-6213812/12), considerando a su vez la Declaración de Helsinki, y el artículo 4 de la "Declaración de la Asociación de Antropología Biológica Argentina" en "Relación con la Ética del Estudio de Restos Humanos" (2007) y el "Código Deontológico para el estudio, conservación y gestión de restos humanos de poblaciones del pasado" (Aranda, Barrientos y Del Papa, 2014), debido a lo cual se garantizó un trato digno y respetuoso a los restos a través de un correcto manejo y preservación (García Mancuso, Plischuk, Desántolo, Garizoain y Sardi, 2019).

Es de importancia señalar que los restos de personas en panteones o cementerios en México han tenido un ejercicio violatorio continuo de sus derechos *postmortem* y derechos humanos de familiares, donde diversas evidencias dan cuenta del problema, por ejemplo, las fosas comunes de los panteones de Palo Verde, Veracruz y Tetelcingo, Morelos (Gómez, 2016; Ureste, 2016) o las fosas asociadas al narco como la del ejido de Patrocinio San Pedro de Torreón, Coahuila (SinEmbargo, 2016). El caso de Tetelcingo y Jojutla, Morelos, han brindado la mejor evidencia material y de praxis sobre cómo el flujo de trabajo forense y administrativo en México para con las fosas comunes fue deplorable. Se ha documentado (ver Cantú Martínez, 2016; Robledo et al., 2016; Villanueva Guzmán, Roberto Ramírez, 2016):

1. La falta de un correcto embalaje, rotulación y disposición de cuerpos,
2. Falta de registro metódico,
3. Omisión de realización de necropsia o de análisis antropológico forense,
4. Nula documentación del estado de conservación durante la exhumación,
5. Inhumaciones verticales de cuerpos,
6. Falta de carpeta de investigación, a pesar de existir evidencias de violencia en los cuerpos

7. Y, finalmente, una que parece vital como justificación del resguardo en universidades, es que, un porcentaje de los cuerpos, fueron encontrados incompletos, a los que les faltaba el cráneo o algún miembro (muchos de ellos además compartían la característica de no haberseles realizado la necropsia de ley).

Este conjunto de violaciones a los derechos humanos y *postmortem* de las personas en fosas comunes ha sido caracterizada desde la antropología social como una *"violencia que ejerce el estado sobre los cadáveres humanos, a través de la crueldad y la reproducción del terror en un escenario de impunidad generalizada"* (Robledo et al., 2016a) y que reitera una modalidad de desaparición que temerosamente algunos trabajos van trabajando, la desaparición administrativa (Mata, 2017). Como lo delimita Robledo et al., (2016a) hablando de la fosa común de Tetelcingo *"las irregularidades en la inhumación de las más de 100 personas muertas halladas en esta fosa, son en sí mismas una manera de ocultar la verdad e impedir la posibilidad de su identificación"* en tres grandes dimensiones: 1) evadir la responsabilidad de castigar a los responsables, 2) enmascarar la dimensión real de la violencia e impedir la posibilidad de su comprensión con el borrado de sus huellas, y 3) cancelar la posibilidad de identificación de los cuerpos, y a través de ella la reparación de las víctimas que han sufrido estas pérdidas. Es decir, esto se traduce en *"un rasgo de la violencia política que debe ser señalado: la lógica de basurización con que el gobierno mexicano trata a los cuerpos y el poco compromiso con la búsqueda de la verdad y la impartición de la justicia"* (Robledo et al., 2016a).

Luego entonces, la mala praxis a cargo del Estado en fosas comunes, tiene todo para ser considerada y caracterizada como una forma de desaparición, como en Argentina, Uruguay y Chile se tuvieron los denominados detenidos-desaparecidos, donde el Estado es el ejecutor, directo o indirecto, de la detención y desaparición de una víctima (Gatti, 2011). En este caso, el Estado comete omisión o negligencia para con los derechos *postmortem* de toda aquella persona inhumada en una fosa común y que no está identificada, no se le fue realizada una necropsia, que sus restos son descontextualizados y o que se ha traficado parte de sus restos de manera ilegal. Este contexto, permite

delimitar como Robledo et al., (2016a) y Mata, (2017) argumentan, una nueva tipología de desaparición una persona fallecida en tutela del Estado de la que no se generan acciones para identificarlo, que se pierde su ubicación o que se trafica con sus restos, la desaparición administrativa, una forma de desaparición forzada, en tanto, el Estado a través de sus canales de gestión de personas no reclamadas, comete negligencia constante a varios niveles eliminando la posibilidad de identificación de esta persona y limitando los derechos de acceso a la Verdad y Justicia de sus familiares y de la sociedad en general.

Luego entonces, con toda la perspectiva anterior y ante la realidad del estado de las fosas comunes en México, se argumenta que el resguardo que hacen las universidades respecto de los restos de personas no identificadas o no reclamadas es una opción viable, adecuada y que se debe considerar por la cantidad de personas a recuperar.

Cuando sea acordado el resguardo en Universidades, o cuando el resguardo sea en el cementerio o fiscalía, se debe requerir un Plan de Resguardo, Manejo y Conservación a la universidad receptora, siempre bajo la perspectiva de estricto cumplimiento del Acuerdo de Vermillion (WAC 1990):

1. Respeto por todos los restos humanos, cualquiera sea su origen, raza, religión, nacionalidad, costumbre y tradición.
2. Respeto por los deseos de la persona en lo referente a la disposición de su cuerpo, si ello es conocido o puede ser inferido, en la medida que sea posible, razonable y legal.
3. Respeto por los deseos de las comunidades locales y de los parientes o guardianes de la persona, en la medida que sea posible, razonable y legal.
4. Respeto por el valor de la investigación científica de partes esqueléticas, momificadas y otros restos humanos (incluyendo homínidos fósiles) cuando se prueba que tal valor existe.
5. El acuerdo sobre la disposición de restos fósiles, esqueléticos, momificados y otros restos debe ser alcanzado mediante una negociación sobre la base del respeto mutuo por el interés legítimo de las comunidades por la adecuada disposición de sus

ancestros, así como el interés legítimo de la ciencia y de la educación.

6. El expreso reconocimiento de que el interés de los diversos grupos étnicos, así como el de la ciencia son legítimos y deben ser respetados permitirá alcanzar y poner en práctica acuerdos aceptables (en el futuro).

Como se puede denotar, la investigación científica no está por encima o debajo de la protección de los derechos humanos, es un factor más en activa protección de los restos y que, bajo estándares profesionales, obtiene datos de importancia para ocuparlos en desarrollar innovación para identificar personas en el contexto biológico de cada país. Este punto reivindica el segundo estamento de la Declaración en relación con la Ética del Estudio de Restos Humanos de la Asociación de Antropología Biológica Argentina (AABA) que cita:

Es responsabilidad de todos los antropólogos biólogos velar por la conservación de restos humanos, practicando y promoviendo su correcta gestión y estudio.
(Aranda et al., 2014)

La medicina lo hace comúnmente obteniendo un consentimiento informado, en este caso al ser restos humanos si bien no hay un consentimiento directo, la norma ética permitirá la obtención de datos (los cuales no implican la cremación o descontextualización de estos) hasta que un familiar reclame los restos, se les restituya y a través de ellos se les pida consentimiento para integrar los datos ya obtenidos o de lo contrario que sean eliminados de toda base de datos.

Todo el debate científico y social sobre las colecciones osteológicas, restitución de restos y ética profesional emergieron en el campo arqueológico (e.g. Endere y Ayala, 2012; Aranda et al., 2014) empero retomar todas estas bases es importante para que Colectivos de Familiares comiencen a socializar estos procesos y definan si para ellos, el resguardo en Cementerios, Fiscalías y/o Universidades les parece correcto bajo los estándares que hoy se tienen.

Nuestro país, tiene también una historia de intervenciones exitosas de la antropología biológica, el

primero de ellos es la intervención realizada por el Dr. Arturo Talavera en los panteones de San Nicolás, 20 de Noviembre y Dolores de la ciudad de México (Talavera et al., 2006), dicho proceso permitió el resguardo de 102 esqueletos los mismos que se encuentran a tutela del INAH bajo la Colección San Nicolás Tolentino, la misma tiene el objeto científico de contar con patrones para determinar características físicas de la población mexicana, se inició en el año 2000. La segunda en conformarse fue la Colección Osteológica de la UNAM, quien a través del Laboratorio de Antropología Física de la Facultad de Medicina (FM), ha integrado y resguarda la colección osteológica de referencia de la población mexicana contemporánea más grande y mejor documentada del país. Se trata de 200 esqueletos cuyas edades, en su mayoría, se ubican entre los 28 y 85 años. La colección ha sido integrada para los efectos de investigación científica (Sánchez-Mejorada, 2013) y de resguardo de cuerpos de personas que llegaban a la Facultad para investigación y enseñanza. Finalmente, la colección osteológica de la Universidad Autónoma de Yucatán (UAY), dicha colección está integrada por 158 esqueletos, de los cuales 84 son PINR que nacieron entre 1900 y 1990 y murieron entre 1995 y 2004, con un pico en el año 2001. La gran mayoría proviene del pueblo de Xoclán y sus áreas rurales circundantes en la península de Yucatán en México (Chi-Keb et al., 2013). Xoclán, es otro ejemplo de gestión triple hélice entre municipio, fiscalía y Universidad, como citan Chi-Keb et al., (2013):

En 2005, se firmó un convenio interinstitucional específico entre la Universidad Autónoma de Yucatán y el gobierno municipal de la ciudad de Mérida, para crear una colección de referencia de 100 esqueletos humanos identificados y no identificados utilizados con fines educativos. El convenio estipula que los especímenes serán restaurados, inventariados y curados en la Facultad de Ciencias Antropológicas de la Universidad Autónoma de Yucatán, de conformidad con su estatuto académico y educativo, según lo expresado en el Decreto 257, Diario Oficial del Gobierno del Estado. Este convenio se adhiere a la Ley de Salud Federal y al Reglamento del Panteón Municipal y se sustenta en un proyecto de investigación en curso que fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología de México (CONACyT: n° 49982; n° 152105)

Como lo describen los autores los restos de los individuos iban a trasladarse a la fosa común, ya que los lotes donde estos cuerpos de personas estaban se encontraban en calidad de caducados (Chi-Keb et al., 2013), por lo cual el proyecto permitió que no se descontextualizaran y que si algún familiar realiza un reclamo este pueda ser restituido.

Colección Osteológica Nacional

La Licenciatura en Ciencia Forense, durante estos años ha resguardado los restos de personas que llegaron en calidad de no identificados a la Facultad de Medicina, con ello se configuró una serie (colección) osteológica. Dentro del Laboratorio de Antropología y Odontología Forense se tiene un espacio para el procesamiento de cuerpos de personas, para su esquelización con técnicas éticas y basadas en evidencia, y/o para el procesamiento y limpieza de restos en reducción esquelética. En el caso del procesamiento de cuerpos, éstos se tratan mediante una secuencia de ciclos de calor-presión, en una autoclave para este uso, y disección para retirar todos los tejidos. Después se realiza un proceso de secado, inventariado y siglado, para su posterior resguardo en una caja de polipropileno y tyvek por individuo. A cada individuo se le aplica el protocolo de laboratorio desarrollado aquí y todos los datos son concentrados en una base de datos para las fiscalías, comisión nacional de búsqueda, colectivos, organizaciones de DDHH, etc.

La Colección Osteológica Nacional (CONa) tiene una capacidad de respuesta inmediata para el resguardo de 300 restos humanos, es decir la cantidad promedio de envío de cuerpos de personas a fosa común anual. Las instalaciones de la CONa tienen áreas separadas para separar restos, limpieza, zona húmeda y laboratorio, con recubrimiento sanitario, flujo positivo y extractor de aire. Se cuenta con dos unidades de autoclaves para procesar un cuerpo completo en un solo proceso. Además, se tiene una mesa de disección con triturador, parrilla para mantener en temperatura a los restos y un área de secado.

Identificaciones negativas por condiciones tafonómicas adversas

Lamentablemente por diversas condiciones tafonómicas en varios casos resultaran en imposibilidad

de identificaciones positivas, delimitación de número mínimo de individuos por lo que será imposible realizar una identificación. En estos restos debe procurarse un proceso de re-inhumación, resguardo en nichos o Universidades, colectivos de familiares, ONGs, autoridades correspondientes y peritos. La re-inhumación deberá ser individual con una placa de identificación, los restos óseos pueden resguardarse en un nicho para su salvaguarda y espera de nuevas técnicas de identificación. Garantizando su ubicación y trazabilidad a través del tiempo.

Cuando se trata de eventos de gran cantidad de víctimas, como los son los crímenes de lesa humanidad o que implican la violación grave de los derechos humanos, como ejecuciones extrajudiciales o desaparición forzada múltiple. Ha sido frecuente la conformación de espacios de memoria, como una forma de reparación y de garantizar la construcción de una memoria colectiva, lo que debe ser explorado con los colectivos de familiares.

Plan para el destino temporal, resguardo y protección de personas no identificadas y/o no reclamadas

Las guías para manejo de cadáveres citan diversas técnicas para la disposición final de los cuerpos de personas, entre ellas: bajas temperaturas, procesos químicos, embalsamamiento y enterramiento o sepultura (OPS, 2004; CICR, 2006). Aquí, dadas las condiciones de infraestructura y recursos generalizadas del país, se exploran y describen únicamente la re-inhumación, el resguardo en nichos o en universidades en colecciones.

Reinhumación

Debemos contextualizar que la crisis forense que acontece en México tiene muchas vertientes de evidencia de la saturación de los servicios forenses en el país. Por esta característica es que se debe pensar en gestionar los restos de fosas comunes de la forma más óptima (CICR, 2006), garantizando los derechos *postmortem* y permitiendo un resguardo ético y digno, mientras se pueden localizar a sus familias.

Todos aquellos cuerpos de personas recuperados cuyo estado de descomposición no

fuera la reducción esquelética, se recomienda su re-inhumación y su tratamiento previa documentación o necropsia cuando ésta no se haya realizado. Esta decisión deberá ser integrada en el **Plan para el destino temporal, resguardo y protección de personas no identificadas y/o no reclamadas**. La re-inhumación en la fosa común es un proceso viable si se delimitan todos los procedimientos operativos estándar para la inhumación controlada, documentada y ordenada de cada individuo, pensando en recuperar sus restos a 8-10 años para liberar el espacio y generar ciclos de inhumación-recuperación anuales.

Los panteones deberían tener una planeación estricta de sus procedimientos, la realidad es que no se tiene un estándar mínimo y se trabaja de formas muy diferenciales, permitiendo la mala praxis o incluso el tráfico de restos óseos.

Aquellos cuerpos de personas con presencia de tejido en descomposición entre el 100 y 20% se recomienda re inhumar. Los equipos forenses deberán evaluar dicho intervalo porque quizás, si existe la infraestructura, los cuerpos podrían documentarse y realizar un proceso de esqueletización en laboratorio, para resguardo de sus restos en un nicho o en una colección osteológica. De lo contrario lo mejor es realizar un proceso de re-inhumación de acuerdo con los estándares de manejo de cadáveres (OPS, 2004; CICR, 2006). Se recomienda un asignar el código único, fotografiar el cuerpo y completar el formulario de identificación de cadáveres y verificar que no hay conflicto con las normas culturales. Para facilitar y garantizar la localización futura y la recuperación de los cadáveres, los lugares de sepultura temporal deben construirse de la siguiente manera:

- Utilizar fosas individuales para un número reducido de cuerpos y fosas comunes para un número más elevado.
- Las sepulturas deben tener 1.5 m de profundidad y estar al menos a 200 m de distancia de las fuentes de agua potable.
- En las fosas comunes, se debe dejar 0.4 m de distancia entre los cuerpos.
- Disponga los cuerpos uno junto a otro en un solo nivel (no uno sobre otro).
- Marque cada cuerpo claramente e indique sus

ubicaciones a nivel del suelo, incluido el código único del cuerpo.

- Haga un mapa del lugar de sepultura, registrando localización de los cuerpos con el código único.

En todos los casos, se recomienda el uso de bolsas mortuoria o en un elemento similar antes del almacenamiento, ya sea para el cuerpo o para un segmento (CICR, 2006). Además, se deben emplear etiquetas impermeables o bien etiquetas de papel en plástico sellado, con el código único del cuerpo/persona. Respecto de esto, la presente guía recomienda tres etiquetados, primero placas de acero inoxidable y fotograbado, placa de acero inoxidable con los datos troquelados (versión placa militar) o, la más económica, una placa de PVC con los datos impresos por transferencia de calor, todas estas opciones deberán llevar la averiguación previa, el código único de registro y datos generales de la persona.

Se debe inhumar a la persona con una placa y otra más se deberá ubicar en la parte superior de la fosa para su ubicación externa. Si se trata de un lugar con mucha humedad se recomienda el uso de un frasco de vidrio para contener la placa y mejorar su resistencia a la humedad.

Espacio de reinhumación: fosa común.

Respecto del espacio en fosa común, siguiendo las recomendaciones del CICR, (2006) sobre la construcción de fosas se recomiendan dos cosas: 1,5 m de profundidad y 0.4m de separación entre cuerpos. Sin embargo, no se establece el ancho de las calas o fosas individuales. Retomando como ejemplo algunos reglamentos de panteones, se establece que una fosa individual deberá tener 2.25 m de largo, 1.0 m de ancho, 1.5 m de profundidad y 0.5 m de separación entre fosas.

Dado a que la aplicación del PNex implica rediseñar la fosa para generar una lógica de entierros cíclica, se tienen que definir más aspectos. Primero, dado a que la aplicación del PNex será la recuperación de una gran cantidad de personas, se recomienda implementar el sistema de cala ya que hace más eficiente el uso del espacio de fosas comunes. En contraste, cuando las intervenciones sean fosas comunes con poca frecuencia de personas inhumadas, quizás se podría pensar en

fosas individuales estándar como el panteón delimita en su reglamento.

Respecto de las calas, la propuesta es realizarlas de 1.95 m de ancho por el largo máximo del terreno de la fosa común. La altura máxima promedio del ser humano, reportada a nivel mundial es de 1.82 m (NCD Risk Factor, 2016), empero medidas antropométricas realizadas por el proyecto CANDELA aporta datos de estatura para 1.60 m individuos de México, reportando una altura máxima es de 1.92m (con un promedio de 1.63m para la muestra total y 1.84m para el percentil 99), con este argumento se recomienda abrir una cala de 1.95m de ancho a 1.5 m de profundidad.

Respecto del ancho, que podría ser la separación de cuerpos y/o el ancho de fosas individuales, de una muestra de 974 individuos masculinos entre 18-69 años de la Ciudad de México (Avila-chaurand et al., 2007) se obtuvo un promedio del ancho codo-codo de 50.4 cm (con un percentil 95 de 57.4) y un promedio de 47.1 del ancho bideltoideo (percentil 95 =52.4 cm). Estos datos nos permiten planificar que por tendencia general tendríamos un máximo de 60 cm de ancho en las personas con obesidad, que en personas mórbidas se puede compensar con los 40 cm recomendados para la distancia entre cuerpos, lo que resulta en una distancia entre los centroides de los cuerpos de 1m (Figura 25a,b). Luego entonces, la constante sería, por tendencia media, que se requiere de 1.17 m² para la inhumación en fosa individual por individuo (Figura 25a) o 1.73m³ si se considera la profundidad, este valor se sugiere como estándar de unidad básica de inhumación por persona (Figura 25c).

Como un ejemplo ilustrativo, presentamos la fosa común del Panteón Municipal de Pachuca, donde el terreno delimitado para la fosa común tiene 67 m de largo por 9 m de ancho (es decir, un área de 603 m²). Con los datos arriba descritos, se podrían generar cuatro calas de 67 m con tres espacios de 0.4 m de separación entre calas (Figura 25a). Asumiendo que cada cuerpo ocupará 1.0 m de ancho (0.6m del cuerpo y 0.4m de separación), en cada cala se podrían inhumar 67 cuerpos. Generando un total de 268 cuerpos en un área de 603 m², como un potencial de inhumación o capacidad de inhumación en esa área determinada (Figura 26a). En cada cala se deberá realizar un marcaje donde se encuentre un cuerpo de manera superficial, lo que corresponderá con el centroide del cuerpo, puede

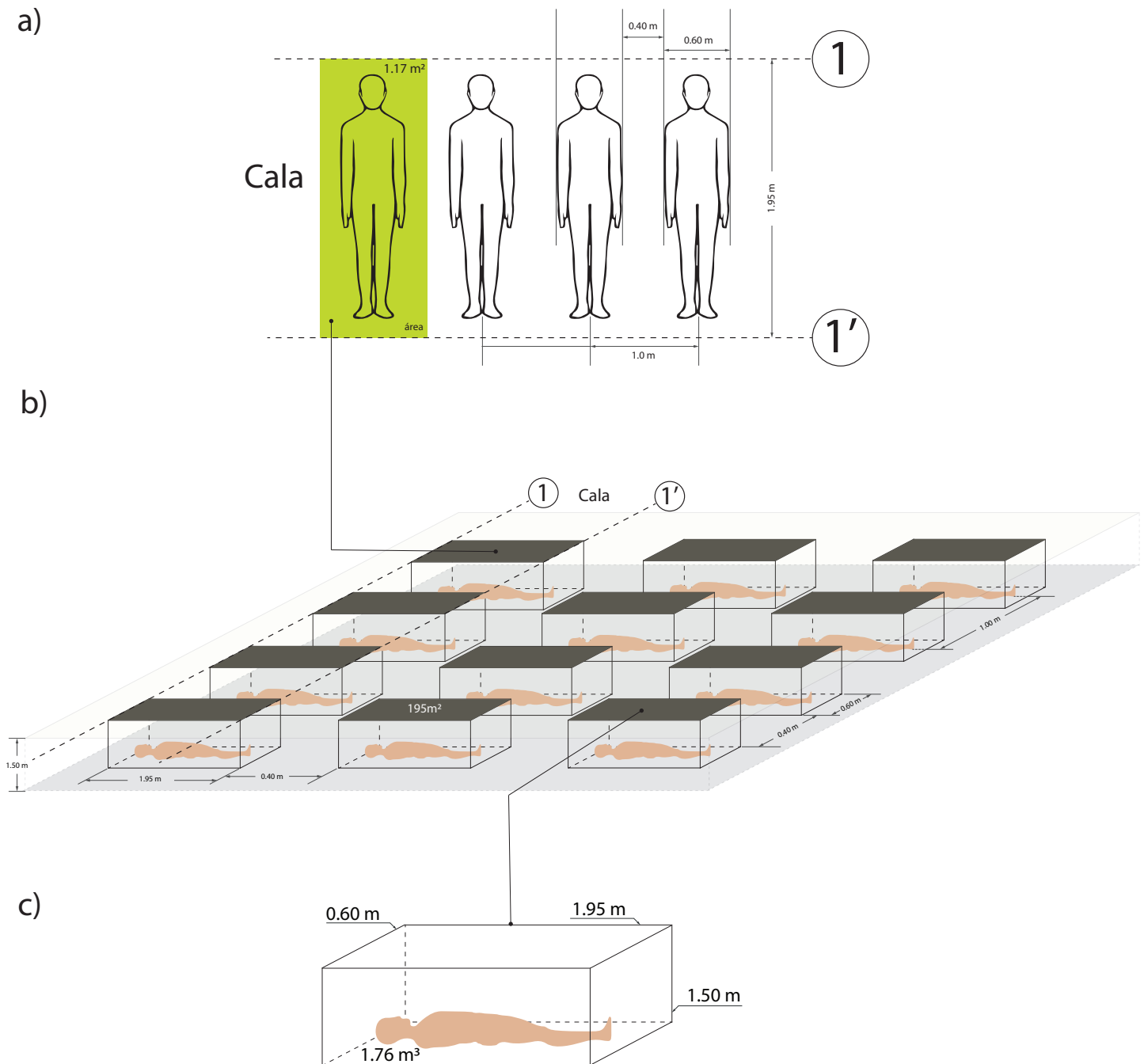


Figura 25. Esquema de la propuesta de la logística de re-inhumación de fosa comunes para el PNEx. a) delimitación de la cala en fosa común, distancias mínimas óptimas para re-inhumación. b) vista general de la propuesta en una fosa común, con el estándar mínimo aquí presentado. c) estándar básico volumétrico del espacio para la re-inhumación digna de una persona en fosa común.

ser en la parte de superior o inferior (Figura 26b), estas deberán ser colocadas por lo menos a 0.2 m del borde de la cala o fosa (Figura 26b). En cada uno de estos sitios se colocará una varilla estándar de 0.8m de largo, de los cuáles se deberán enterrar 50 cm, y 30 cm quedarán expuestos. En alguna de las partes distales se hará un orificio para instalar una placa de identificación (figura 26c) de acero inoxidable (similares a las que usan para datos de identificación del personal militar), donde se anotarán cinco datos principales: 1) número de control del panteón, 2) número de carpeta de investigación, 3) Si se conoce el nombre de la persona, 4) sexo y edad, y 5) si se conoce su procedencia, además de su categoría de identificación PNI o PINR (Figura 26c). La placa deberá duplicarse para ser también incluida en la bolsa durante la inhumación, aunque como ya se ha descrito ésta también podría ser de PVC; esto permitirá mantener una praxis de reiteración de la placa de identificación, una de forma externa y otra en la fosa.

Asimismo, cada persona inhumada en la fosa común deberá ser localizada por un sistema cartesiano (x,y) o de coordenadas geográficas (UTM) respecto del terreno de la fosa (Figura 26d), donde el origen para el sistema de coordenadas sea el vértice inferior izquierdo del polígono de la fosa, es decir el vértice suroeste (SO); con esto se podrá llenar una planimetría de los cuerpos y se tendrá una coordenada de cada cuerpo. También se puede hacer el levantamiento por medio de un GPS, aunque por el grado de separación de los cuerpos podría necesitarse un equipo con buena resolución. De esta manera, se evitará la pérdida de ubicación de alguna persona (ver ficha de inventario y planimetría en anexo 5). Finalmente, la cédula de inventario es una lista de los cuerpos de personas que se inhumarán conteniendo datos básicos y coordenadas, es un documento que debe ser registrado dentro del procedimiento de inhumación y validado por el administrador del panteón con firmas autógrafas y sello de este (ver cédula Anexo 5).

Flujo de inhumación: ciclo anual

Como una forma de planificar el ciclo de inhumaciones individuales en fosas comunes, se pueden recurrir al análisis de datos (Tabla 9, Figura 27). En el panteón Dolores de la CDMX se envían en promedio 307 (min=272, max=347) cuerpos de personas no identificadas a fosa común anualmente (periodo 2014-2017). Este dato permite estimar que dicho panteón

requiere de un área de inhumación promedio de 359.19 m² (min=147.42 m², max=405.99 m²) para solventar la demanda de cuerpos de personas no identificadas por año, aproximadamente 30.42 m² al mes (26 cuerpos). Según los datos oficiales entre el periodo 2014-2018 se debieron emplear 1,581.84 m² para poder inhumar a 1,352 cuerpos de personas registradas en la estadística disponible sobre inhumaciones en fosa común del Panteón Dolores (Tabla 9, Figura 27). Estos indicadores permiten que se pueda realizar el plan para el destino temporal, resguardo y protección de personas no identificadas y/o no reclamadas basado en datos reales y que se pueda adecuar el espacio de la fosa común ya disponible, que se ajusten sus dimensiones; o que se pueda pensar en un panteón ministerial, aunque pensamos que será una inversión mayor que podría bien ser dirigida a nichos o contratar personal forense en fiscalías para llevar todo el registro de panteones.

La presente guía propone que se genere un ciclo de inhumación a 8 años (x=8), como lo establece la generalidad de los reglamentos de panteones, esperando que los cuerpos de las personas inhumadas se encuentren en reducción esquelética al término del periodo, o que se pueda adecuar según la variación ambiental-tafonómica del lugar. Con los datos arriba descritos, asumiendo la tasa anual de personas no identificadas enviadas a fosa común en el Panteón Dolores (a=307) se requiere de 2,873.52 m² (x*a) de área de trabajo óptima para un ciclo de 8 años y emprender un ciclo continuo de recuperación-inhumación sustentable a través del tiempo. Es importante considerar que este cálculo no considera casos emergentes, como sismos o epidemias, por ello es plausible pensar en aumentar, por lo menos, un tercio de espacio para compensar dichas necesidades (aprox. 957.84 m²). Los datos para la contingencia sanitaria por el virus SARS-COV2 indican que comparando los periodos de tendencia de inhumación durante mayo y junio de 2019 y 2020, se tuvo un aumento del 46.42% (mayo) y 58.68% (junio), de inhumaciones regulares en panteones de zonas metropolitanas del país. Es decir, un rango de inhumaciones por arriba de lo propuesto aquí, empero los datos del Inegi, reportan inhumaciones regulares, pero no detallan la cantidad de inhumaciones en fosas comunes debido a la contingencia, en términos generales el Inegi reporta un aumento del 20.2% de inhumaciones de junio 2019 a 2020. Luego entonces, el criterio de 1/3 parece plausible y podrá ser adecuado a las tendencias del panteón y su

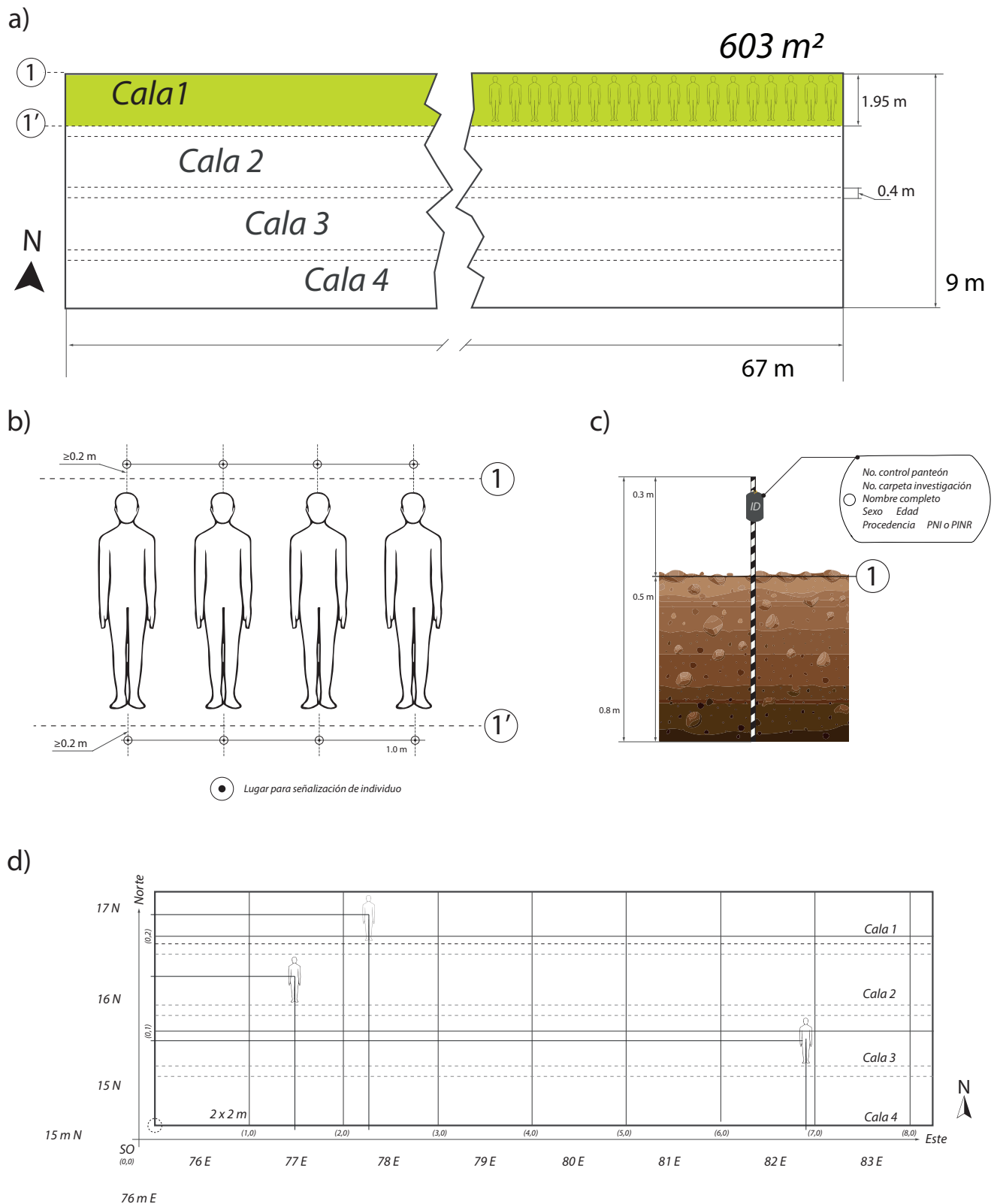


Figura 26. Ejemplo de la planificación para los ciclos de re-inhumación en una fosa común. a) propuesta de sistema de calas para la fosa común del Panteón Municipal de Pachuca. b) Disposición de los cuerpos en las calas y la ubicación de las varillas para referencia externa-superficial de los cuerpos. c) profundidades mínimas estándar propuestas para las varillas y placa de identificación de los cuerpos. d) Sistema de referencia superficial para cada cuerpo depositado en la fosa común, vista superior, aunque debe ser tomada la profundidad del cuerpo al centroide de este

Tabla 9. Frecuencias de personas inhumadas en el Panteón Dolores (CDMX) durante el periodo 2014-2018 por mes y el porcentaje de m² necesarios para inhumar a esa cantidad de personas bajo un estándar forense basado en evidencia. Calculos basados en 1.17 m² por cuerpo de persona inhumada.

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	M ²
2014	31	33	19	28	16	21	16	19	27	31	44	26	311	363.87
2015	23	31	12	33	26	24	18	24	29	22	24	30	296	346.32
2016	30	27	40	42	24	21	27	16	22	19	4	0	272	318.24
2017	16	15	28	26	28	29	16	40	28	39	56	26	347	405.99
2018*	7	13	13	13	15	6	19	18	17	5	-	-	126	147.42
Totales	107	119	112	142	109	101	96	117	123	116	128	82	1352	
Media**	25	26.5	24.7	32.2	23.5	23.7	19.2	24.7	26.5	27.7	32	20.5		306.5

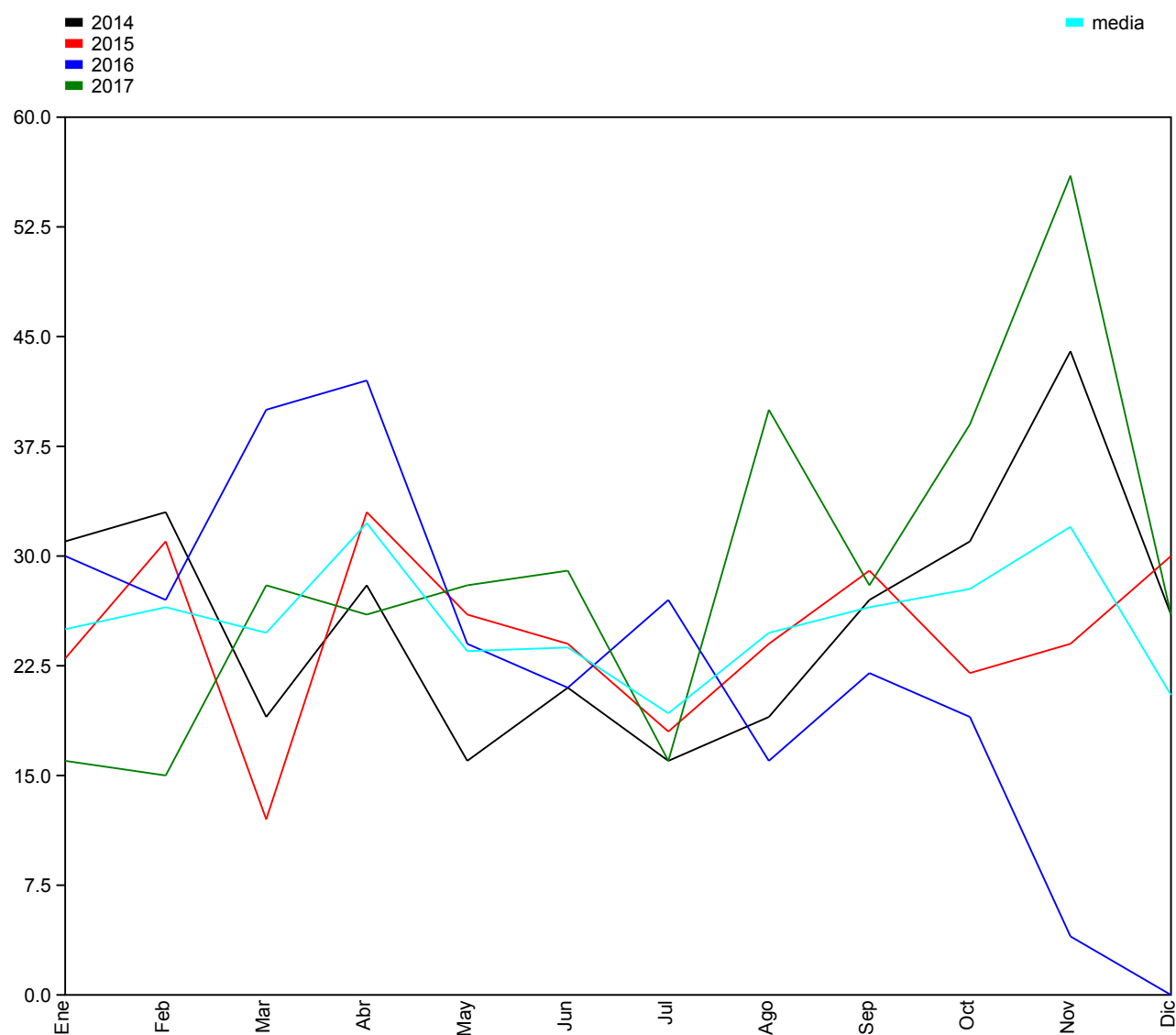


Figura 27. Gráfica de la tendencia de inhumación en la fosa común de Panteón Dolores de la Ciudad de México del periodo 2014-2018 por mes. En azul claro se presenta la tendencia media

fosa común. También, se puede considerar reducir el tamaño de recuperación de restos de 8 a 4 años lo que permite optimizar la propuesta.

La mala planeación, la saturación del espacio de inhumación en fosas comunes y la no profesionalización de la gestión en panteones ha ocasionado inhumaciones por niveles, superponiendo cuerpos, lo que genera intervenciones costosas y una elevada probabilidad de descontextualización de cuerpos. Además, esta mala praxis se convierte en una violación a los derechos *postmortem* de las personas en fosas comunes y de los derechos humanos de las familias.

Contexto dependencia

Todos los datos propuestos en esta guía deberán ser adecuados a los espacios, requerimientos, presupuestos, personal y aspectos sociales locales, es decir deberán ser adecuados al contexto en el que se aplicarán, como lo es la misma diversidad de escenarios forenses del país. Por ello la construcción de un plan para el destino temporal de los restos estará determinada por una caracterización particular de cada caso, la guía protocolar aquí descrita, como es la praxis antropológica debe ser plástica o flexible.

Bibliografía

- Abate D, Sturdy Colls C, Moyssi N, Karsili D, Faka M, Anilir A, Manolis S. 2019. Optimizing search strategies in mass grave location through the combination of digital technologies. *Forensic Sci Int Synerg* 1:95–107.
- ACNUDH. 2017. Protocolo de Minnesota sobre la Investigación de Muertes Potencialmente Ilícitas. Nueva York y Ginebra.
- Adams BJ, Byrd JE. 2008. Recovery, analysis, and identification of commingled human remains. New York: Humana Press.
- Adams BJ, Königsberg LW. 2004. Estimation of the most likely number of individuals from commingled human skeletal remains. *Am J Phys Anthropol* 125:138–151.
- Adams C. 2012. Disaster victim identification. In: *Forensic Odontology*. Chichester, UK: John Wiley Sons, Ltd. p 117–135.
- Alkire S, Foster JE. 2009. Counting and multidimensional poverty measurement. Oxford Poverty Human Development Initiative. Available from: <https://ophi.org.uk/working-paper-number-32/>
- Angyal M, Dérczy K. 1998. Personal Identification on the Basis of Antemortem and Postmortem Radiographs. *J Forensic Sci* 43:14365J.
- APABE. 2017. Guidance for Best Practice for the Treatment of Human Remains Excavated from Christian Burial Grounds in England. London, England.
- Aranda C, Barrientos G, Del Papa M. 2014. Código deontológico para el estudio, conservación y gestión de restos humanos de poblaciones del pasado. *Rev Argentina Antropol Biológica* 16:111–113.
- Arqueoforense. 2018. Intervención arqueológica forense-localización, excavación y exhumación de las fosas comunes del cementerio municipal de Castro del Río, 2018. Castro del Río.
- Avila-chaurand R, Prado León LR, González Muñoz EL. 2007. Dimensiones antropométricas de población latinoamericana. 2da ed. Guadalajara, Jalisco: Universidad de Guadalajara.
- Baglivo M, Winklhofer S, Hatch GM, Ampanozi G, Thali MJ, Ruder TD. 2013. The rise of forensic and post-mortem radiology—Analysis of the literature between the year 2000 and 2011. *J Forensic Radiol Imaging* 1:3–9.
- BAJAR-OSSA Freelance. 2005. Field Guide to the Excavation of Inhumated Human Remains-Guide 14. London.
- Balsheim H, Helfand M, Schünemann HJ, Oxman AD, Kunz R, Brozek J, Vist GE, Falck-Ytter Y, Meerpohl J, Norris S, Guyatt GH. 2011. GRADE guidelines: 3. Rating the quality of evidence. *J Clin Epidemiol* 64:401–406.
- Baraybar J. 2008. Diagnóstico diferencial de la tortura en restos esqueléticos: presentación de tres casos. *Cuad Med Forens* 14:277–290.
- Baraybar JP. 2015. Variation of gunshot injury patterns in mortality associated with human rights abuses and armed conflict: an exploratory study. *Sci Justice* 55:355–362.
- Batayneh AT. 2011. Archaeogeophysics-archaeological prospection - A mini review. *J King Saud Univ - Sci* 23:83–89.
- Blau S, Briggs CA. 2011. The role of forensic anthropology in Disaster Victim Identification (DVI). *Forensic Sci Int* 205:29–35.
- Blau S, Skinner M. 2005. The use of forensic archaeology in the investigation of human rights abuse: Unearthing the past in East Timor. *Int J Hum Rights* 9:449–463.

- 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 Sci Res* 3:320–342.
- de Boer HH, Roberts J, Delabarde T, Mundorff AZ, Blau S. 2020. Disaster victim identification operations with fragmented, burnt, or commingled remains: experience-based recommendations. *Forensic Sci Res* 5:191–201.
- Bourguignon F, Chakravarty SR. 2019. The Measurement of Multidimensional Poverty. In: *Poverty, Social Exclusion and Stochastic Dominance*. Springer Singapore. p 83–107.
- Brogdon B. 1998. *Forensic Radiology*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Buchholz BA, Alkass K, Druid H, Spalding KL. 2017. Bomb pulse radiocarbon dating of skeletal tissues. In: *New Perspectives in Forensic Human Skeletal Identification*. Elsevier. p 185–196.
- Byrd JE, Adams BJ. 2003. Osteometric Sorting of Commingled Human Remains. *J Forensic Sci* 48:2002189.
- Byrd JE, LeGarde CB. 2014. Osteometric Sorting. In: *Commingled Human Remains: Methods in Recovery, Analysis, and Identification*. Elsevier Inc. p 167–191.
- Byrd JE, LeGarde CB. 2018. Evaluation of method performance for osteometric sorting of commingled human remains. *Forensic Sci Res* 3:343–349.
- Caccianiga M, Bottacin S, Cattaneo C. 2012. Vegetation Dynamics as a Tool for Detecting Clandestine Graves. *J Forensic Sci* 57:983–988.
- Cantú Martínez S. 2016. Evidencia de tortura y otros tratos crueles, inhumanos o degradantes. *Resiliencia2* 1:37–54.
- Castex D, Blaizot F. 2017. Reconstructing the Original Arrangement, Organisation and Architecture of Burials in Archaeology. In: Schotsmans E, Márquez-Grant N, Forbes SL, editors. *Taphonomy of Human Remains*. UK: Wiley. p 251–276.
- CBPD. 2012. Plan Nacional de Búsqueda. Bogotá.
- Cha S, Lim JE, Park AY, Do J-H, Lee SW, Shin C, Cho NH, Kang J-O, Nam JM, Kim J-S, Woo K-M, Lee S-H, Kim JY, Oh B. 2018. Identification of five novel genetic loci related to facial morphology by genome-wide association studies. *BMC Genomics* 19:481.
- Chatterji A, Imroz P, Navlakha G, Ud-Din Z, Desai M, Parvez K. 2009. Buried evidence. Unknown, unmarked and mass graves in indian-administered Kashmir. India.
- Chi-Keb JR, Albertos-González VM, Ortega-Muñoz A, Tiesler VG. 2013. A new reference collection of documented human skeletons from Mérida, Yucatan, Mexico. *HOMO- J Comp Hum Biol* 64:366–376.
- Christensen AM, Hatch GM, Brogdon BG. 2014. A current perspective on forensic radiology. *J Forensic Radiol Imaging* 2:111–113.
- Christensen AM, Passalacqua N V., Bartelink EJ. 2012. *Forensic Anthropology: Current Methods and Practice*. San Diego: Academic Press.
- Ciaffi R, Gibelli D, Cattaneo C. 2011. Forensic radiology and personal identification of unidentified bodies: a review. *Radiol Med* 116:960–968.
- CICR. 2004. *Prácticas operacionales idóneas en relación con el tratamiento de los restos humanos y la información sobre los fallecidos para personal no especializado*. Ginebra, Suiza.
- CICR. 2006. *La gestión de cadáveres en situaciones de desastre: Guía práctica para equipos de respuesta*. Washington D.C.
- CICR. 2010. *Personas desaparecidas, análisis forense de ADN e identificación de restos humanos*. Ginebra, Suiza: Comité Internacional de la Cruz Roja.
- CICR. 2014a. *Base De Datos Ante Mortem /Post Mortem*. Gine.
- CICR. 2014b. *Identificación forense de restos humanos*. Ginebra, Suiza: Comité Internacional de la Cruz Roja.
- CICR. 2017. *Guía práctica para la recuperación y análisis de restos humanos en contextos de violaciones a los derechos humanos e infracciones contra el derecho internacional humanitario*. Perú.
- CIFA. 2014. *Standards and guidance for forensic archaeologists*.
- Claes P, Hill H, Shriver MD. 2014. Toward DNA-based facial composites: Preliminary results and validation. *Forensic Sci Int Genet* 13:208–216.
- CNB. 2020. *Protocolo Homologado para la Búsqueda de Personas Desaparecidas y No Localizadas*. México.
- Congram D, Vidoli G. 2016. Arqueología forense: contexto, métodos e interpretación. In: Sanabria-Medina C, editor. *Patología y Antropología Forense de la Muerte: La investigación científico-judicial de la muerte y la tortura, desde las fosas clandestinas, hasta*

- la audiencia pública. Bogotá: Forensic Publisher. p 113–133.
- Congram DR. 2008. A clandestine burial in Costa Rica: Prospection and excavation. *J Forensic Sci* 53:793–796.
- Corsi C. 2013. Good Practice in Archaeological Diagnostics: An Introduction. In: Corsi C, Slapšak B, Vermeulen F, editors. *Good Practice in Archaeological Diagnostics*. New York: Springer. p 347.
- Cox M, Flavel A, Hanson I, Laver J, Wessling R. 2008. *The scientific investigation of mass graves*. Cambridge: Cambridge Univ Press.
- Curl J. 1999. *Oxford dictionary of architecture*. Oxford Uni. Oxford.
- Duday H. 2016. Antropología biológica “de campo”, tafonomía y arqueología de la muerte. In: *El cuerpo humano y su tratamiento mortuario*. Centro de estudios mexicanos y centroamericanos. p 91–126.
- Dupras TL, Schultz JJ. 2014. Taphonomic Bone Staining and Color Changes in Forensic Contexts. In: Pokines J, Symes S, editors. *Manual of Forensic Taphonomy*. Boca Raton, FL: CRC Press Taylor Francis Group. p 314–340.
- Dupras TL, Schultz JJ, Wheeler SM, Williams LJ. 2011. *Forensic Recovery of Human Remains: Archaeological Approaches*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Dupras TL, Schultz JJ, Wheeler SM, Williams LJ. 2012. *Forensic Recovery of Human Remains: Archaeological Approache*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- EAAF. 2020. *Guía forense para la investigación, recuperación y análisis de restos óseos*. Buenos Aires.
- Egaña S, Turner S, Doretti M, Bernardi P, Ginarte A. 2008. Commingled remains and human rights investigations. *Recover Anal Identif Commingled Hum Remain*:57–80.
- Endere ML, Ayala P. 2012. Normativa legal, recaudos éticos y práctica arqueológica. Un estudio comparativo de Argentina y Chile. *Chungara* 44:39–57.
- Equitas. 2020. *Análisis y recomendaciones técnicas para la administración de la muerte en tiempos de pandemia Covid-19*. Bogota: Equitas.
- EQUITAS. 2010. *Propuestas metodológicas para la documentación y búsqueda de personas desaparecidas en Colombia*. Bogotá: Equitas.
- Etxeberria F, Herrasti L, Puente J, Bandrés A, Jimenez J, Perez L. 2010. Exhumación y análisis de los restos humanos recuperados en una fosa común del cementerio de Tudela, Navarra. *Munibe Antropol - Arkeol*:394–406.
- FAS-OSAC-NIST. 2020. *Forensic Anthropology Subcommittee | NIST*.
- FISWG. 2018. *Facial Identification Scientific Working Group*. Available from: fiswg.org
- Garrido Varas C, Intriago Leiva M. 2012. Managing commingled remains from mass graves: Considerations, implications and recommendations from a human rights case in Chile. *Forensic Sci Int* 219:e19–e24.
- Gatti G. 2011. De un continente al otro: el desaparecido transnacional, la cultura humanitaria y las víctimas totales en tiempos de guerra global. *Polit y Soc* 48:519–536.
- GEC. 2018. *Plan estatal de exhumaciones e identificación forense para el ejercicio 2018*. Saltillo.
- Gener Basallote J, Martínez Muñoz R, Guijo Mauri J, Cepillo Galván J, Arazo Moreno A. 2019. La arqueología como instrumento metodológico en la investigación de los casos de sustracción de neonatos sin la autorización de los progenitores. *ROMULA* 17:155–184.
- Giasf. 2018. *Guía de búsqueda de personas desaparecidas con enfoque en la verdad y la justicia*. Cuernavaca, Morelos.
- Gibelli D, Obertová Z, Ritz-Timme S, Gabriel P, Arent T, Ratnayake M, De Angelis D, Cattaneo C. 2016. The identification of living persons on images: A literature review. *Leg Med* 19:52–60.
- Gil-Chavarría I, Solis-Rosales C, Rodríguez-Ceja M, Chávez-Lomelí E, Martínez-Carrillo MÁ, Mondragón Sosa MA, Huerta-Pacheco NS, Quinto-Sanchez M. 2020. Analysis of ¹⁴C concentration in teeth to estimate the year of birth in the Mexican population. *J Forensic Leg Med* 76:102077.
- GLAAF. 2016. *Guía Latinoamericana de buenas prácticas para la aplicación en antropología forense*. Colombia.
- Goliath JR, Stewart MC, Stout SD. 2016. Variation in osteon histomorphometrics and their impact on age-at-death estimation in older individuals. *Forensic Sci Int* 262:282.e1–282.e6.
- González D, Ruiz J, Chavez L, Guevara J. 2019. *Violencia y Terror: hallazgos sobre fosas clandestinas en México 2006-2017*. CDMX.
- Guberek T, Guzman D, Vejarano B. 2010. Cementerios legales. In: Equitas, editor. *Propuestas metodológicas para la documentación y*

- búsqueda de personas desaparecidas en Colombia. Bogotá: Equitas. p 31–43.
- Haglund WD, Connor M, Scott DD. 2001. The archaeology of contemporary mass graves. *Hist Archaeol* 35:57–69.
- Harris EC. 1979. The laws of archaeological stratigraphy. *World Archaeol* 11:111–117.
- Harris EC. 1991. *Principios de Estratigrafía Arqueológica*. Barcelona: Editorial Crítica.
- Hazinski M, Shuster M, Donnino M, Travers A, Samson R, Schexnayder S, Sinz E, Woodin J, Atkins D. 2015. Highlights of the 2015 American Heart Association - Guidelines Update for CPR and ECG. *Am Hear Assoc*:1–36.
- Herrasti L, Jiménez J, Etxeberria F. 2019. Abordaje integral para el análisis y estudio de una fosa común de la Guerra Civil Española. *ROMULA* 17:41–57.
- Herrera JI. 2010. Peritaje Antropológico: Sus realidades e imaginarios como prueba judicial federal. *MANEJO CULTURAL / INDESOL*.
- Hochrein M. 2001. An Autopsy of the Grave: Recognizing, Collecting, and Preserving Forensic Geotaphonomic Evidence. In: *Advances in Forensic Taphonomy*. CRC Press. p 45–70.
- Hunter J, Cox M. 2005. *Forensic archaeology: advances in theory and practice*. New York: Routledge.
- ICMP. 2020. Mass Grave Protection and Investigation The Bournemouth Protocol on. UK.
- INEGI. 2020. Glosario.. Available from: <https://www.inegi.org.mx/app/glosario/default.html?p=cngmd2017>
- INMLCF. 2016. *Estándares Forenses Mínimos para la Búsqueda de Personas Desaparecidas y la Recuperación e Identificación de Cadáveres*. Bogota.
- IVIC-INTERPOL. 2018. *Guía de INTERPOL para la Identificación de Víctimas de Catástrofes (IVC)*, parte A. London, UK.
- Jalalzadeh H, Giannakopoulos GF, Berger FH, Fronczek J, van de Goot FRW, Reijnders UJ, Zuidema WP. 2015. Post-mortem imaging compared with autopsy in trauma victims – A systematic review. *Forensic Sci Int* 257:29–48.
- Jessee E, Skinner M. 2005. A typology of mass grave and mass grave-related sites. *Forensic Sci Int* 152:55–59.
- Juhl K. 2005. The Contribution by (Forensic) Archaeologists to Human Rights Investigations of Mass Graves.
- Juhl K, Einar Olsen O. 2006. Societal safety, archaeology and the investigation of contemporary mass graves. *J Genocide Res* 8:411–435.
- Kahana T, Hiss J. 1997. Identification of human remains: forensic radiology. *J Clin Forensic Med* 4:7–15.
- Kalacska ME, Bell LS, Arturo Sanchez-Azofeifa G, Caelli T. 2009. The Application of Remote Sensing for Detecting Mass Graves: An Experimental Animal Case Study from Costa Rica*. *J Forensic Sci* 54:159–166.
- Kimmerle E, Baraybar J. 2008a. *Skeletal Trauma: Identification of Injuries Resulting from Human Rights Abuse and Armed Conflict*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Kimmerle EH, Baraybar J. 2008b. Skeletal Evidence of Torture. In: *Skeletal Trauma*. Boca Raton, Florida: CRC Press. p 201–262.
- Kolbuszewski J. 1995. Cemeteries as a text of culture. In: Czerner O, Juszliwick I, editors. *Cemetery art*. Wroclaw: ICOMOS.
- Konigsberg LW, Adams BJ. 2014. *Estimating the Number of Individuals Represented by Commingled Human Remains: A Critical Evaluation of Methods*. Elsevier.
- Kontanis EJ, Sledzik PS. 2014. *Resolving Commingling Issues During the Medicolegal Investigation of Mass Fatality Incidents*. Elsevier.
- L'Abbé EN. 2005. A case of commingled remains from rural South Africa. *Forensic Sci Int* 151:201–206.
- Mariotti V, Bonfiglioli B, Facchini F, Condemi S, Belcastro MG. 2009. Funerary practices of the Iberomaurusian population of Taforalt (Tafoughalt; Morocco, 11-12,000 BP): new hypotheses based on a grave by grave skeletal inventory and evidence of deliberate human modification of the remains. *J Hum Evol* 56:340–354.
- Marroquin O. 2006. El Peritaje cultural indígena como forma del pluralismo jurídico indígena en Guatemala. Cuaderno d. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, Instituto de Investigaciones Jurídicas, Instituto de Investigaciones Jurídicas - UNAM,.
- Mata OD. 2017. Traducciones de la ‘ idea de desaparición (forzada) ’ en México. In: Yankelevich Y, editor. *Desde y frente al Estado: pensar, atender y resistir la desaparición de personas en México*. CDMX: Suprema Corte de Justicia de la Nación. p 27–73.
- Meyer R. 1997. Cemeteries. In: Goreham G, editor. *Encyclopedia of rural America*. Oxford: ABCCLio.
- Mohd Noor MS, Khoo LS, Zamaliana Alias WZ, Hasmi AH, Ibrahim MA, Mahmood MS. 2017. The clandestine multiple graves in Malaysia: The first mass identification operation of human skeletal remains. *Forensic Sci Int* 278:410.e1-410.e9.
- Moran P. 1950. Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika* 37:17–23.

- Morewitz SJ, Colls CS. 2016. Handbook of missing persons.
- Mykhalovskiy E, Weir L. 2004. The problem of evidence-based medicine: Directions for social science. *Soc Sci Med* 59:1059–1069.
- Naji S, de Becdelièvre C, Djouad S, Duday H, André A, Rottier S. 2014. Recovery Methods for Cremated Commingled Remains: Analysis and Interpretation of Small Fragments Using a Bioarchaeological Approach. Elsevier.
- NCD Risk Factor. 2016. A century of trends in adult human height. *Elife* 5:1–29.
- Nikita E, Lahr MM. 2011. Simple algorithms for the estimation of the initial number of individuals in commingled skeletal remains. *Am J Phys Anthropol* [Internet] 146:629–636.
- NRC. 2009. Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward. Washington, DC.
- ONU. 2001. Manual de Investigación y Documentación Efectiva sobre Tortura, Castigos y Tratamientos Crueles, Inhumanos o Degradantes. New York, NY.
- OPS. 2004. Manejo de cadáveres en situaciones de desastre. Washington, D.C.
- Ortner DJ. 2008. Differential Diagnosis of Skeletal Injuries. In: Kimmerle E, Baraybar J, editors. *Skeletal Trauma*. Boca Raton, Florida: CRC Press. p 21–93.
- Osterholtz A. 2016. Theoretical Approaches to Analysis and Interpretation of Commingled Human Remains. New York: Springer.
- Osterholtz AJ. 2018. Commingled Human Remains. *Encycl Archaeol Sci*:1–3.
- Osterholtz AJ. 2019. Advances in Documentation of Commingled and Fragmentary Remains. *Adv Archaeol Pract* 7:77–86.
- Osterholtz AJ, Baustian KM, Martin DL. 2014. Commingled and Disarticulated Human Remains. New York: Springer.
- Owsley DW. 1995. Techniques for locating burials, with emphasis on the probe. *J Forensic Sci* 40:735–740.
- Pavón MV, Cucina A, Tiesler V. 2010. New formulas to estimate age at death in Maya populations using histomorphological changes in the fourth human rib*. *J Forensic Sci* 55:473–7.
- PGR. 2015. Protocolo para el tratamiento e identificación forense. Mexico DF.
- Plazola A, Plazola A, Plazola G. 1996. Enciclopedia de Arquitectura Plazola. Mexico DF: Plazola Editores.
- Polo-Cerdá M, García-Prósper E, Crespo Alonso S, Galtés I, Márquez-Grant N, García-Rubio A, Armentano N, Muñoz Hernández V. 2018. Protocolo de búsqueda, levantamiento y exhumación de restos humanos. *Rev Int Antropol y Odontol Forense* 1:7–23.
- Puerto MS, Egaña S, Doretti M, Vullo CM. 2014. A Multidisciplinary Approach to Commingled Remains Analysis: Anthropology, Genetics, and Background Information. Elsevier.
- R Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing.
- RCDF. 1984. Reglamento de cementerios del Distrito Federal. CDMX.
- REN. 2020. Red de Enlaces Nacionales. Available from: <http://www.reddeenlacesnacionales.com/>
- Renfrew C, Bahn P. 2011. Arqueología. Teorías, métodos y práctica. 2da ed. Madrid: Ediciones Akal.
- Robledo C, Escorcía L, Querales M, García G. 2016a. Violencia e ilegalidad en las fosas de Tetelcingo: Interpretaciones desde la antropología. *Resiliencia*:8–24.
- Robledo C, Escorcía L, Querales M, García G. 2016b. Violencia e ilegalidad en las fosas de Tetelcingo: Interpretaciones desde la antropología. *Resiliencia* 1:7.24.
- Rogers TL, Allard TT. 2004. Expert testimony and positive identification of human remains through cranial suture patterns. *J Forensic Sci* 49:203–7.
- Ruffell A. 2005. Burial location using cheap and reliable quantitative probe measurements. *Forensic Sci Int* 151:207–211.
- Rugg J. 2000. Defining the place of burial: What makes a cemetery a cemetery? *Mortality* 5:259–275.
- Sackett DL. 1997. Evidence-based medicine. *Semin Perinatol* 21:3–5.
- Sackett DL, Rosenberg WMC, Gray JAM, Haynes RB, Richardson WS. 1996. Evidence based medicine: what it is and what it isn't. *BMJ* 312.
- SACs. 2020. Scientific Area Committees | NIST. Available from: <https://www.nist.gov/topics/organization-scientific-area-committees-forensic-science/scientific-area-committees>

- Sánchez Marcos I, Carrión Méndez F, Borja Miranda E, Quiroga García D, Gutierrez Mesa L. 2019. Claves metodológicas para la intervención arqueológico-forense en cementerios: el ejemplo de Nuestgra Señora de Araceli (Lucena, Córdoba). *ROMULA* 17:13–39.
- Schaefer M. 2014. *A Practical Method for Detecting Commingled Remains Using Epiphyseal Union*. Elsevier.
- Schotsmans EMJ, García-Rubio A, Edwards HGM, Munshi T, Wilson AS, Ríos L. 2017. Analyzing and Interpreting Lime Burials from the Spanish Civil War (1936–1939): A Case Study from La Carcavilla Cemetery. *J Forensic Sci* 62:498–510.
- Silvestre CR. 2019. Descolonizar el encuentro con la muerte: hacia una ciencia afectiva en torno a la exhumación de fosas comunes en México. *Rev SOBRE ACESSO À JUSTIÇA E DIREITOS NAS AMÉRICAS* 3:140–170.
- De Simone S, Hackman LS. 2019. Evaluation of the applicability of regression equations for sorting commingled remains on 3-Dimensional bony elements from CT scans. *Forensic Sci Int* 301:160–165.
- Skinner M. 1987. Planning the archaeological recovery of evidence from recent mass graves. *Forensic Sci Int* 34:267–287.
- Skinner M, Alempijevic D, Djuric-Srejec M. 2003. Guidelines for International Forensic Bio-archaeology Monitors of Mass Grave Exhumations. *Forensic Sci Int* 134:81–92.
- Skinner M, Sterenberg J. 2005. Turf wars: Authority and responsibility for the investigation of mass graves. *Forensic Sci Int* 151:221–232.
- Steele C. 2008. Archaeology and the Forensic Investigation of Recent Mass Graves: Ethical Issues for a New Practice of Archaeology. *Archaeologies* 4:414–428.
- SWGANTH. 2010a. Sex Assessment.
- SWGANTH. 2010b. Qualifications.
- SWGANTH. 2010c. Personal Identification.
- SWGANTH. 2011a. Trauma Analysis.
- SWGANTH. 2011b. Skeletal Sampling and Preparation.
- SWGANTH. 2011c. Laboratory Management and Quality Assurance.
- SWGANTH. 2011d. Facial Approximation.
- SWGANTH. 2011e. Bylaws.
- SWGANTH. 2012a. Stature Estimation.
- SWGANTH. 2012b. Statistical Methods.
- SWGANTH. 2012c. Proficiency Testing.
- SWGANTH. 2012d. Identifying and Describing Pathological Conditions, Lesions, and Anomalies.
- SWGANTH. 2012e. Documentation, Reporting and Testimony.
- SWGANTH. 2013a. Taphonomic Observations.
- SWGANTH. 2013b. Scene Detection and Processing.
- SWGANTH. 2013c. Resolving Commingled Human Remains.
- SWGANTH. 2013d. Education and Training.
- SWGANTH. 2013e. Determination of Medicolegal Significance.
- SWGANTH. 2013f. Code of Ethics and Conduct.
- SWGANTH. 2013g. Ancestry Assessment.
- SWGANTH. 2013h. Age Estimation.
- SWGANTH. 2013i. Scene Detection and Processing.
- Thali MJ, Braun M, Buck U, Aghayev E, Jackowski C, Vock P, Sonnenschein M, Dirnhofer R. 2005. VIRTopsy—Scientific Documentation, Reconstruction and Animation in Forensic: Individual and Real 3D Data Based Geo-Metric Approach Including Optical Body/Object Surface and Radiological CT/MRI Scanning. *J Forensic Sci* 50:1–15.
- Thali MJ, Schweitzer W, Yen K, Vock P, Ozdoba C, Spielvogel E, Dirnhofer R. 2003. New Horizons in Forensic Radiology. *Am J Forensic Med Pathol* 24:22–27.

- Tuller H, Đurić M. 2006. Keeping the pieces together: Comparison of mass grave excavation methodology. *Forensic Sci Int* 156:192–200.
- Ubelaker DH. 2014. Radiocarbon Analysis of Human Remains: A Review of Forensic Applications. *J Forensic Sci* 59:1466–1472.
- UNAMI-OHCHR. 2018. Unearthing Atrocities: Mass Graves in territory formerly controlled by ISIL.
- Urbanová P, Novotný V. 2005. Distinguishing between human and non-human bones: Histometric method for forensic anthropology. *Anthropologie* 43:77–85.
- Villanueva Guzmán, Roberto Ramírez N. 2016. Niñas inhumadas de manera clandestina en Tetelcingo. *Resiliencia* 1:55–70.
- Villarreal H. 2019. Fundamento de los derechos post mortem de la persona y su situación en la Ciudad de México. In: *I Coloquio de Derechos Humanos UAM*. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana. p 23.
- Wagner S. 2014. *The Social Complexities of Commingled Remains*. Elsevier.
- Yetley EA, MacFarlane AJ, Greene-Finestone LS, Garza C, Ard JD, Atkinson SA, Bier DM, Carriquiry AL, Harlan WR, Hattis D, King JC, Krewski D, O'Connor DL, Prentice RL, Rodricks J V., Wells GA. 2017. Options for basing Dietary Reference Intakes (DRIs) on chronic disease endpoints: Report from a joint US-/Canadian-sponsored working group. In: *American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 105. American Society for Nutrition. p 249S-285S.

Anexo 1

No	Código	Municipio	Estado	Nombre del reglamento	Definición de fosa común
1	AGS	Aguascalientes	Aguascalientes	Reglamento de Panteones para el Municipio de Aguascalientes	Fosa: Hoyo en la tierra para enterrar uno o más cadáveres
2	ENS	Ensenada	Baja California	Reglamento del Servicio Público de Cementerios del Municipio de Ensenada	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados.
3	MXL	Mexicali	Baja California	Reglamento de Cementerios del Municipio de Mexicali	No la define
4	TIJ	Tijuana	Baja California	Reglamento de Panteones en el Municipio de Tijuana	No la define
5	LA PAZ	La Paz	Baja California Sur	Reglamento de Cementerios para el Municipio de La Paz, Baja California Sur	El lugar destinado para inhumación de cadáveres y de restos humanos no identificados o no reclamados
6	CAMP	Campeche	Campeche	Reglamento de Cementerios para el Municipio de Campeche	No la define
7	LAG	La Laguna	Coahuila-Durango		
	LAG	Torreón	Coahuila	Reglamento de panteones para el Municipio de Torreón	Lugar destinado para el servicio común de inhumaciones de restos humanos no identificados.
	LAG	Matamoros	Coahuila	Reglamento de Panteones para el Municipio de Matamoros, Coahuila	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados;
	LAG	Francisco I. Madero	Coahuila	Reglamento de Panteones y Crematorios de Francisco I Madero, Coahuila	Lugar destinado para el servicio común de inhumaciones de restos humanos no identificados
	LAG	Lerdo	Durango	Reglamento de panteones para el Municipio de Lerdo	Sitio que se encuentra en el cementerio o panteón para el servicio de inhumación de cadáveres y/o restos humanos.
	LAG	Gómez Palacio	Durango	Reglamento de panteones para el Municipio de Gómez Palacio	No definido
8	MON	Monclova-Frontera			
9	PNG	Piedras Negras			
10	SAL	Saltillo	Coahuila	Reglamento de panteones para el Municipio de Saltillo, Coahuila	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados
	COL	Colima-Villa de Álvarez			
11	COL	Colima	Colima	Reglamento de cementerios	No definido
	COL	Villa de Álvarez	Colima	Reglamento de cementerios del Municipio de Villa de Álvarez, Colima	No definido
12	TEC	Tecomán	Colima	Reglamento de panteones en el Municipio de Tecomán, Col	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres, restos humanos, esqueletos o partes de él no identificados.
13	TAP	Tapachula	Chiapas	Reglamento de panteones	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados.
14	TUX	Tuxtla Gutierrez	Chiapas	Reglamento de panteones para el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.	El lugar destinado para inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados
15	CHIH	Chihuahua	Chihuahua	Reglamento de servicios públicos de Panteones del Municipio de Chihuahua	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados
16	DEL	Delicias			
17	HGOP	Hidalgo del Parral			
18	JRZ	Juárez	Chihuahua	Reglamento de Cementerios y Servicios Funerarios del Municipio de Juárez	Lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados.
	VM	Valle de México			
19	VM	Ciudad de México	Ciudad de México	Reglamento de cementerios del Distrito Federal	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados
	VM	Estado de México	Estado de México		
20	DGO	Durango	Durango	Reglamento de Panteones para el Municipio de Durango	Sepulcro donde son depositados los cadáveres o restos humanos cuya identidad se desconoce, o no hayan sido reclamados para su inhumación
21	CEL	Celaya	Guanajuato	Reglamento de Cementerios del Municipio de Celaya, Gto.	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados.
22	GTO	Guanajuato	Guanajuato	Reglamento del Servicio Público de Panteones en el Municipio de Guanajuato, Gto.	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados

No	Código	Municipio	Estado	Nombre del reglamento	Definición de fosa común
	MU	Moroleón-Uriangato			
24	MU	Moroleón	Guanajuato	Reglamento de Panteones para el Municipio de Moroleón, Guanajuato	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados.
	MU	Uriangato	Guanajuato	Reglamento de Panteones y Cementerios para el Municipio de Uriangato, Guanajuato	La excavación del terreno en la que son depositados los cadáveres o sus restos, en virtud de no haber sido reclamados en un tiempo determinado o lo soliciten sus deudos o por determinación de las autoridades competentes
25	SFCO	San Francisco del Rincón	Guanajuato	Reglamento de Panteones para el Municipio de San Francisco del Rincón Gto.	Los cementerios o panteones municipales deberán contar con una sección llamada fosa común, en la que serán depositados los restos de los cadáveres humanos, cuando no sean reclamados por sus familiares y amigos dentro de las 72 horas posteriores a su fallecimiento.
26	ACAP	Acapulco	Guerrero	Reglamento de cementerios del Municipio de Acapulco de Juárez, Guerrero	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados.
27	CHIL	Chilpancingo	Guerrero		
28	PACH	Pachuca de Soto	Hidalgo	Reglamento de Panteones para el Municipio de Pachuca	No definido
29	TULA	Tula	Tamaulipas	Reglamento de panteones del Municipio de Tula, Tamaulipas	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados.
30	TGO	Tulancingo	Hidalgo	Reglamento de panteones para el Municipio de Tulancingo de Bravo, Hidalgo	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados.
31	GDL	Guadalajara	Jalisco	Reglamento de Panteones para el Municipio de Guadalajara	La excavación horizontal en el terreno de un panteón destinada a la inhumación de cadáveres y restos humanos de personas desconocidas y no reclamados.
32	OCO	Ocotlán	Jalisco	Reglamento de Cementerios para el Municipio de Ocotlán, Jalisco	No definido
33	PVALL	Puerto Vallarta	Jalisco	Reglamento de cementerios	Los cadáveres de personas desconocidas o no reclamadas serán inhumados en la fosa común o incinerados, según convenga. Para efectos de este artículo se considera como persona desconocida a aquella cuyo cuerpo no fue reclamado dentro de las setenta y dos horas posteriores a su fallecimiento, o bien cuando se ignora su identidad.
34	TIAN	Tianguistenco	Hidalgo	Reglamento de panteones	Cada panteón deberá destinar una superficie, para la fosa común la cual estará ubicada en la parte posterior. La fosa común será destinada para depositar cadáveres, y restos humanos de personas desconocidas, previa autorización en su caso, del Agente del Ministerio Público o de la Autoridad Judicial.
35	TOL	Toluca	Estado de México		
	PIED	La Piedad-Penjamo			
	PIED	La Piedad	Guanajuato		
36	PIED	Penjamo	Guanajuato	Reglamento de Panteones para el Municipio de Pénjamo, Guanajuato	Fosa: La excavación en el terreno de un panteón horizontal destinada a la inhumación de cadáveres o restos humanos, y puede ser de dos tipos fosa común o separada de privilegio
37	MOR	Morelia	Michoacán	Reglamento de Panteones y Cementerios del Municipio de Morelia	No definido
38	ZAM	Zamora	Michoacán	Reglamento de cementerios municipales de Zamora, Michoacán.	No definido
39	CUA	Cuautla	Morelos	Reglamento de panteones para el Municipio de Cuautla, Morelos	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados
40	CUER	Cuernavaca	Morelos	Reglamento de Panteones para el Municipio de Cuernavaca, Morelos	Lugar destinado para la inhumación de cadáveres no identificados
41	TEPIC	Tepic	Nayarit	Reglamento de cementerios para el Municipio de Tepic	Lugar o espacio físico destinado para la inhumación de cadáveres y sus restos, de personas desconocidas o no identificadas
42	MTY	Monterrey	Nuevo León	Reglamento de Panteones del Municipio de Monterrey	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres, restos humanos, esqueletos o partes de él no identificados.
43	OAX	Oaxaca	Oaxaca	Reglamento de Panteones del Municipio de Oaxaca de Juárez, Oax.	Lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados, previa orden del Ministerio Público, de la Autoridad Judicial o del Oficial del registro civil.
44	TEH	Tehuacán			
	PUE	Puebla-Tlaxcala			
45	PUE	Puebla	Puebla	Código Reglamentario para el Municipio de Puebla	Al lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados
46	TEZ	Teziutlán	Puebla	Reglamento de Panteones para el Municipio de Teziutlán, Puebla	Al lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados
47	QRO	Querétaro	Querétaro		

No	Código	Municipio	Estado	Nombre del reglamento	Definición de fosa común
48	CANCÚN	Cancún			
49	CHT	Chetumal			
50	RVDE	Río Verde			
51	SLP	San Luis Potosí	San Luis Potosí	Reglamento de cementerios del Municipio Libre de San Luis Potosí, S.L.P.	Excavación en la tierra, ubicado en un cementerio autorizado, realizada para la inhumación de un cadáver o restos humanos no identificados o no reclamados.
52	CUL	Culiacán	Sinaloa	Reglamento Municipal de Panteones de Culiacán, Sinaloa	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados
53	MTZ	Mazatlán	Sinaloa	Reglamento de Panteones para el Municipio de Mazatlán, Sinaloa	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados
54	GYS	Guaymas	Sonora	Reglamento para la Prestación del Servicio Público de Panteones en el Municipio de Guaymas, Sonora	No definido
55	HMO	Hermosillo	Sonora	Reglamento del Servicio Público de Panteones y Servicios Funerarios para el Municipio de Hermosillo	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados
56	NOG	Nogales			
57	VHSA	Villahermosa			
58	CDVIC	Ciudad Victoria	Tamaulipas	Reglamento de Panteones del Municipio de Victoria, Tamaulipas	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados o no reclamados.
59	MAM	Matamoros	Tamaulipas	Reglamento de Cementerios para el Municipio de Matamoros, Tamaulipas	No definido
60	LAR	Nuevo Laredo	Tamaulipas	Reglamento de Panteones del Municipio de Nuevo Laredo, Tamaulipas	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados
61	RSA	Reynosa	Tamaulipas	Reglamento de Cementerios del Municipio de Reynosa, Tamaulipas	Lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados.
62	TAMP	Tampico	Tamaulipas		
	TLAX	Tlaxcala-Apizaco			
63	TLAX	Tlaxcala*			
	TLAX	Apizaco	Tlaxcala	Reglamento de Panteones del Municipio de Apizaco, Tlaxcala	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres, restos humanos, esqueletos o partes de él no identificados.
64	ACAN	Acayucan			
65	COATZA	Coatzacoalcos			
66	COR	Córdoba	Veracruz	Reglamento de los Cementerios Municipales de Córdoba	No definido
67	MNT	Minatitlán	Veracruz	Reglamento de Cementerios para el Municipio de Minatitlán	No definido
68	ORI	Orizaba	Veracruz	Reglamento de Cementerios para el Municipio de Orizaba Veracruz de Ignacio de la Llave	No definido
69	POZA	Poza Rica	Veracruz	Reglamento de Panteones para el Municipio de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz de Ignacio de la Llave	El lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados.
70	VER	Veracruz	Veracruz	Reglamento de Panteones del Municipio Libre de Veracruz	El lugar destinado para la inhumación o rehumación de cadáveres humanos, sus partes, restos o restos áridos.
71	XAL	Xalapa	Veracruz		
72	MER	Mérida	Yucatán	Reglamento del Servicio Público de Panteones del Municipio de Mérida	Es el espacio de uso gratuito en el que son depositados los cadáveres, los órganos humanos, los restos humanos áridos, en los casos siguientes: a. Cuando no hayan sido reclamados, después de transcurridos tres años contados a partir de la fecha de la inhumación; b. Cuando lo soliciten sus deudos, y c. Cuando lo determinen las autoridades competentes.
73	ZAC	Zacatecas	Zacatecas	Reglamento de Panteones para el Municipio de Zacatecas	La excavación en el terreno de un panteón horizontal destinada a la inhumación de cadáveres no identificados.

Celdas en verde, cementerios con reglamento y definición de fosa común. Celdas en blanco, cementerios con reglamento pero sin definición de fosa común. Celdas en gris, no se encontró el reglamento.

Anexo 2: Tipologías de inhumaciones en panteones o cementerios: contexto funerario.

Dentro de los contextos cementeriales existe una diversidad de tipologías de inhumaciones que pueden encontrarse en el contexto de ejecución del Programa Nacional de Exhumaciones con una perspectiva de Gestión Integral de Panteones. Aquí se definen y contextualizan los posibles escenarios de inhumación que representarán adecuaciones respecto de la estrategia de exhumación para cada caso.

Cementerio horizontal. Es todo “aquel en donde los cadáveres, restos humanos y restos humanos áridos o cremados se depositarán bajo tierra” (Figura 28a).

Cementerio vertical. Todo espacio “constituido por uno o más edificios con gavetas superpuestas e instalaciones para el depósito de cadáveres, restos humanos y restos humanos áridos o cremados”.

Inhumaciones regulares. Se trata de aquellos espacios establecidos en la generalidad de reglamentos de panteones como fosa o tumba, definidos como “la excavación en el terreno de un cementerio horizontal destinada a la inhumación de cadáveres”. En estos espacios, por generalidad, se inhuman personas identificadas según tradiciones funerarias del lugar. Además, dependiendo del estatus socioeconómico se podrá encontrar supra-estructuras mortuorias: placas, lápidas o mausoleos que son reglamentarias y que contienen datos de la persona inhumada (RCDF, 1984; Rugg, 2000). En los cementerios, la mayor capacidad de carga esta concentrada en este tipo de fosas y por la saturación se ha aumentado el número de fosas u optado por desarrollar cementerios verticales. Según el reglamento de panteones de la CDMX, las dimensiones de fosas para personas adultas deberán tener 2.25 metros de largo por 1.00 metros de ancho y 1.50 metros de profundidad. Este espacio deberá tener una estructura compuesta de encortinados de tabique de 14 centímetros de espesor a lo largo y de 7 centímetros a lo ancho. En algunos casos se colocan losas de concreto de 5 centímetros en la parte superior de la fosa o para dividir tres niveles en un solo espacio (figura 28b). Aquí

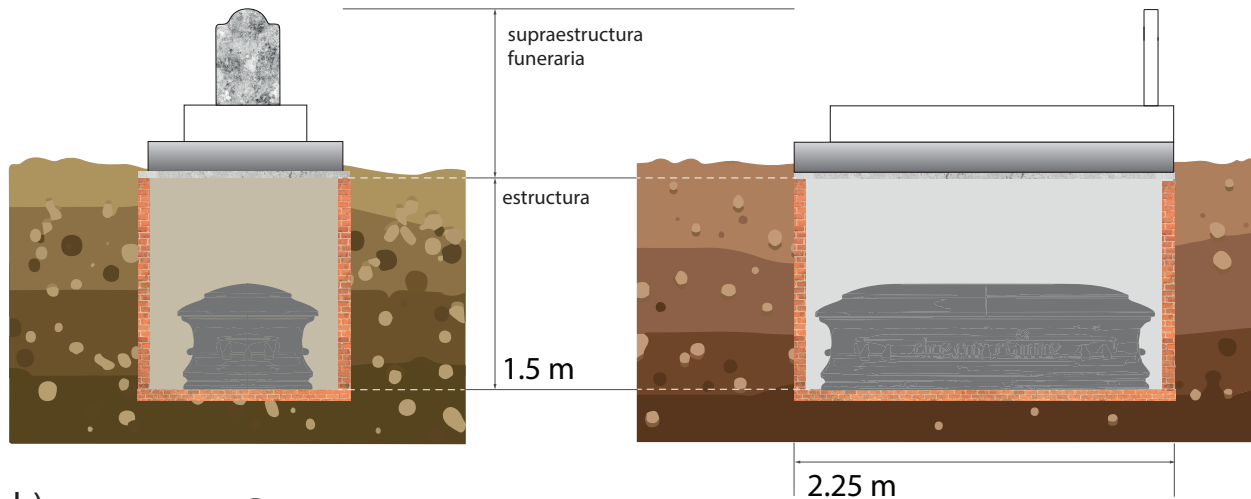
regularmente serán inhumadas personas en féretros o ataúdes y por los contextos locales de terreno pudieran encontrarse en dos formas: completos o colapsados (figura 28e). Completos serán aquellos que su estructura y ataúd se encuentren intactos pasado el tiempo reglamentario de inhumación. Colapsados, serán aquellos donde la estructura o ataúd hayan perdido su integridad, ocasionando que haya sustrato dentro de la estructura o ataúd lo que implica una intervención minuciosa e incluso una microexcavación en el ataúd para recuperar todos los restos de la persona. Lo anterior, es de importancia considerarlo para integrar el plan de intervención y la estrategia de exhumación a realizar según el tipo de fosa o tumba, sobre todo en aquellas fosas de personas identificadas no reclamadas (PINR), mismas que al paso del periodo de 8 años pueden ser depositadas en osarios, fosa común o nichos, todo ello dependiente del reglamento del cementerio y su infraestructura.

Reducciones esqueléticas. Como una práctica mortuoria en las fosas regulares y para poder eficientizar el entierro de más personas en una fosa, al término del tiempo de inhumación primaria de una persona (aprox. 8 años) se colocan los restos áridos en una bolsa o caja y se colocan a los pies de la persona inhumada, esto varía mucho dependiendo el cementerio por lo que debe ser validado en cada región.

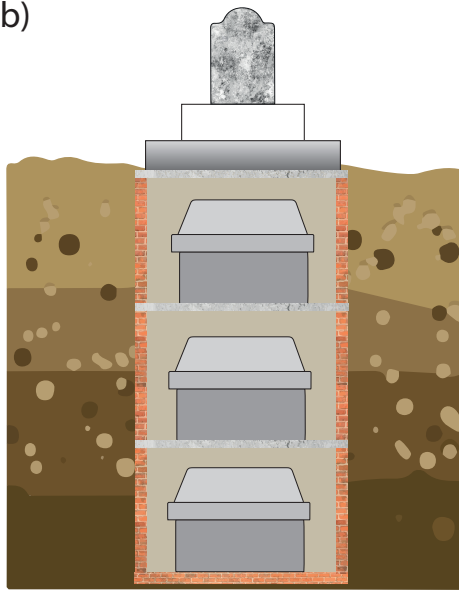
Nichos. Para el Reglamento de la CDMX se trata de “el espacio destinado al depósito de restos humanos áridos o cremados” (Figura 28d). Empero, existe ambigüedad en la definición de nicho, ya que para algunos casos es sinonimia de fosas superficiales (verticales), donde se da inhumación a féretros dispuestos en una estructura de cemento vertical (Figura 28c). Aquí, a estas estructuras se les denomina Gavetas.

Gavetas. Se trata de un “espacio construido dentro de una cripta o cementerio vertical, destinado al depósito de cadáveres”. Existe una posible sinonimia con nichos (Figura 28c).

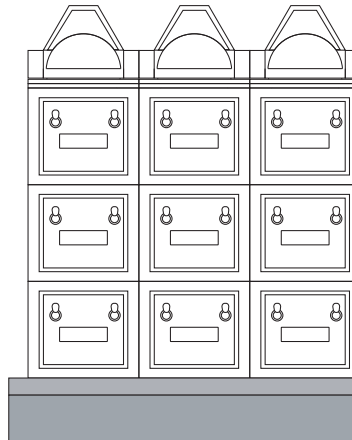
a)



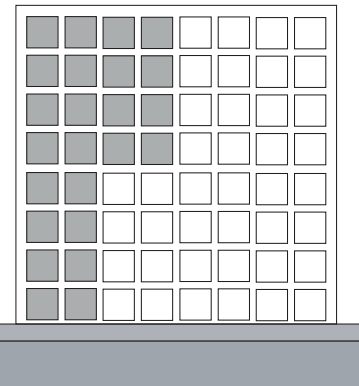
b)



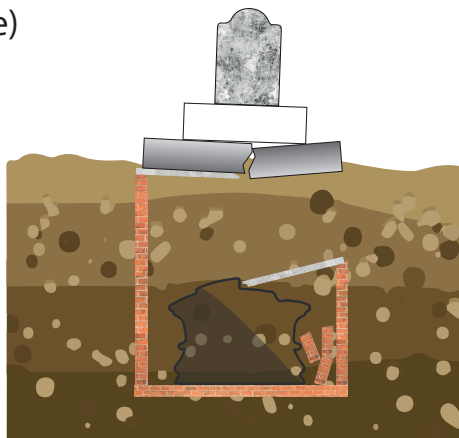
c)



d)



e)



f)

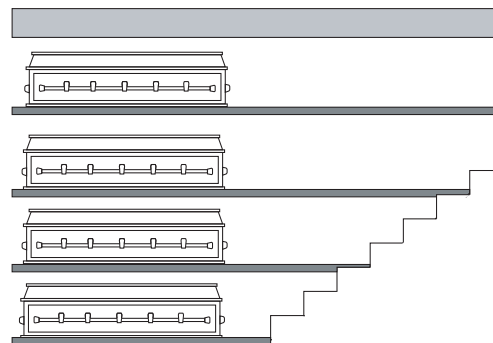


Figura 28. Tipos de inhumaciones en contextos cementeriales. a) fosa regular (cementerio horizontal) en cortes o vista lateral y frontal lo que denota una estructura y supra estructura mortuoria (lápida, cruz, placas o criptas), b) fosa regular con tres niveles, c) Gavetas o fosas verticales (cementerio vertical) donde se inhuman ataúdes en una supraestructura. d) Nichos o columbario para destino final de restos áridos o cenizas, son de menor tamaño que las gavetas. e) Fosa regular con estructura colapsada. d) Cripta familiar con gavetas. Figuras modificadas del diseño original de Ricardo Pedraza.

Columbario. Se define como “la estructura constituida por un conjunto de nichos destinados al depósito de restos humanos áridos o cremados” (Figura 28d). Para el caso de algunos reglamentos de panteones puede ser una sinonimia con nichos.

Osarios. Se define como “el lugar especialmente destinado al depósito de restos humanos áridos”. Regularmente de personas identificadas no reclamadas (PINR) y de personas no identificadas (PIN) en reducción esquelética. En la mayoría de estos espacios los restos son descontextualizados por lo que su reagrupación es un desafío. La práctica de integración de osarios en cementerios debe pensarse con una perspectiva de no descontextualización, resguardo con condiciones óptimas o su traslado a Universidades para su resguardo y custodia según el protocolo aquí propuesto.

Criptas familiares. Se trata de “la estructura construida bajo el nivel del suelo con gavetas o nichos destinados al depósito de cadáveres, restos humanos y restos humanos áridos o cremados” (Figura 28f). Por lo regular estos sitios de inhumación son los que menos vulnerabilidad tienen ya que las familias tienen una protección activa de éstas.

Inhumaciones colectivas (fosas comunes). Definida en la generalidad de reglamentos de panteones como “el lugar destinado para la inhumación de cadáveres y restos humanos no identificados”. Como se ha revisado son espacios bajo una bi-tutela y responsabilidad del Estado: las Fiscalías Estatales y la Administración Pública a través de los servicios municipales. Este rasgo burocrático ha permitido que no exista una estandarización salvo la mínima que exige el reglamento de la Ley General de Salud en materia de control sanitario de la disposición de órganos, tejidos y cadáveres de seres humanos. Históricamente las fosas comunes han tenido una nula gestión, no han mejorado su praxis y han permitido de forma clandestina la sustracción de restos óseos. En muchos casos debido a la saturación de espacios en fosa común, se han organizado niveles de inhumación, complejizando la recuperación de cuerpos, ya que no se sigue una norma estricta ni se ha ajustado la praxis a recomendaciones internacionales de fosas individuales. También, se pueden encontrar segmentos corporales procedentes de hospitales o bien, restos de cenizas de las épocas en donde la incineración de personas no identificadas era una práctica común y legal. De manera general entonces dada la historia de manejo de fosas comunes es posible encontrar entierros diacrónicos (la mayoría de casos) y aquellos que son sincrónicos (la menor cantidad de casos, Figura 29).

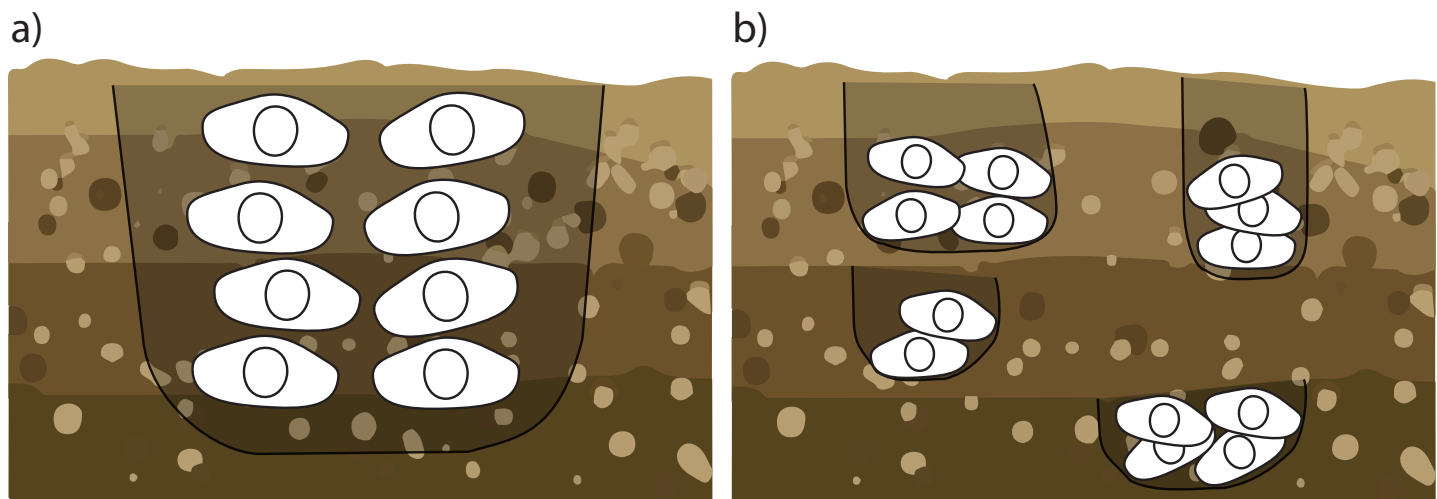


Figura 29. Inhumaciones diacrónica (izquierda) y sincrónica en fosas comunes. Figuras modificadas del diseño original de Ricardo Pedraza.

Anexo 3: Protocolo de intervención en osarios.

Los osarios, como se ha ya definido tratan de aquel lugar especialmente destinado al depósito de restos humanos áridos. En algunos casos se trataba de restos de PINR que, al cabo de la temporalidad de inhumación en una fosa regular, después de tener el procedimiento de aviso a familiares y ante la nula respuesta, los restos de estas personas eran exhumados y llevados a osarios o dispuestos en fosa común. Regularmente durante este procedimiento se descontextualizan los restos complejizando la intervención posterior.

No existen datos de la cantidad de osarios que existen en el país, su documentación es pobre y varía su definición respecto de varias regiones. Algunos son osarios integrados por los restos mezclados de restos de personas de fosas comunes y no reclamados; en otros casos se refieren a los nichos, algunos otros hacen referencia al resguardo de Personas Identificadas No Reclamadas (PINR). Del análisis realizado por el LAOF sobre petición de información a las administraciones municipales de panteones, se realizaron peticiones de información sobre fosas comunes y osarios en los cementerios municipales a su cargo. Respondieron 46 cementerios de los cuáles reportaron tener osarios 19 panteones. Algunos casos, se confunde el osario con los nichos o columbarios (Figura 28d). También, es común la respuesta de tener osarios pero “no manejar la información”, se niega la información especificando detallar un periodo, algunos otros aluden no tener un censo, ni tener información de la administración de panteones privados a este respecto. Lo anterior, también da cuenta de la complejidad del problema de la administración de cementerios en México y la falta de información referente a este punto.

La intervención en osarios esta determinada por el grado de mezcla de los restos. En el caso de que todos los esqueletos en un osario tengan una trazabilidad asegurada, por medio del uso de alguna bolsa o caja con un número de referencia el equipo forense deberá realizar una validación de los datos de la PINR con el análisis postmortem.

El mayor problema está en los osarios descontextualizados, donde se han mezclado restos de personas de diversas fosas no reclamadas. Para ello se

seguirá la metodología integrada por el EAAF (Puerto et al., 2014) con diversas publicaciones en el marco de restos mezclados (Adams and Byrd, 2008; Egaña et al., 2008; Garrido Varas and Intriago Leiva, 2012; Osterholtz et al., 2014; Wagner, 2014; Osterholtz, 2016; Byrd and LeGarde, 2018). Lo que integra una estrategia para el análisis sistemático de restos mezclados, incluyendo los pasos a seguir en el análisis antropológico y las pruebas genéticas, así como el uso de antecedentes (Figura 30).

Como primer punto hay que realizar un análisis sobre la trazabilidad de los restos, esto definirá el grado de mezcla o pérdida de trazabilidad, categorizándose como: H, alto donde la generalidad de elementos óseos se encuentran sin asociación o trazabilidad; M, medio donde hay algunos elementos óseos sin pérdida de trazabilidad, partes o segmentos corporales en bolsas o cajas que suponen pertenecen a una sola persona y además algunos otros elementos óseos aislados; L, bajo donde solo se da una mezcla o pérdida de la trazabilidad parcial de secciones anatómicas de varios individuos. Todos aquellos individuos que hayan conservado su unidad como PINR deberán pasar por un proceso de documentación y validación con listas de cotejo en bases de datos realizadas en la intervención (Figura 30, validación 4).

Luego todos aquellos individuos descontextualizados, en mayor o menor medida, deberán ser analizados mediante el siguiente protocolo:

1. Elaborar un registro fotográfico de los restos en sus contenedores o lugares de depósito, deberá documentarse cualquier evidencia que pueda advertir un orden temporal en los restos, todo esto antes de iniciar el proceso de análisis. Los registros fotográficos se realizan durante todo el proceso de análisis.
2. Integrar un sistema de codificación para los elementos óseos y las muestras derivadas de ellos. En los casos de restos mezclados, es importante que el código del elemento óseo conserve la información del sitio, la tumba (si corresponde), el conjunto esquelético (si corresponde) y el número secuencial de elementos óseos, para acceder a la información de la fuente de manera fácil y eficaz para garantizar

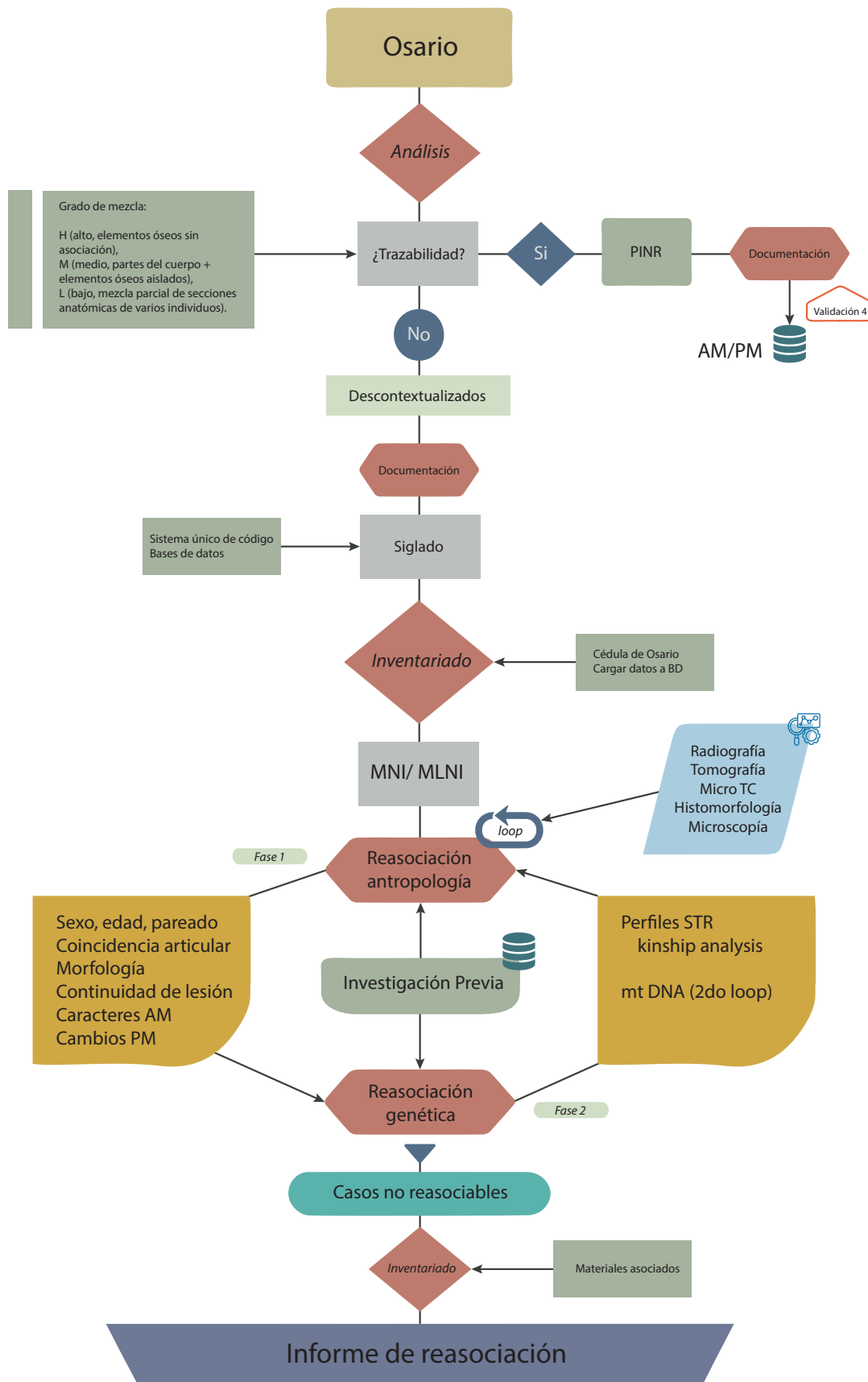


Figura 30. Algoritmo de intervención GIP para osarios basado en Puerto et al., (2014).

la trazabilidad después de que los elementos óseos se muevan para su clasificación. Por ejemplo, sensu EAAF un código de elemento óseo podría provenir del Cementerio Sitio 2 (C2), tumba 3 (G3), conjunto esquelético 1 (S1), y es el quinto elemento recolectado de esta procedencia; este código aparecería como C2-G3-S1-0005. Este código se deberá mantener en todo el proceso de análisis tanto antropológico como genético. Entonces, la primera muestra de hueso (B1) recogida del elemento óseo C2-G3-S1-0005 aparecería como C2-G3-S1-0005-B1. Es preciso insistir que la duplicación en la codificación o los errores de transcripción evitara una buena praxis. Finalmente, el EAAF recomienda para el caso de muestras genéticas, por razones de trazabilidad, utilizar códigos de barras.

3. Realizar el siglado (marcado) de cada elemento óseo, pudiendo utilizar etiquetas o mediante un marcado directo en hueso previa aplicación de una capa de polímero para que sea reversible.
4. Inventariado general de todos los materiales empleando la cédula anexa donde deberá indicarse si existen contenedores originales (cajas o bolsas) y mantenerse esta agrupación. Aquí será importante evaluar el grado de fragmentación de los restos, que como en el caso de la mezcla se clasificarán como alto (H), medio (M), o bajo (L).
5. Establecer un mínimo número de individuos o número más probable de individuos (MNI/MLNI) mediante técnicas antropológicas estándar (Adams and Königsberg, 2004; Nikita and Lahr, 2011; Königsberg and Adams, 2014).
6. Proceso de re-asociación se integra por dos fases que en su conjunto conforman una secuencia o bucles entre análisis antropológico (fase 1) y genéticos (fase 2), en interrelación con cualquier información de investigación previa que pueda estar en bases de datos y sirva para el fin de re asociación.
7. Los bucles (loop) serán realizados hasta que se pueda re asociar la mayor cantidad de elementos óseos.
8. Análisis antropológico (fase 1). En la primera fase de la re asociación antropológica debe usarse toda variable que permita una hipótesis de asociación verificable, por ejemplo, edad y sexo, compatibilidad articular, morfología general, continuidad en

el patrón de lesión traumática, consistencia de características específicas antemortem, consistencia de cambios post mortem, mediciones, etc. (Byrd and Adams, 2003; Byrd and LeGarde, 2014, 2018; De Simone and Hackman, 2019).

9. Análisis genético (fase 2). El primer muestreo para análisis genético debe incluir al menos los elementos óseos que indiquen el MNI / MLNI y aquellos que, debido a un rasgo particular, tengan potencial de identificación (por ejemplo, patología ósea o características dentales relevantes). Es decir, se tiene que garantizar una optimización de las hipótesis de re-asociación. Aquí serán comparados los perfiles de STR usando emparejamiento directo (reasociación) y análisis de parentesco (identificación).
10. Al término de este primer bucle se deberán reconsiderar las re asociaciones antropológicas en función de los resultados genéticos.
11. Seleccionar nuevas muestras para análisis genético y remuestreo en los casos en los que el procesamiento falló o arrojó resultados parciales.
12. Repita las etapas de muestreo (loops) y análisis antropológico hasta que el proceso esté agotado, esto quiere decir o que las piezas no son susceptibles de un análisis genético o porque se ha agotado la totalidad de éstos. El criterio para terminar el proceso es un criterio científico y debe ser consensuado con los familiares.
13. En la segunda o tercera vuelta o bucle se deberá evaluar la posibilidad de re asociar muestras de hueso a través de mtDNA donde los perfiles de STR fallaron quizás debido a la degradación del material genético. A nivel genético, si se trata de un contexto cerrado de mezcla, es fundamental evaluar la no repetición de los haplotipos de ADNmt utilizando elementos óseos que han mostrado un perfil STR único. Los diferentes perfiles de STR indican diferentes individuos.
14. Es importante decir que se debe trabajar el caso de manera integral aportando toda la información disponible (antropológico + genética + antecedentes). Recomendamos que esto se haga una vez finalizado el proceso de clasificación para evitar sesgos.
15. También, es necesario realizar un inventario de

todos los elementos óseos que no pudieron ser re asociados, así como de todo elemento asociado que no haya podido ser relacionado a alguna persona.

16. Finalmente, se deberá realizar un informe de re-asociación de osario donde se deberá desarrollar detalladamente los resultados de la intervención.

Es importante considerar la necesidad de estudios de genética, primero por las limitantes de la re-asociación morfológica, que deben considerarse preliminares en la mayoría de los casos y deberán ser validadas por pruebas de ADN. Esto es particularmente necesario en los casos que involucran: (1) restos muy mezclados con un gran número de individuos; (2) casos “abiertos” con una gran lista de posibles candidatos a restos; y (3) información ante mortem deficiente o no disponible.

Cédula de inventario de osario.



Gestión Integral de Panteones Inventario de Osario

Localidad: _____ Mpio: _____ Edo: _____
Panteón: _____ Fecha: _____



Lugar: _____ Código: _____

Elemento óseo		frecuencias		Elemento óseo		frecuencias					
Cráneo		C	I	F	Vértebra	Cervicales	C	I	F		
Mandíbula		C	I	F		Dorsales	C	I	F		
Dientes	Maxilar	M	PM	C		I	Lumbares	C	I	F	
	Mandibular	M	PM	C	I	Sacro	C	I	F		
Esternón		C	I	F	Coxis		C	I	F		
Elemento óseo		Izquierdo		Derecho		Elemento óseo		Izquierdo		Derecho	
Iliaco		C	I	F	C	I	F	Falanges m1	C	I	F
Clavícula		C	I	F	C	I	F	Falanges m2	C	I	F
Omóplato		C	I	F	C	I	F	Falanges m3	C	I	F
Costillas		C	I	F	C	I	F	Falanges m4	C	I	F
Húmero		C	I	F	C	I	F	Falanges d1	C	I	F
Radio		C	I	F	C	I	F	Falanges d2	C	I	F
Ulna		C	I	F	C	I	F	Falanges d3	C	I	F
Escafoides		C	I	F	C	I	F	Falanges d4	C	I	F
Semilunar		C	I	F	C	I	F	Falanges d5	C	I	F
Piramidal		C	I	F	C	I	F	Fémur	C	I	F
Pisiforme		C	I	F	C	I	F	Patela	C	I	F
Trapezio		C	I	F	C	I	F	Tibia	C	I	F
Trapezoide		C	I	F	C	I	F	Fíbula	C	I	F
Grande		C	I	F	C	I	F	Astrágalo	C	I	F
Ganchoso		C	I	F	C	I	F	Calcáneo	C	I	F
Metacarpo 1		C	I	F	C	I	F	Navicular	C	I	F
Metacarpo 2		C	I	F	C	I	F	Cuboides	C	I	F
Metacarpo 3		C	I	F	C	I	F	Cuneiforme 1	C	I	F
Metacarpo 4		C	I	F	C	I	F	Cuneiforme 2	C	I	F
Metacarpo 5		C	I	F	C	I	F	Cuneiforme 3	C	I	F
Falanges p1		C	I	F	C	I	F	Metatarso 1	C	I	F
Falanges p2		C	I	F	C	I	F	Metatarso 2	C	I	F
Falanges p3		C	I	F	C	I	F	Metatarso 3	C	I	F
Falanges p4		C	I	F	C	I	F	Metatarso 4	C	I	F
Falanges p5		C	I	F	C	I	F	Metatarso 5	C	I	F

Registró: _____ Nombre y firma Vo. Bo. Antro For : _____ Nombre, firma y sello

Elemento óseo		Izquierdo		Derecho		Elemento óseo		Izquierdo		Derecho	
Falanges p1	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	Falanges m3	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____
Falanges p2	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	Falanges m4	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____
Falanges p3	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	Falanges d1	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____
Falanges p4	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	Falanges d2	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____
Falanges p5	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	Falanges d3	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____
Falanges m1	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	Falanges d4	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____
Falanges m2	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	Falanges d5	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____	C ____ I ____ F ____
Codigo	Totales	Izq	Der	Adultos	Adul Izq	Adul Der	Subadul	Subad Izq	Subad Der		
a											
b											
c											
d											
e											
f											
NMI											
Pares											
Datos complementarios											
Condición	Árido ____ Con tejido ____ Fuego ____ Mixto ____										
Exp fuego	Sin exp fuego ____ Amarillo/naranja ____ Negro ____ Gris ____ Gris/azul ____ Blanco ____ Mixto ____										
No. total fragementos	1 ____ 2-20 ____ 21-60 ____ 61-100 ____ 100-200 ____ >200 ____ >1000 ____										
Peso	_____ No pesado ☐										
Dimensiones min	_____ No estimado ☐										
Dimensiones max	_____ No estimado ☐										
Huesos con patología	Con patalogías _____ Sin patalogías _____ No evaluado ☐										
Caracter individualizante	Con presencia _____ Sin presencia _____ No evaluado ☐										
Huesos no humanos	_____ No evaluado ☐										
Mat asociados	_____										

[illegible]

Codificaciones

a= completo
b= epífisis proximal perdida
c= epífisis distal perdida
d= diáfisis
e= fragmento proximal
f= fragmento distal

C= completo
I= incompleto
F= fragmentos

M= molar
PM= premolar
C= caninos
I= incisivos

NMI= No. max de huesos der o izq

Anexo 4. Cédula de registro de unidades estratigráficas



Gestión Integral de Panteones
Cédula de registro de unidades estratigráficas

Localidad: _____ Mpio: _____ Edo: _____
Panteón: _____ Fecha: _____



Coordenadas: _____ Pozo: _____ Cala: _____ Extensiva: _____

Estrato horizontal	Elemento interfacial horizontal
Estrato vertical	Elemento interfacial vertical

Inicia Z	Termina Z
----------	-----------

Relaciones estatigráficas

Debajo de:								
Arriba de:								
Correlacionado								
Igual a:								

Tipo de deposito

Natural ☐
Antrópico ☐

Descripción del depósito

Textura	☐ Limo	☐ Arcilla	☐ Arena	Otro
Granulometría	☐ Fina	☐ Regular	☐ Gruesa	
Compactación	☐ Alta	☐ Media	☐ Débil	
Inclusiones	☐ Gravas	☐ Piedras	☐ Cal	
Bioperturbaciones	☐ Raíces	☐ Madrigueras	☐ Saqueo	
Color				

Descripción de la unidad estatigráfica**Materiales asociados**

☐ Arma de fuego ☐ Arma blanca ☐ Balas ☐ Cuerdas ☐ Ropa ☐ Credenciales

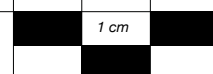
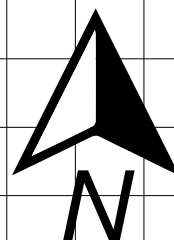
Prendas**Accesorios****Documentos****Otros materiales****Recolección de muestras de suelo:**

☐ Si ☐ NO No: _____ Código-Peso: _____ / _____ / _____



LAOF

Panteón: _____ Fecha: _____



Anexo 5. Cédula para el planimetría-inventario en fosa común.



Cédula de ubicación de restos en fosa común
Inventario y Planimetría

Localidad: _____ Mpio: _____ Edo: _____

Panteón: _____ Fecha: _____

Cala: _____ Extensión: _____ No de personas: _____ Folio: _____

Código Único de Registro	No. de carpeta de Investigación	Fecha defunción	ID	Sexo	Edad	Coordenadas
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		
			PNI PINR	F M		

Registró: _____ *Nombre y firma* Vo. Bo. Admin Panteón: _____ *Nombre, firma y sello*

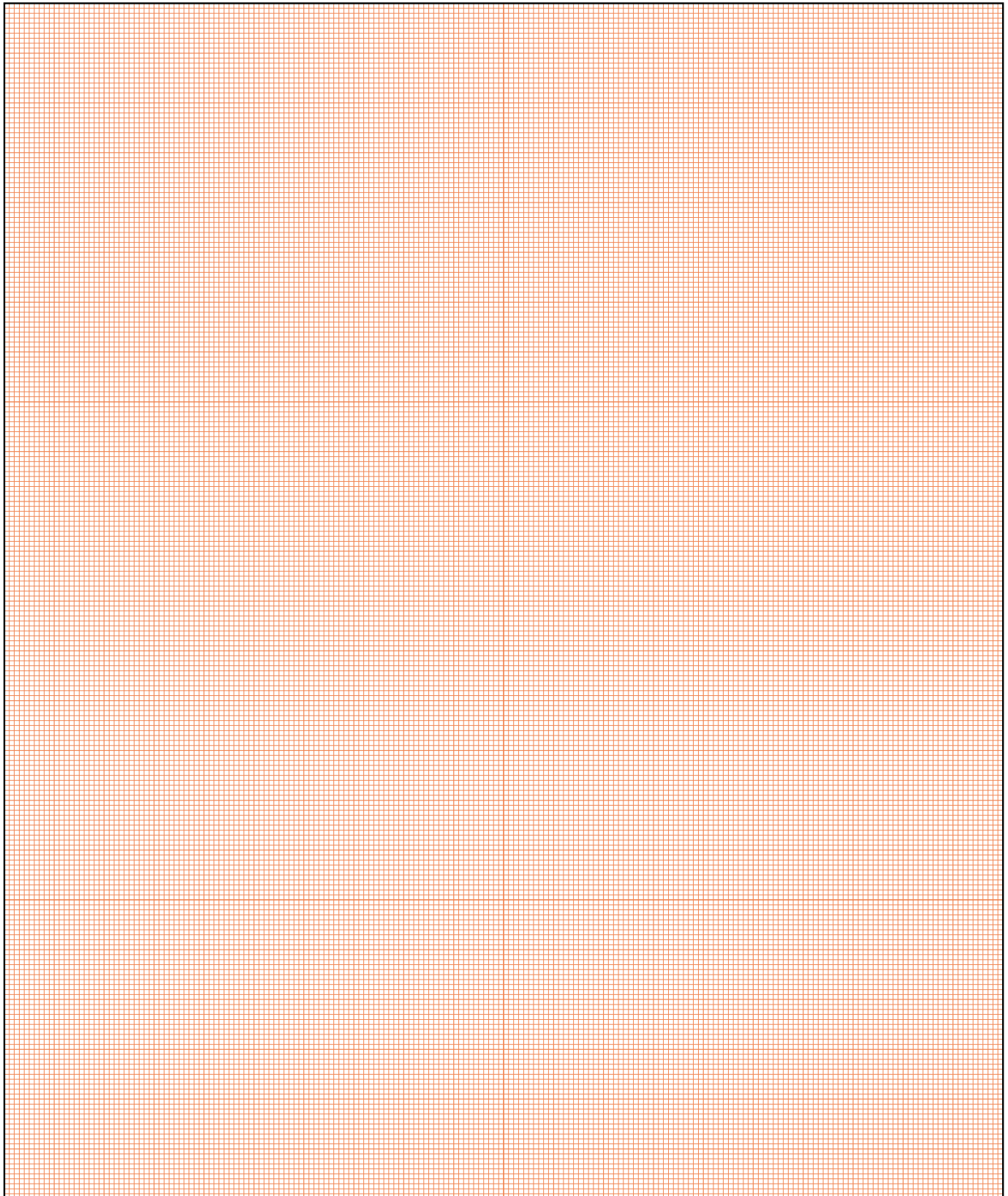
Cala: _____ Extensión: _____ No de personas: _____ Folio: _____

[illegible]

Registró: _____ *Nombre y firma* Vo. Bo. Admin Panteón: _____ *Nombre, firma y sello*

Planimetría

Localidad: _____ Mpio: _____ Edo: _____
Panteón: _____ Fecha: _____



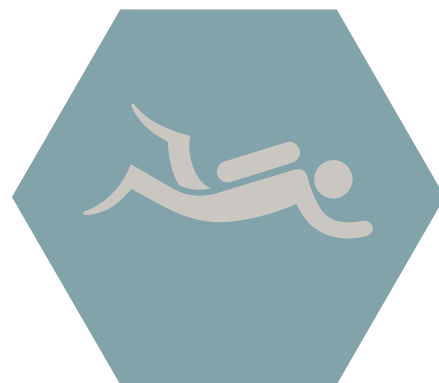


3

Prospección subacuática

Trabajos de prospección subacuática realizados en la Presa Vicente Guerrero, Tamaulipas.

Crédito: Alberto Soto



PROTOCOLO

Prospección Subacuática en Aguas Abiertas

Lara Tufiño Pamela¹, Estrada Salvador¹, Issa Paula¹, Clavel Julio¹.

¹Subdirección de Arqueología Subacuática- Instituto Nacional de Antropología e Historia

Objetivos y Alcances

El propósito de este documento es presentar pautas, metodologías y recomendaciones para la búsqueda y ubicación de personas desaparecidas en ambientes acuáticos no confinados.

Esta guía no pretende abordar en su totalidad las normas de seguridad de la práctica del buceo, ni las especialidades de este, ya que sólo se enfoca en la metodología de prospección subacuática, retomada de las técnicas tradicionales de la arqueología.

El documento revisa los diferentes tipos de metodología de prospección realizada por buzos en cuerpos de agua no confinados, o también llamados aguas abiertas. El escrito expone recomendaciones y estrategias metodológicas generales durante el momento previo a la inmersión y durante la prospección subacuática.

Terminología

Prospección: procedimiento de búsqueda sistemática y georreferenciada, en una extensión de terreno específica que tiene el objetivo de localizar indicios, evidencias o restos humanos.

Planimetría: representación a escala, en una superficie plana, de las características del terreno y de los elementos naturales o artificiales de interés que en él se encuentran.

Batimetría: registro de las profundidades y topografía del fondo acuático.

Trilateración: ubicación y referencia de indicios a través de rumbos y medidas. Se utiliza la brújula y la cinta métrica.

Conformación del Equipo de Trabajo

Los trabajos de prospección subacuática se deben realizar únicamente por buzos capacitados que cuenten con la experiencia y las certificaciones correspondientes para garantizar resultados científicos confiables, incluyendo expertos en arqueología subacuática (Polo-Cerdá, et. al., 2018: 16-17).

El líder del equipo será el enlace con las instituciones oficiales, el encargado de coordinar la logística, revisar la información recabada, decidir el método de prospección adecuado, diseñar las estrategias de seguridad, formar el equipo subacuático, planificar las inmersiones y redactar el informe (Bowens, 2009: 96; Becker, 2013: 58; Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2015: 104).

Equipo de Superficie

Apoyo que se otorga al equipo subacuático desde una embarcación o desde tierra. Conformado por el líder del equipo, el responsable del material de buceo y registro, y un médico.

Se debe tener un espacio adecuado en el cual los buzos puedan descansar durante los intervalos de superficie, en casos de buceos de repetición (Becker, 2013: 47-48).

Equipo Subacuático

Participan el jefe de buceo quien estará prospeccionando y supervisando el trabajo de los buzos; el buzo de seguridad, quien debe estar preparado para actuar ante cualquier situación (Winskog, 2012: 176); los buzos que llevarán a cabo la prospección, y un buzo que se encargará del registro a través de fotografía y video.

La unidad mínima en el agua es la pareja de buceadores y el buzo de seguridad (Becker, 2013: 61-62; Schultz, et al., 2013: 307). Se recomienda la conformación de grupos pequeños durante las inmersiones. Todos los buzos deben contar con seguro de buceo. Si las condiciones psicológicas y físicas del buceador no son las adecuadas, no debe realizarse la inmersión.

Todo el equipo de trabajo debe conocer la información recolectada, el plan de trabajo, el método de prospección que se usará y el cronograma de las inmersiones (Tosha et al., 2006: 28). La comunicación debe ser clara y constante.

Se deben conocer y cumplir las normas de seguridad propias del buceo durante las actividades subacuáticas.

Nada es más importante que la seguridad de los buceadores (Winskog, 2012: 175; Becker, 2013: 86).

Etapas de planeación

Se trata de la fase previa a la inmersión que permite establecer una estrategia eficiente durante la investigación en campo.

La recolección de información es esencial durante esta etapa, ya que la cantidad y calidad de los datos contribuirán a esclarecer los recursos materiales, técnicos y de personal necesarios. Lo anterior facilitará una adecuada planificación del trabajo en campo, y una correcta selección de metodología para la prospección subacuática.

Obtener la mayor cantidad de información sobre los hechos, es decir, víctimas, circunstancias, deposición de los cuerpos, contexto y cualquier otro dato que pueda orientar la búsqueda. Considerar las fuentes documentales, oficiales y de asociaciones, así como las fuentes testimoniales. La toma de información compete a las autoridades (Ministerio público Fiscalía de la Nación, 2017: 21-22; UBP, 2020: 29-31).

Recabar toda la información existente sobre el cuerpo de agua: ubicación, profundidad máxima, batimetría, altitud, visibilidad, temperatura, corriente, tipo de fondo, topografía, biodiversidad, extensión, condiciones de iluminación, niveles de contaminación, vías de acceso, clima y tráfico marítimo (Lara, 2008: 27, 34-35; Bowens, 2009: 118; Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2015: 147; Pietruszka, 2015: 456; Louys, 2018: 4).

Evaluar los riesgos potenciales del espacio acuático que podrían afectar al equipo de trabajo. Considerar los permisos administrativos de acceso.

Los métodos de prospección se llevarán a cabo de acuerdo con las características particulares del cuerpo de agua. Ningún ambiente acuático es similar a otro.

Se recomienda hacer una visita previa al cuerpo de agua con el objetivo de establecer una estrategia de abordaje concreta y clara.

Se debe considerar la fuerza de trabajo invertida, el tiempo y los recursos disponibles, tomando en cuenta las limitantes que se tienen al trabajar en un medio acuático (Bowens, 2009: 117-118; Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2015: 65).

El plan de trabajo debe ser coherente, claro en su explicación y sencillo en su ejecución. Todo lo que pueda hacerse en superficie, no se debe hacer bajo el agua. Debe estar bien estructurado y ser flexible para adaptarse y solucionar situaciones inesperadas.

Una búsqueda no puede comenzar sin la información suficiente. Dedicar tiempo a recolectar datos puede evitar la frustración y la ineficacia al momento de prospectar.

Materiales necesarios para la Prospección

Siempre considerar el uso de equipo y herramientas adecuados de acuerdo con las condiciones de cada lugar, garantizando la seguridad del equipo de trabajo. La elección entre un equipamiento y otro dependerá del tipo de prospección, los recursos disponibles, las habilidades de los buzos y las características del cuerpo de agua (Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2015: 108).

Material para buceo: visor, esnórquel, aletas, botas de buceo, traje de protección térmica, cinturón con lastre, chaleco hidrostático, dos reguladores independientes, manómetro, reloj, profundímetro, linterna, cuchillo, silbato, tablas de descompresión, computadora de buceo, tanques.

Cada buzo debe ser ordenado con su equipamiento, priorizando la comodidad y la coherencia. Si el agua donde se realiza la inmersión es nociva para la salud, se debe usar traje estanco (Ibíd.: 108).

Material para prospección: banderas de colores, cinta métrica, brújula, boyas, cuerdas, peso muerto, GPS, tabla de registro, lápiz, papel Herculene, escalas, flechas, números.

Material de emergencia: botiquín, equipo de oxigenación completo con mascarilla y regulador de demanda.

Es indispensable conocer la ubicación de la cámara hiperbárica más cercana al sitio de la inmersión, los teléfonos y las rutas de acceso.

Todo el material debe estar limpio y en perfectas condiciones, listo para ser usado en cualquier momento.

Durante la Inmersión

La observación metódica, sistemática y minuciosa es indispensable durante cualquier método de prospección, es la clave para poder buscar e identificar la presencia de indicios o restos humanos (UBPD, 2020: 74).

Delimitar el área de trabajo a través de boyas, las cuales deben estar referenciadas con sistemas de posicionamiento global GPS (Becker, 2013: 90; Verdugo, 2018: 126). Controlar el acceso a la zona de personas no autorizadas y establecer perímetros de seguridad.

Determinar el punto de ascenso y descenso, el cual debe estar marcado por una boya en superficie y un peso muerto en el fondo. Comprobar que la zona este libre de obstáculos.

Instalar un sistema guía o de referencia. En todas las prospecciones se deben tener puntos fijos de control, incluyendo el punto de inicio y final del recorrido, tanto en la superficie como en el fondo. Estos se pueden colocar sobre elementos existentes en la zona (formación rocosa, muelles), o a través de boyas, peso muerto o varillas. La ubicación de los puntos también se puede hacer por medio de la trilateración (Green, 2004: 24; Bowens, 2009: 96, 118-119; Becker, 2013: 60).

La colocación de líneas base o cintas métricas en el fondo serán útiles para orientar a los buzos;

la georreferencia de las mismas permitirá al equipo conocer que áreas ya se prospectaron y en qué sitios se encontraron las evidencias (Green, 2004: 24, 56-57; Becker, 2013: 98-99).

Métodos de prospección. Un método sistemático de búsqueda facilitará la documentación y evitará la duplicación de esfuerzos.

Líneas paralelas: los buzos se colocan en línea a una distancia entre 1 y 3 metros, dependiendo la visibilidad. Ya posicionados, avanzan simultáneamente hacia delante, en la misma dirección (Amores, 2003: 117; Green, 2004: 51-54; Tosha et al., 2006: 25-26; Bowens, 2009: 98; Becker, 2013: 94; Figura 1). La formación debe permanecer durante el tiempo que dure la prospección, mientras que el desplazamiento debe ser lento; si es posible, también se puede hacer en dirección opuesta. Útil en sitios grandes.

Cuando el fondo submarino presente una pendiente importante, los recorridos se trazarán de forma perpendicular a la pendiente comenzando por el sitio más profundo para tener una inmersión más segura y una descompresión menor (Amores, 2003: 118).

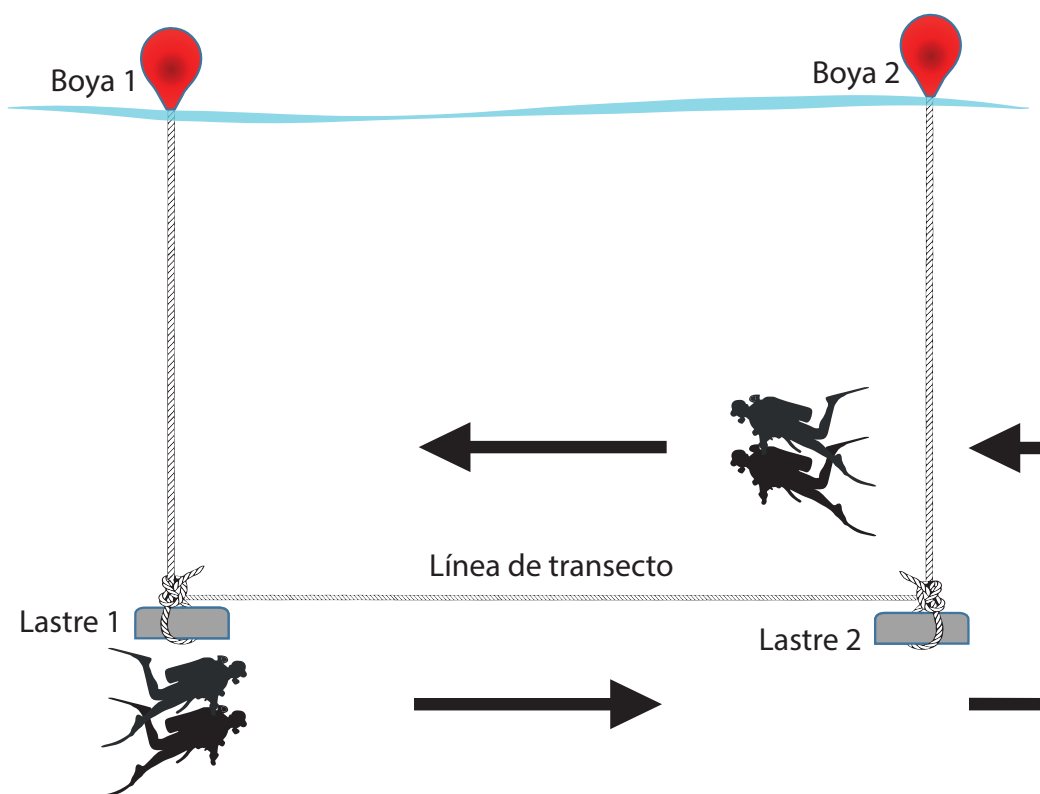


Figura 1: Esquema de prospección por líneas paralelas. La referencia debe estar en superficie y en el fondo.

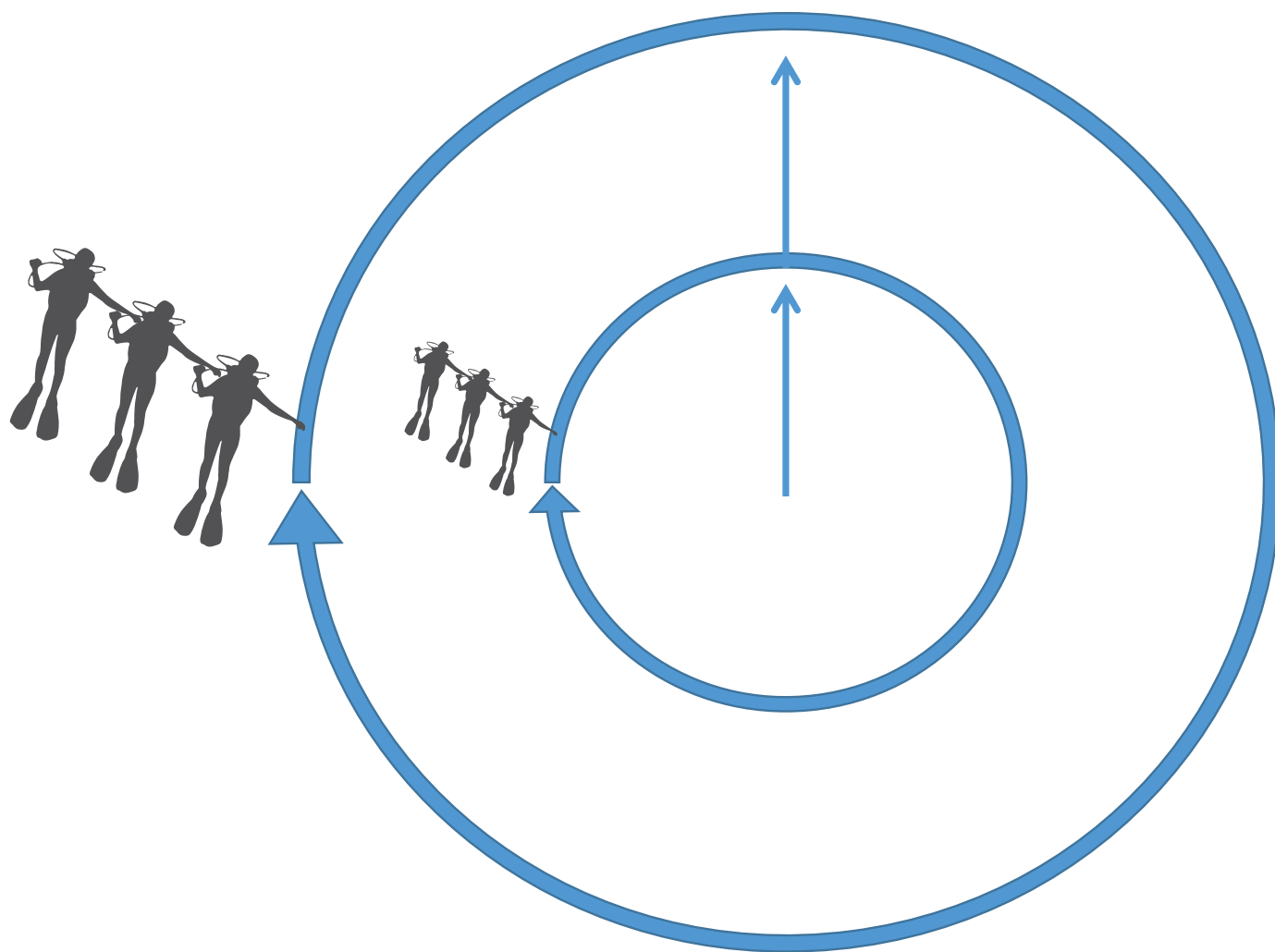


Figura 2. Prospección radial que inicia en el centro y amplía el área de búsqueda en cada vuelta completada.

Búsqueda radial: se selecciona un punto de inicio desde el cual se coloca una cinta métrica o un cabo guía (Figura 2). Cada buzo se posiciona a cierta distancia sin perder de vista a su compañero. Se inicia el desplazamiento hacia el exterior en forma de círculos concéntricos, en dirección a las agujas del reloj. La distancia hasta el punto de inicio puede ir aumentando y con ella el radio de búsqueda (Amores, 2003: 118; Green, 2004: 55; Bowens, 2009: 101; Becker, 2013: 95; Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2015: 234; Valdés, 2018: 63).

Cuadrantes o sectores: el área se divide en zonas de dimensiones pequeñas, a las cuales se les asigna una numeración (Figura 3). Cada pareja de buzos realiza

una búsqueda exhaustiva en cada una (Bowens, 2009: 100; Valdés, 2018: 63). Útil en áreas pequeñas.

Cotas de nivel: cada pareja de buzos se posiciona en la misma línea guía, pero a diferentes profundidades (Figura 4). Útil para prospectar la orilla del cuerpo de agua o zonas con pendiente.

Al hallarse un elemento de interés, éste se debe marcar en el fondo con banderillas de colores que resalten del paisaje (Lara, 2008: 44). Posteriormente se lanzará una boya para que el equipo de superficie pueda registrar las coordenadas del indicio (Amores, 2003: 118; Winskog, 2012: 176).

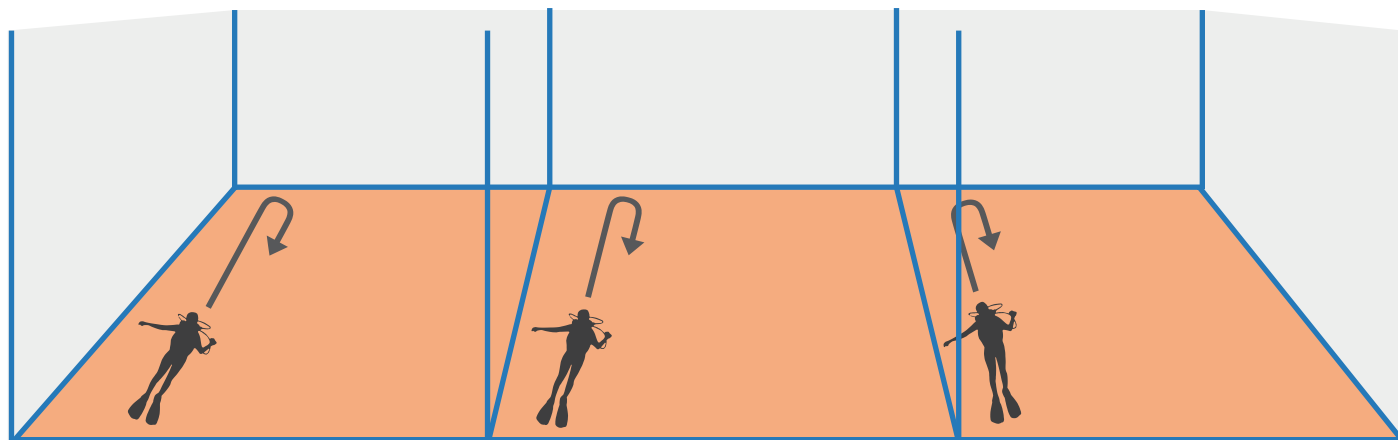


Figura 3. Esquema de prospección por cuadrantes, los cuales se encuentran numerados y continuos.

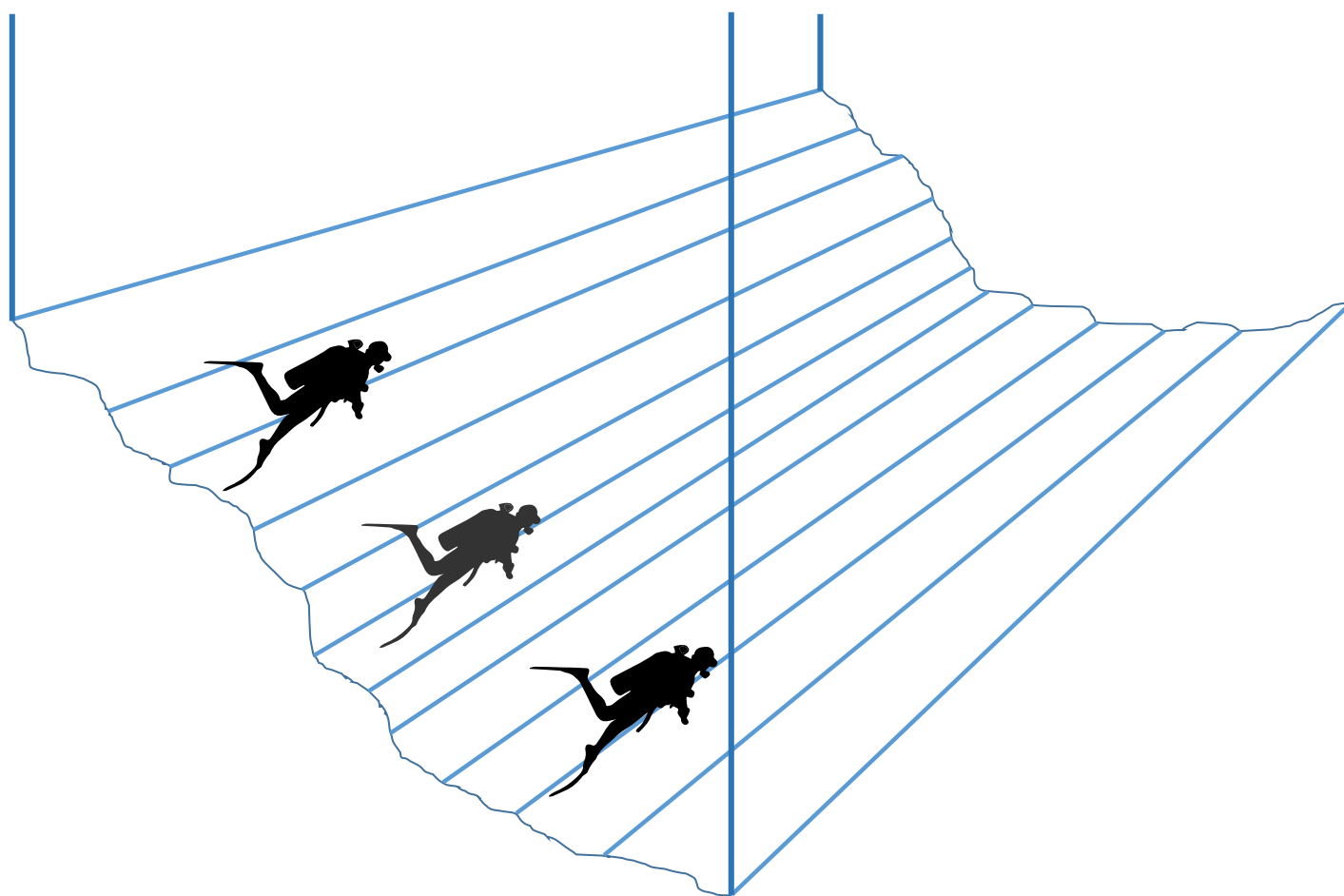


Figura 4. Esquema de prospección por cotas de nivel, en el cual cada buzo realiza su búsqueda a una profundidad determinada.

Procedimientos básicos durante las inmersiones

El control de flotabilidad y la posición neutra u horizontal, es indispensable para realizar la prospección y evitar la perturbación del fondo o de los indicios.

Una buena técnica de desplazamiento consiste en una posición horizontal del cuerpo, con las piernas formando un ángulo de 90°. Se debe mantener la ubicación correcta con respecto al fondo. El desplazamiento debe ser lento. El tiempo de inmersión diario dentro del agua no debe superar las tres horas, al menos que se trabaje a menos de diez metros, en este caso el tiempo máximo será de cinco horas. Es de vital importancia seguir las reglas de buceo y hacer los cálculos de inmersión correspondientes (Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2015: 218; Louys, 2018: 6).

La profundidad máxima con el equipo de buceo autónomo es de 50 metros (Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2015: 218). Se debe hacer un registro de todas las inmersiones con los siguientes datos: nombres de los buzos, fecha, hora, localidad, propósito de la búsqueda, tiempo de inicio, método de prospección utilizado, condiciones climáticas, característica del cuerpo de agua, condiciones de superficie, tiempo final, duración, profundidad máxima y observaciones (Becker, 2013: 88).

Es recomendable hacer una planimetría del sitio prospectado, en la cual se deben registrar obstrucciones naturales y/o artificiales, u otros elementos que pudieran servir de referencia (Valdés, 2018: 64; Verdugo, 2018: 126). En el registro también se incluyen las boyas de

referencia, los puntos de inicio y final, el método de prospección utilizado, y la evidencia localizada durante el proceso.

Otros datos

Considerar que el sitio donde se encuentra el cadáver puede estar relacionado con su muerte o sólo ser el lugar de deposición (Villela, 2015: 8; González y Aguilar, 2016: 9), por lo que no deben descartarse otro tipo de evidencias materiales que formen parte del contexto de desaparición.

Es importante considerar cuánto tiempo han estado los restos humanos sumergidos, las circunstancias de su deposición y las características del cuerpo de agua. La descomposición del cuerpo humano en ambientes acuáticos provoca un desmembramiento paulatino, fases de hundimiento-flotación, y dispersión de los restos, por lo que la prospección visual no debe considerar sólo el fondo (Haglund y Sorg, 1997: 202-208, 212; Rodríguez, 1997: 461; Tosha et al., 2006: 27).

En sitios con mala o nula visibilidad, el contacto visual entre los buzos se cambia por contacto físico. Asimismo, deben estar vinculados a la superficie a través de una cuerda o una línea guía (Figura 5). La búsqueda será al tacto (Amores, 2003: 118; Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2015: 240-242).

En los sitios que presenten fuerte corriente, se debe evaluar la posibilidad de intervención sin arriesgar a los miembros del equipo. Siempre se utilizarán cuerdas y anclajes (Becker, 2013: 89-90, 96-97; Schultz, et al., 2013: 309).

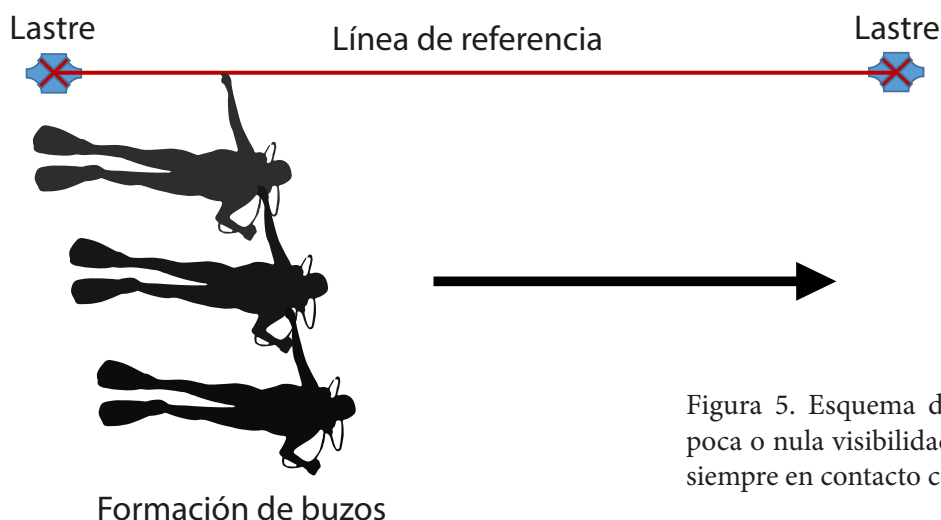


Figura 5. Esquema de formación de buzos cuando existe poca o nula visibilidad. Un miembro del equipo debe estar siempre en contacto con la línea de referencia.

Recomendaciones

La etapa de planeación y la prospección subacuática son procesos que deben ser documentados, a través de un registro escrito, una planimetría, fotografía y video (Winskog, 2012: 177).

Considerar el fenómeno de refracción. Bajo el agua los elementos se ven 1/4 más cerca y 1/3 más

grandes. Tomar en cuenta que a mayor profundidad menor intensidad de luz, y por lo tanto pérdida de colores. Es necesario contar con accesorios de iluminación para el registro visual. Los buceos siempre se deben hacer durante el día. Siempre se debe realizar un informe del método de prospección utilizado y los resultados. Se deben incluir fotografías, planos y dibujo.

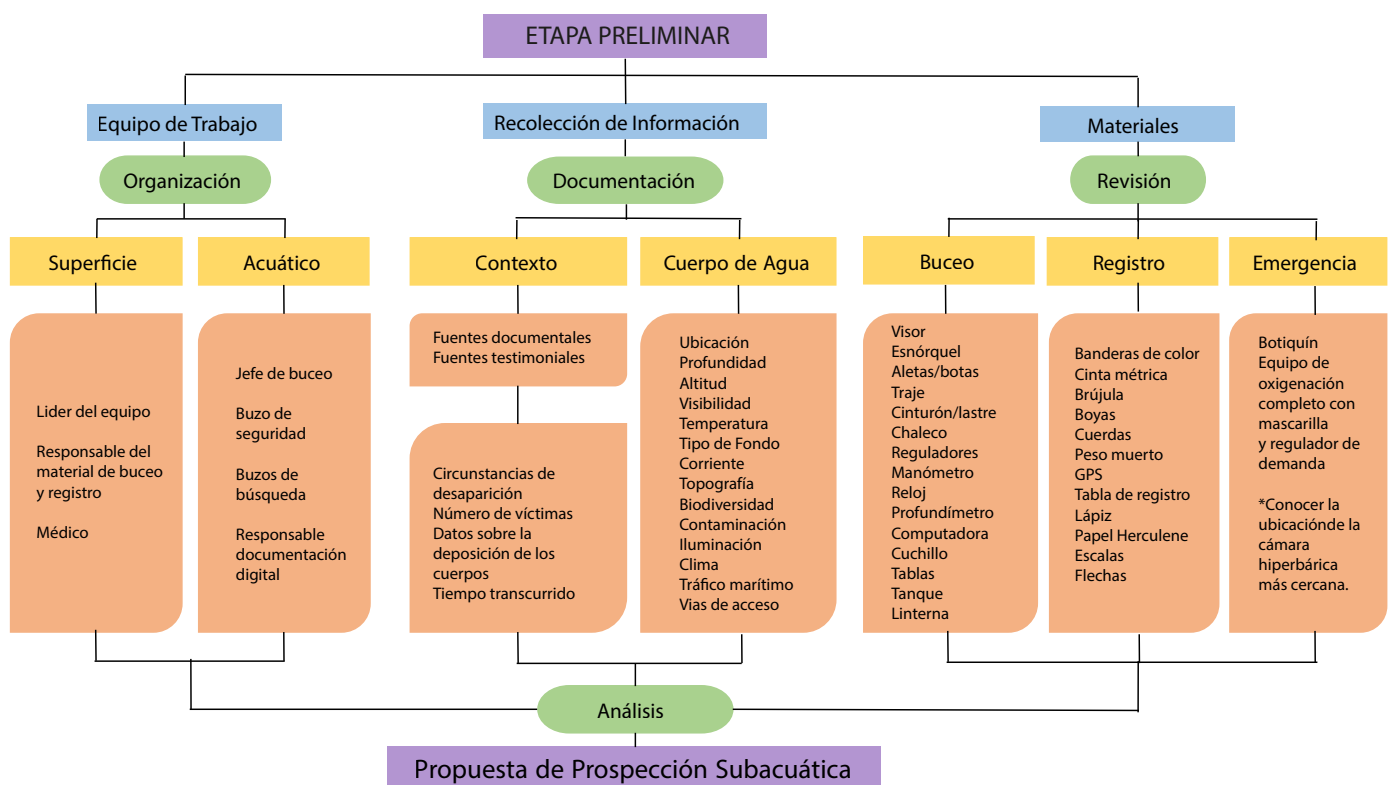


Figura 6. Algoritmo de la etapa preliminar del protocolo de Prospección Subacuática en Aguas Abiertas.

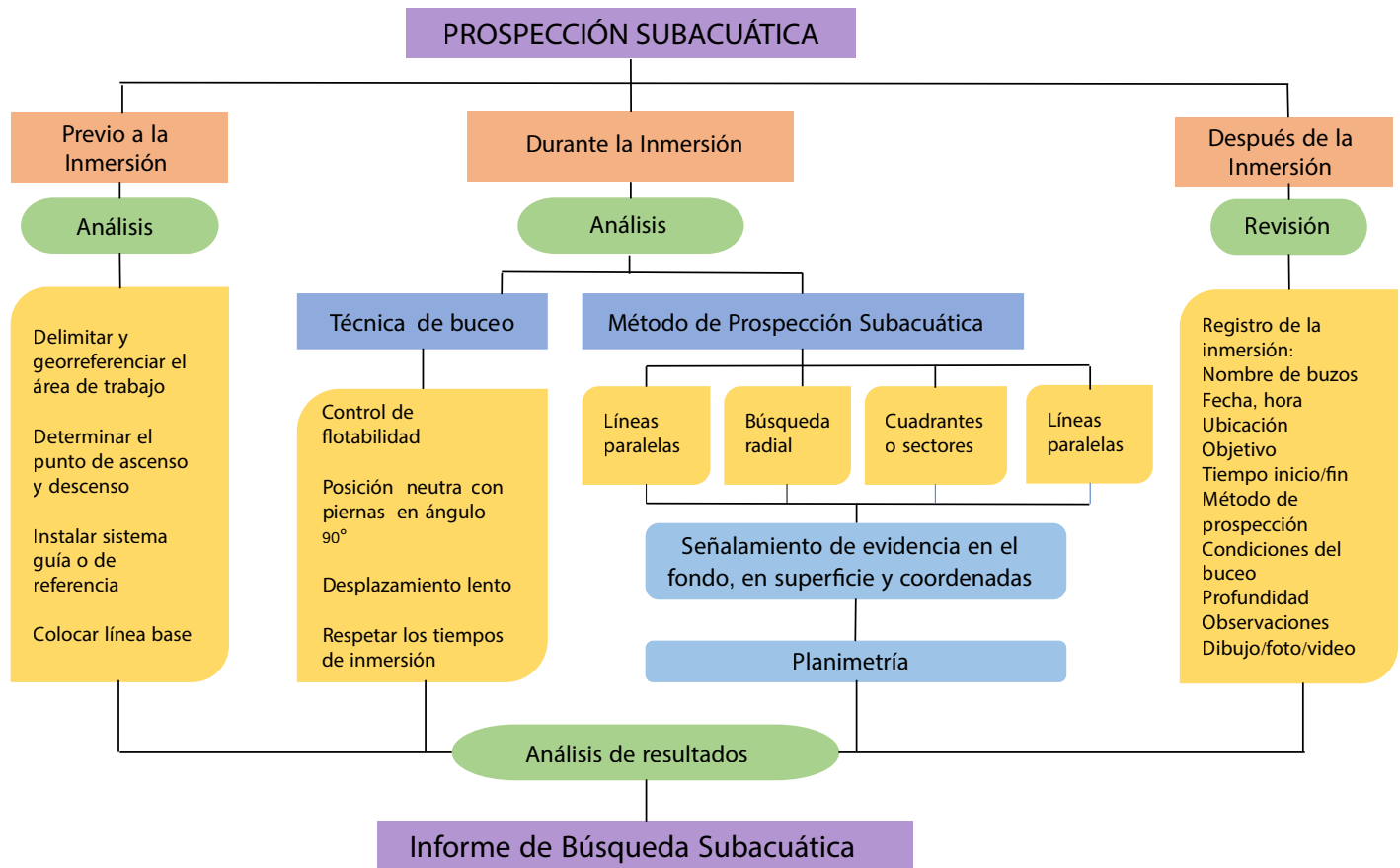


Figura 7. Algoritmo de la Prospección Subacuática en Aguas Abiertas.

Bibliografía

- Amores, Carlos, Metodología de la Arqueología subacuática, Monte buciro, 9 (2003), 109-125. (B)
- Bowens, Amanda, Underwater Archaeology, The Nautical Archaeology Society, Singapore (2009). (A)
- Dirección General de Protección Civil y Emergencias, Grupo Tragsa y CEIS Guadalajara, Manual de Rescate y Salvamento, España (2015). (A)
- González, Jaime y Rogelio Aguilar, "Criminalística subacuática", Visión Criminológica-Criminalística, año 4, no. 14, (2016) 5-11. (C)
- Green, Jeremy, Maritime Archaeology. A Technical Handbook, Elsevier Academic Press, EUA (2004). (B)
- Lara Barajas, Israel, Fundamentos de Antropología Forense: técnicas de prospección, exhumación y análisis de restos óseos en casos forenses, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México (2008). (B)
- Louys, Julien. Practice and prospects in underwater palaeontology in Palaeontology Electronica 21.2.22A (2018) 1-14 (C)
- Ministerio Público Fiscalía de la Nación, Guía Práctica para la Recuperación y Análisis de Restos Humanos en Contextos de Violaciones a los Derechos Humanos e Infracciones Contra el Derecho Internacional Humanitario. Comité Internacional de la Cruz Roja, Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses de Perú (2017). (C)
- Pietruszka, Andrew T., Forensic archaeology underwater: JPAC's inventory, investigation and recovery of US casualties of war from submerged sites, Forensic Archaeology, Wiley, Hoboken, (2015) 453-461 (C)
- Polo-Cerdá M, García-Prosper E, Crespo Alonso S, Galtés I, Márquez-Grant N, García-Rubio A, Armentano N, Muñoz Hernández V. Protocolo de búsqueda, levantamiento y exhumación de restos humanos, Revista Internacional de Antropología y Odontología Forense, No. 1, (2018) 7-24 (C)
- Ronald F. Becker, Underwater Forensic Investigation, 2a. ed., Boca Ratón, CRC Press (2013). (A)
- Schultz, John, Carrie Healy, Kenneth Parker and Bim Lowers, Detecting submerged objects: the application of Side-Scan Sonar to forensic contexts, Forensic Sci Int, 231 (1-3) (2013), 306-316 (B)
- Tosha L. Dupras, John J. Schultz, Sandra M. Wheeler y Lana J. Williams, Forensic recovery of human remains: archaeological approaches, Boca Ratón, CRC Press-Taylor Francis Group (2006) (B)
- Unidad de Búsqueda de Personas dadas por Desaparecidas, Plan Nacional de Búsqueda, Bogotá, (2020). (C)
- Valdés, Felipe, "Sitio del suceso y su aplicación en el medio subacuático", en Investigación a Fondo, Sitio del Suceso Subacuático, no. 13, (2018), 58-67 (B)
- Verdugo, Ellian, "Trazabilidad de indicios o evidencias subacuáticas para una investigación", en Investigación Forense, VII, (2018), 119-130. (B)
- Virginia, Villela, Manual de procedimientos para la recuperación de restos óseos en la escena del crimen. Tesis Licenciatura en Investigación criminal y Forense, Universidad Rafael Landívar, Guatemala (2015). (C)
- William C. Rodriguez, "Decomposition of Buried and Submerged Bodies". In Forensic taphonomy: the postmortem fate of human remains (eds. William D. Haglund y Marcela H. Sorg), Boca Ratón, CRC Press LLC, (1997), 459-467. (B)
- William D. Haglund y Marcella H. Sorg, "Human Remains in Water Environments", in Advances in Forensic Taphonomy. Method, Theory and Archaeological Perspectives, en W. Haglund y M. Sorg (eds.), Boca Ratón, CRC Press, (2002), 201-218.(B)
- Winskog, Calle, Underwater disaster victim identification: the process and the problems, Forensic Sci Med Pathol, 8, (2012), 174-178 (A)

4



Estudios de prospección geofísica

Inmediaciones de la fosa común del parque Funerario
El Vergel, Morelia, Michoacán

Crédito: Gerardo Cifuentes Nava



PROTOCOLO

Prospección geofísica somera aplicada en búsqueda forense

Caccavari-Garza Ana¹, Quiroz-Suárez Diego², Cifuentes-Nava Gerardo¹,
Cárdenas-Soto Martín³, Escobedo-Zenil David³

¹*Instituto de Geofísica, UNAM*

²*Posgrado en ciencias de la Tierra, UNAM*

³*Facultad de Ingeniería, UNAM*

Introducción

La prospección geofísica se basa en la medición, desde la superficie, de propiedades físicas de los materiales que forman el suelo, tales como densidad, resistividad y conductividad eléctrica, susceptibilidad magnética, velocidad de las ondas sísmicas, o alguna característica relacionada con dichas propiedades (Telford et al., 1990; Reynolds, 2011). En esencia, consiste en determinar variaciones de esas propiedades, las cuales se pueden representar como contrastes o “anomalías” en los valores registrados.

Estas anomalías del valor medido, respecto del valor normal o esperado, pueden asociarse con diversas características de la zona estudiada, tales como: cortes en las capas del subsuelo, presencia de agua, cambios de materiales, o la presencia de estructuras u objetos geológicos o antrópicos enterrados a determinada profundidad (López-Hidalgo et al., 2002).

Algunas de las limitantes de los métodos de prospección geofísica para medir las variaciones de dichas propiedades pueden ser: a) un contraste insuficiente entre el objetivo de interés y el suelo que lo rodea, b) que la respuesta que se observa en la propiedad física medida, pueda corresponder a más de una situación u objeto, y c) un mal diseño del experimento o falta de resolución en el equipo. Por lo anterior, se recomienda siempre medir más de una propiedad física, es decir, utilizar más de un método geofísico. Asimismo, es deseable tener información sobre el contexto y la geología del lugar, de manera que pueda llevarse a cabo una mejor interpretación de las mediciones realizadas.

La geofísica de exploración surge, y ha sido utilizada principalmente, para la exploración de objetos de origen geológico de gran magnitud, como yacimientos de petróleo o minerales, fallas tectónicas, etc. Por esto, su implementación para la búsqueda de objetos de menores dimensiones, nos coloca en un proceso de reajuste de estas técnicas.

Recientemente, la geofísica aplicada se ha utilizado también en la ingeniería civil, para detectar características del subsuelo antes de la construcción de grandes edificios, presas, túneles e instalaciones de energía nuclear (Doolittle y Collins 1995), ayudando así a desarrollar la metodología que emplea la geofísica somera.

La prospección geofísica somera aplicada en arqueología, inicia en 1946 con la aplicación del método de corriente continua por Atkinson en Inglaterra (Barba y Rodríguez, 1991). En particular, en México, estas técnicas se aplicaron por primera vez en 1947, permitiendo la localización de los restos óseos de una mujer prehistórica en Tepexpan, Estado de México (Matos-Moctezuma, 2014).

Con el tiempo, el desarrollo de los equipos geofísicos ha permitido obtener resultados de mejor calidad, y con esto, su gradual incorporación en investigaciones arqueológicas (Aguilera, et al., 2006; Buscaglia, 2001; Domenico, et al., 2004; Montes, et al., 2012; Jervis et al., 2009; Iriarte-Sierra, 2010; Chávez et al., 2017; Cifuentes-Nava et al., 2017).

Desde hace varias décadas, países como Inglaterra, Estados Unidos, Australia, Italia, Holanda, Argentina y Colombia, y recientemente México, comenzaron a trabajar e incorporar varias disciplinas de las Ciencias de la Tierra para aplicarlas en el campo de la arqueología y la ciencia forense; entre éstas se encuentran la geología y las técnicas de exploración geofísica somera. (Bevan, 1991; France et al., 1992; Calvin et al., 1995; Davenport et al., 1990; Nobes, 2000; Cheetham, 2005; Ruffell y McKinley, 2005; Ruffell y McKinley, 2008; Harrison y Donnelly, 2009; Sagripanti, et al., 2013; Fenning y Donnelly, 2014; Ruffell y McKinley, 2014; Molina Gallego, 2016; Dick et al., 2017; Pringle et al., 2008; 2012a, 2020).

Los métodos geofísicos se han utilizado para localizar fosas clandestinas de víctimas de homicidio en investigaciones de búsqueda criminal obteniéndose

diversos grados de éxito (Dupras, et al., 2006; Ruffell y McKinley, 2008; Schultz y Martin, 2012), también se han utilizado en tumbas sin marcar en panteones (Bevan, 1991; Dick et al., 2017; Davis, et al., 2000); así como en investigaciones de asesinatos con el objetivo de localizar entierros clandestinos poco profundos (Calkin et al., 1995; Nobes, 2000; Santos et al., 2003; Congram, 2008).

También se han llevado a cabo estudios geofísicos sobre entierros simulados para recopilar datos de control (France, 1992; Pringle et al., 2012; 2020; Sagripanti et al., 2013; Molina Gallego, 2016) y para predecir qué respuestas geofísicas podrían obtenerse en los casos de búsqueda, aunque la respuesta real varía tanto temporalmente como entre los sitios de estudio. Algunas pruebas de control geofísico también han recopilado datos repetidos (*time lapse*) (Pringle et al., 2008; Schultz y Martin, 2012; Molina Gallego, 2016; Quiroz, 2020), ya que es importante comprender el cambio temporal y las posibles consecuencias que este cambio puede tener en los parámetros físicos y químicos del suelo de la fosa, la influencia de los productos de descomposición (Pringle et al., 2015) y las variaciones en el contenido de humedad del suelo (Jervis y Pringle, 2014).

Existen diversos protocolos y guías internacionales de recuperación y búsqueda forense, que sugieren el empleo de las técnicas de exploración geofísica somera para la etapa de búsqueda, (Equipo Argentino de Antropología Forense (EAAF), 2020; Comité Internacional de la Cruz Roja, 2017; Naciones Unidas, 2017).

La aplicación de métodos geofísicos de exploración somera es una herramienta importante en la búsqueda de estructuras enterradas con valor arqueológico, histórico y antropológico, ya que son métodos no destructivos, que ayudan a reducir la pérdida de evidencia física y a disminuir el tiempo de la excavación (Santos et al., 2003).

Dentro de los diferentes métodos que existen en la exploración geofísica, los más usados para la ciencia forense son el Radar de Penetración Terrestre (GPR), la Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE), la magnetometría y la refracción sísmica, mismos que se describirán a detalle más adelante y que, de manera general, se sintetizan en la figura 1.

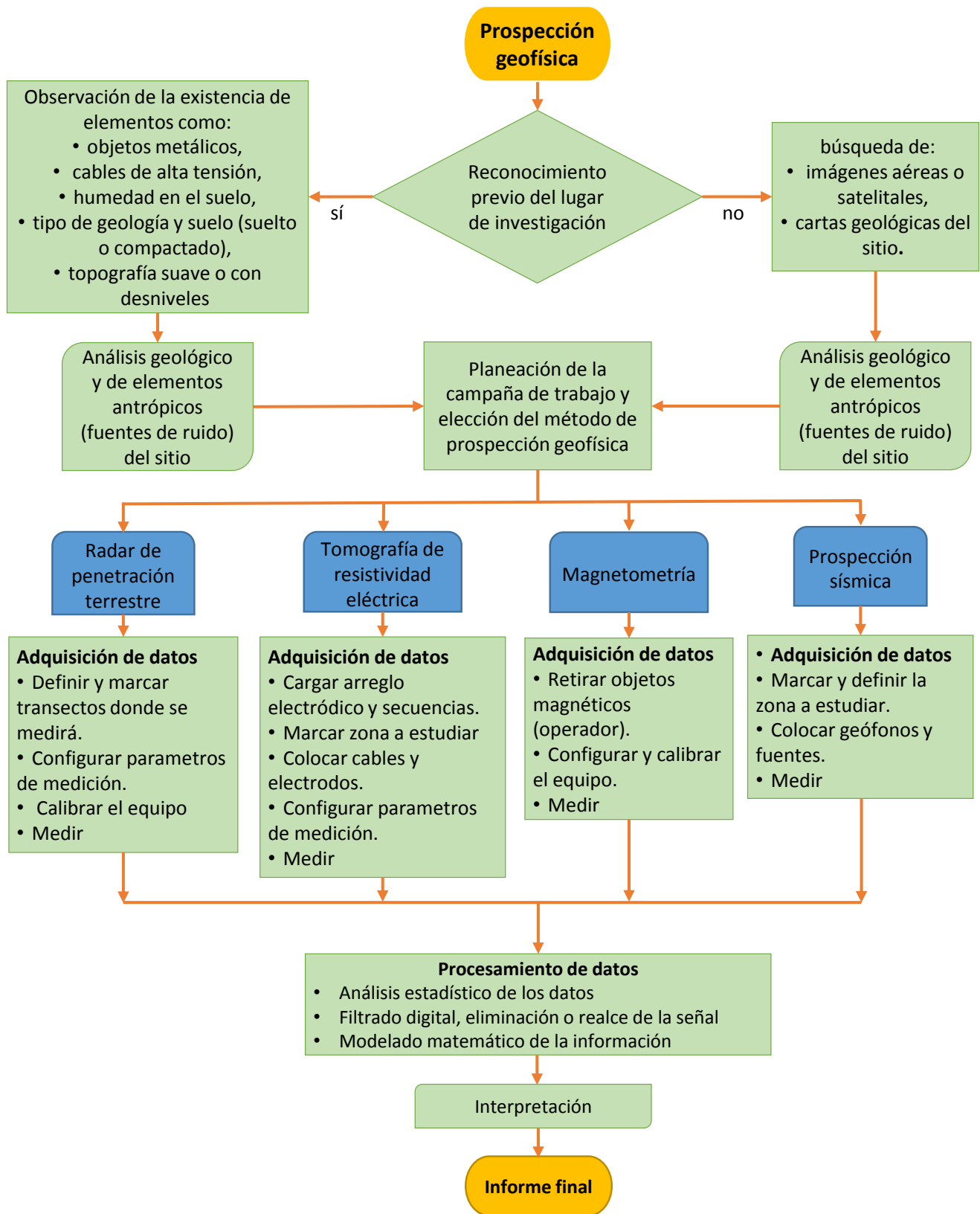


Figura 1. Esquema de trabajo para la prospección geofísica somera aplicada en búsqueda forense.

Los métodos de exploración geofísica

Los métodos de exploración geofísica se aplican considerando siempre tres variables:

- la profundidad a la que se desea investigar,
- la geometría y tamaño del objeto de estudio,
- la propiedad físico-química que se desea investigar.

Existe una amplia variedad de métodos de exploración geofísica, para cada uno de los cuales hay una propiedad física "operativas" a la que el método es sensible (eléctricos, magnéticos, sísmicos, electromagnéticos, etc.). Sin embargo, no todos los métodos geofísicos funcionan para geofísica forense. En la tabla 1 se presenta una revisión hecha por Reynolds en 2011 acerca de diferentes métodos geofísicos y su aplicación en geofísica forense. Aunque esta tabla permite tener un panorama general de los métodos, no debe tomarse como restrictivo, ya que en años recientes los avances tecnológicos en metodologías de adquisición y procesamiento de los datos pueden cambiar el enfoque expuesto.

La obtención de datos en cada método consiste en la planeación de los levantamientos, adquisición de datos en campo, procesamiento de los datos obtenidos y la interpretación de estos. Hay que considerar que la obtención de buenos resultados depende en mayor parte del procesamiento y la interpretación, y no únicamente del correcto levantamiento de datos en campo.

En la tabla 2, se resumen de los métodos de prospección utilizados en geofísica forense y que se describirán en este capítulo.

Radar de penetración terrestre (GPR)

A la fecha, uno de los métodos que más se ha utilizado en geofísica forense es el Radar de Penetración Terrestre (GPR, por sus siglas en inglés, Mellet, 1992; Strongman, 1992; Novo et al., 2011; Ruffell, 2005; Schultz, 2007, 2012; Schultz y Martin, 2011, 2012; Barone et al., 2015; Molina et al., 2015; Pringle et al., 2016; Schultz et al., 2016), éste permite la caracterización de las propiedades electromagnéticas del subsuelo y la estimación de su distribución espacial en función de la profundidad.

El GPR es un método de prospección geofísica que emplea pulsos electromagnéticos, los cuales

Tabla 1. Evaluación de diferentes métodos geofísicos y su aplicación en geofísica forense (Adaptada de Reynolds, 2011).

Método geofísico	Propiedad física	Aplicación en geofísica forense.
Gravimetría	Densidad	No recomendable**
Magnetometría	Susceptibilidad magnética	Recomendable para detección de objetos metálicos enterrados.
Refracción sísmica	Modulo elástico; densidad	No recomendable**
Reflexión sísmica	Modulo elástico; densidad	No recomendable**
Resistividad	Resistividad	Utilizado*
Potencial espontaneo	Diferencia de potencial	No recomendable**
Polarización inducida	Resistividad; capacitancia	Utilizado*
Electromagnéticos	Conductancia; inductancia	Utilizado*
Radar de Penetración Terrestre	Permitividad; conductividad	Muy recomendable
Magneto telúricos	Resistividad	No recomendable**

*es utilizado, pero no se recomienda para el primer acercamiento, o es un método que no se desarrollo para esta aplicación.

**en la actualidad no hay publicaciones científicas donde se empleen estos métodos, pero tampoco es posible descartarlos.

Tabla 2. Principales características y limitaciones de los métodos de prospección geofísica más empleados.

Método de prospección	Características	Limitaciones
Tomografía de Resistividad Eléctrica	- Se inyecta corriente eléctrica al subsuelo a través de un par de electrodos o varillas. - Simultáneamente otro par de electrodos mide una diferencia de potencial. - De cada punto de lectura o punto de atribución se obtiene un valor de resistividad.	- Concreto armado. - Líneas de corriente eléctricas (subterráneas y aéreas). - Rocas masivas.
Magnetometría	- Se obtienen medidas del valor total del campo magnético y sus variaciones. - Estas variaciones, se deben a la presencia de cuerpos susceptibles de magnetizarse y que, por tal motivo, contribuyen a modificar el campo magnético terrestre en su entorno.	- Tormentas eléctricas y magnéticas. - Muros de roca con minerales magnéticos. - Objetos metálicos. - Líneas de corriente eléctrica (subterráneas y aéreas) - Concreto armado.
Radar de penetración terrestre (GPR)	- Basado en la emisión de impulsos electromagnéticos de corta duración (entre 20 MHz y 2.5GHz). - Un transmisor, genera un tren de impulsos, es decir, de ondas EM que, al atravesar diferentes capas del subsuelo, provoca una reflexión de parte de la energía del frente de onda.	- Concreto armado. - Líneas de corriente eléctrica (subterráneas y aéreas). - Suelos saturados. - Vegetación abundante.
Sísmica	Calcular el espesor de los estratos del subsuelo	- Vibraciones generadas por: - Circulación de vehículos. - Paso de personas. - Oscilación de árboles ocasionada por el viento. - Caída de lluvia intensa - Motores encendidos (autos, bombas, máquinas)

son transmitidos en el terreno para caracterizar las estructuras del subsuelo, tanto naturales como antrópicas. Por su gran capacidad de proveer información de alta resolución, actualmente tiene aplicaciones en la ingeniería civil, en geotecnia, en arqueología, en estudios de contaminación del suelo y en la determinación de espesores de capas de hielo, entre otras (Blancas-Vázquez, 2000).

En la tabla 3 se resumen las ventajas y desventajas del uso del GPR para levantamientos en contexto forense.

El GPR emplea un sistema de pulsos electromagnéticos de banda ancha que está diseñado

específicamente para que el medio por el que se propaga la energía sea el subsuelo o cualquier otro medio material. Los pulsos electromagnéticos cortos emitidos inciden en heterogeneidades del medio con contrastes dieléctricos (interfaces o cambios en los materiales que se encuentran en el suelo), provocando reflexiones, refracciones y difracción de las ondas, las cuales son captadas por la antena transmisora-receptora (Tx-Rx) para tomar imágenes subsuperficiales (Martín-Gutiérrez, 2004). En la figura 2 se explica la transmisión y propagación de las ondas electromagnéticas desde la antena del GPR.

Tabla 3. Ventajas y desventajas del uso del GPR para levantamientos en contexto forense (Schultz, 2012).

Ventajas	Desventajas
- Los datos son recolectados y desplegados en una pantalla en tiempo real. - Es el método con la mejor resolución para definir rasgos en el subsuelo. - Las evaluaciones preliminares pueden normalmente realizarse en campo (requiere del procesamiento de los datos). - No hay destrucción del suelo. - La profundidad y tamaño de los rasgos del subsuelo pueden determinarse con cierta precisión - Los datos se guardan en un disco duro para verlos en un momento posterior y procesarlos con el software GPR. - Se puede usar sobre concreto y asfalto. - Se puede usar sobre agua dulce.	- El equipo es costoso. - Se requiere capacitación especializada para procesar e interpretar las imágenes obtenidas con el GPR. - Las condiciones del suelo y del sitio afectan los resultados. - Velocidad de cobertura lenta a media cuando el levantamiento se realiza correctamente con una malla.

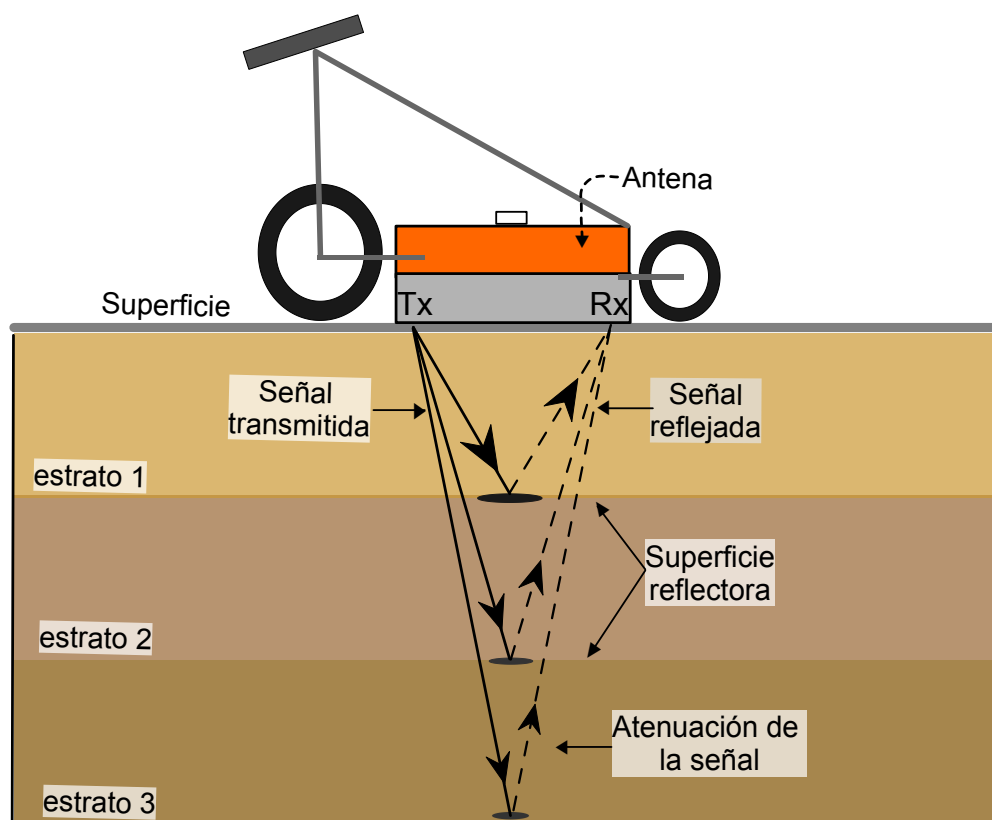


Figura 2. Transmisión y propagación de ondas electromagnética desde la antena del GPR. La profundidad de investigación y la resolución horizontal del GPR va a depender de la frecuencia utilizada en las diferentes antenas (A mayor profundidad menor frecuencia y viceversa). A medida que las ondas electromagnéticas profundizan en el subsuelo y encuentran cambios de interfaces o materiales cuyas propiedades físicas y químicas son diferentes a las de su entorno (permitividad, conductividad eléctrica y permeabilidad magnética), una parte de las ondas se reflejan y una parte son dispersadas. Las ondas de retorno son recibidas por la antena GPR.

Los pulsos de la antena Tx-Rx viajan a velocidades proporcionales a las características del material por el que se va propagando. La caracterización electromagnética del medio se realiza a través de 3 parámetros:

Permitividad dieléctrica ϵ (F/m) o constante dieléctrica es una constante de proporcionalidad entre la intensidad del campo eléctrico externo aplicado y el vector desplazamiento.

Permeabilidad magnética μ (H/m) o constante magnética, este parámetro relaciona la inducción magnética con la intensidad del campo magnético; es la medida de la capacidad o habilidad de magnetización de un sedimento. Si éste contiene pocas partículas magnéticas, la susceptibilidad será baja; en caso contrario, será alta.

Conductividad eléctrica σ (S/m) caracteriza el movimiento de carga libre (creando corriente eléctrica) cuando hay un campo eléctrico presente. La resistencia al flujo de carga conduce a la disipación de energía.

Estos parámetros se definen mediante las denominadas ecuaciones constitutivas siguientes (Mohr y Taylor, 2000; Lapazaran, 2004).

$$J = \sigma E \quad (1)$$

$$D = \epsilon E \quad (2)$$

$$B = \mu A \quad (3)$$

Las ecuaciones constitutivas (1), (2) y (3) proporcionan una descripción macroscópica (o comportamiento promedio) de cómo las moléculas responden en masa a la aplicación de un campo electromagnético (Blancas-Vázquez, 2000).

Ciertas condiciones del terreno, como la densidad, la porosidad del suelo, el contenido de agua, la temperatura y la cantidad de sal disuelta, modifican la velocidad del recorrido de la onda y se expresan como la constante dieléctrica relativa del material. La

atenuación de la onda electromagnética en un medio depende directamente de la K (constante dieléctrica relativa) del material y es una medida de qué tan bien ese material almacena una carga eléctrica (Lee-Miller, 2002).

Cuando el pulso alcanza una interfaz eléctrica, su velocidad cambia y parte de la energía se devuelve a la antena receptora, mientras que el resto avanza (figura 3). La cantidad de energía que se refleja en la antena es directamente proporcional al cambio electromagnético en la interfaz y el tiempo de viaje del pulso reflejado es proporcional a la profundidad de la interfaz (Doolittle, 1987). En otras palabras, a partir de los tiempos de retardo de las ondas reflejadas y de la velocidad de propagación de las ondas en el material por el que se desliza la antena, se deduce la profundidad a la que se encuentra el cuerpo reflector.

Ejemplo de GPR

Para poder observar el resultado obtenido en este método, en la figura 5 se muestra el radargrama obtenido del sondeo realizado sobre un campo de pruebas que se encuentra ubicado al sur de la Ciudad de México. En una zona volcánica formada por flujos andesíticos (Guilbaud et al., 2015), en el que se inhumaron cadáveres de cerdos simulando 7 fosas (Quiroz, 2020).

Para este trabajo se utilizó el equipo SIR 3000 de la marca Geophysical Survey System, con una antena blindada de 400 MHz en modo mono-estático para permitir que la energía electromagnética penetre en su totalidad, con una ventana de tiempo de observación de 50 ns.

El perfil mostrado se levantó de manera transversal sobre 2 fosas: la primera (a) tiene 1.2 m de ancho, 3.5 metros de largo y 1.3 m de profundidad. En esta fosa se depositaron dos cerdos. La segunda fosa (b) sobre la que atraviesa el perfil tiene 1.5 m de ancho, 2.4 m de largo y 1 m de profundidad, y contiene un cerdo (figura 4). Cabe mencionar que, según Tibbett y Carter (2008), los cerdos tienen una composición química similar, tamaño corporal, tejido del cuerpo, proporciones de grasa, tipos de piel y pelo similar al de los seres humanos, lo que semeja el proceso de descomposición del cuerpo humano.

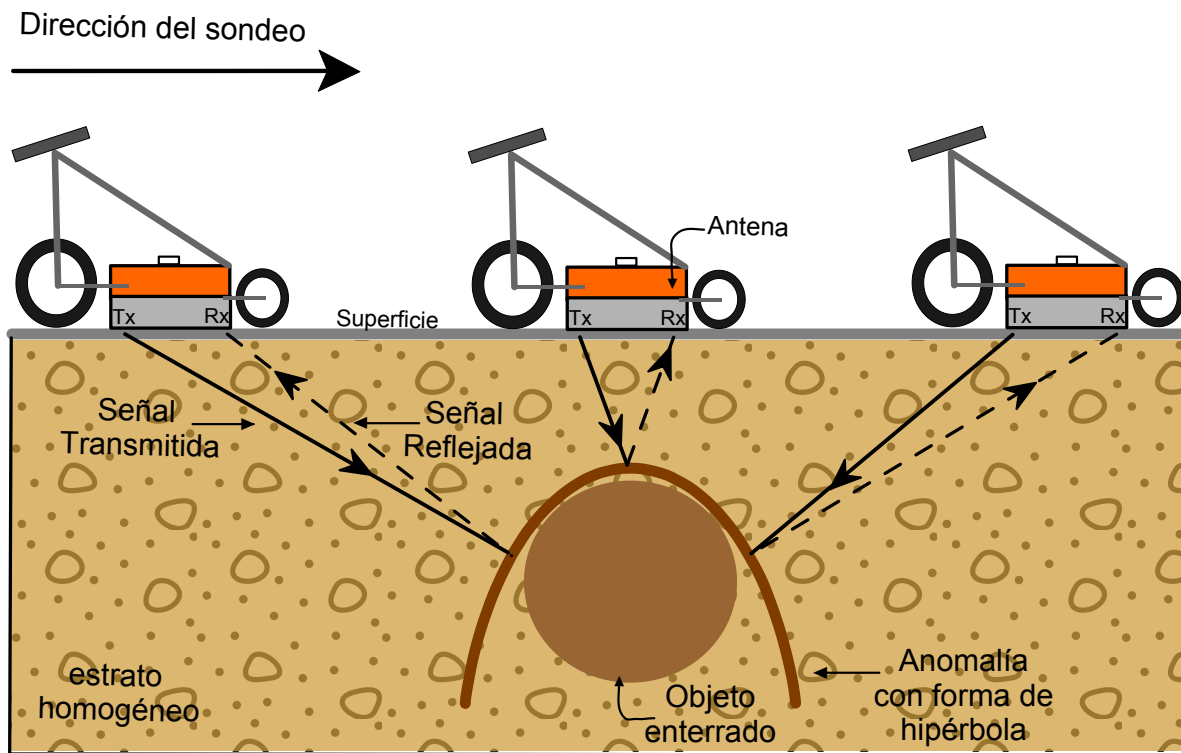


Figura 3. La forma hiperbólica que se observan en los radargramas de GPR, se debe al ángulo de reflexión de la onda (señal) electromagnética transmitida que detecta el borde del objeto enterrado antes (posición de la antena 1) y después (posición de la antena 3) y cuando la antena está directamente sobre el objeto (posición de la antena 2).

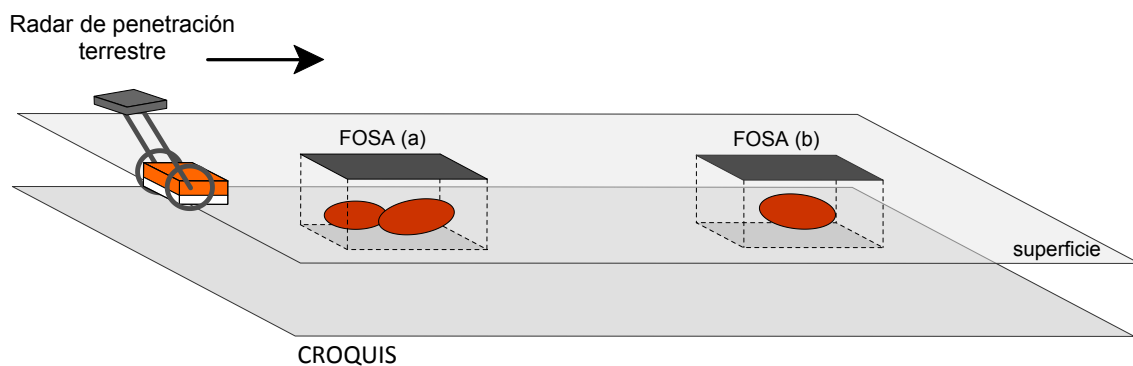


Figura 4. Esquema que muestra la disposición de las fosas a y b así como su contenido, y la manera en la que se realizó el levantamiento del perfil mostrado.

El radargrama mostrado en la figura 5, se procesó utilizando el software Mat-GPR 3.1 (Tzanis, 2006), realizando lo siguiente: 1) corrección estática, 2) eliminación DC, 3) Filtro pasa bandas, 4) Ajuste de hipérbola (determinar profundidad), 7) Función de ganancia (Decaimiento inverso de la amplitud). En el radargrama, se observan cortes o discontinuidades en los contornos geológicos que pueden ser asociadas a perturbaciones generadas por los cortes en el subsuelo

hechos durante las inhumaciones; también se nota una pérdida de energía electromagnética en la parte central de ambas fosas. Estas perturbaciones corresponden en dimensiones y posición a las fosas a y b.

Un segundo ejemplo del uso del GPR, se muestra en la siguiente sección en la figura 8, en la que se observan de manera conjunta los resultados obtenidos por GPR y por TRE.

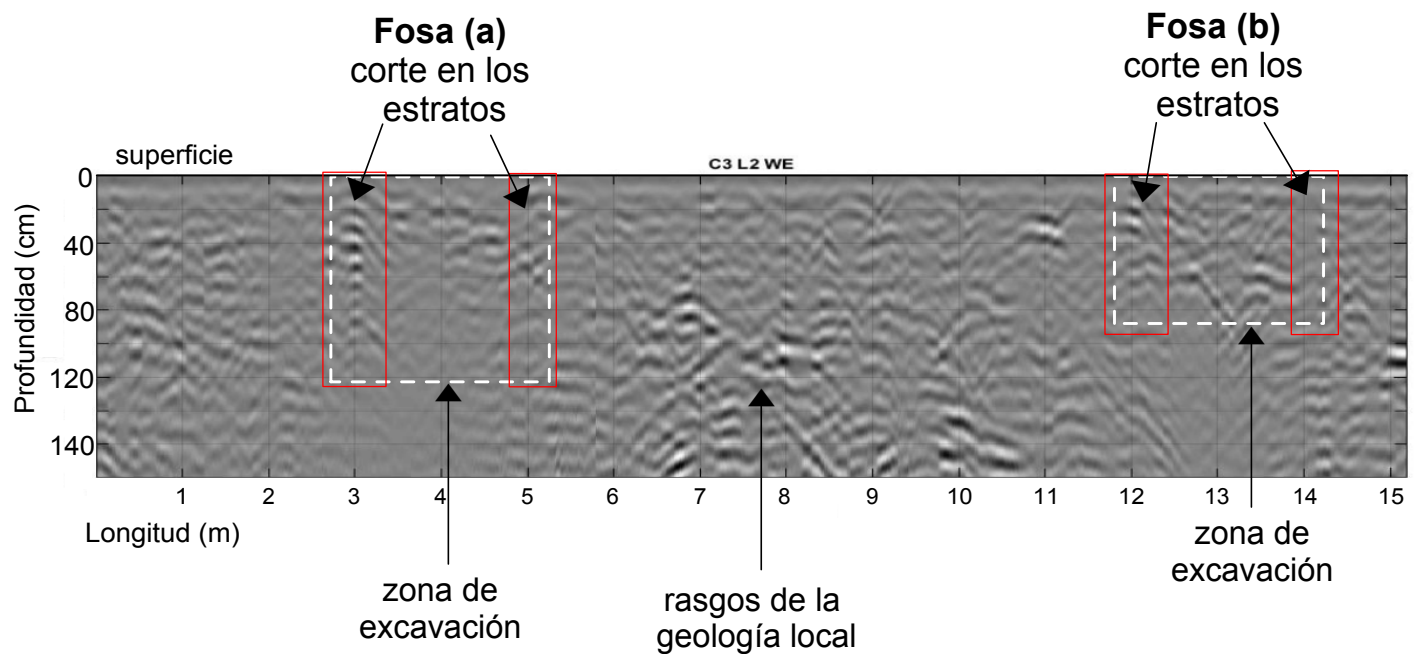


Figura 5. Radargrama correspondiente al campo de pruebas localizado en la CDMX, (Quiroz, 2020). En línea punteada se observan los límites para las fosas a y b, en los recuadros rojos se muestran las anomalías que se originaron por el corte en los estratos del subsuelo. También se observan rasgos de la geología local, volcánico y andesítico.

Tomografía de resistividad eléctrica (TRE)

El método eléctrico o Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE), ha sido ampliamente utilizado en casos arqueológicos para la detección de estructuras y de entierros antiguos (Jervis et al., 2009; Iriarte-Sierra, 2010; Chávez et al., 2017; Cifuentes-Nava et al., 2017), recientemente, se ha implementado en la búsqueda forense (Pringle et al., 2009, 2016, 2020; Scott y Hunter, 2004; Pringle y Jervis, 2010; Sangripanti et al., 2013, Jervis y Pringle, 2014; Molina Gallego, 2016, Quiroz, 2020). En la tabla 4 se resumen las ventajas y desventajas del uso de la TRE para levantamientos en contexto forense.

Este método emplea corrientes eléctricas generadas artificialmente que se introducen al subsuelo permitiendo investigar la variación a profundidad y lateralmente del parámetro físico llamado resistividad (ρ) que depende del contenido y clase de minerales, fluidos en los poros de las rocas, saturación, sales disueltas. La resistividad nos indica que tanto se opone un material a ser atravesado por la corriente eléctrica

empleada (Telford et al., 1990). Considerando el sistema conformado por un semiespacio con resistividad ρ infinita, es decir, con un valor muy alto, que representa la atmósfera de la Tierra y subyaciendo está otro semiespacio de resistividad que simboliza el subsuelo.

Para establecer un campo eléctrico en dicho sistema es preciso tener un generador de corriente que debe estar conectado a dos electrodos delgados (varillas metálicas) llamados **A** y **B**, considerados “electrodos puntuales” debido a la comparación entre su tamaño y el semiespacio del subsuelo; éstos deben ser clavados en la superficie del terreno, donde una corriente de intensidad I_A penetrará por el electrodo **A** en el subsuelo y, después de recorrerlo, saldrá por el electrodo **B** con intensidad I_B , volviendo al generador para cerrar el circuito eléctrico, como se ilustra en la figura 6.

Para realizar los estudios de TRE se parte del supuesto de que el subsuelo se compone de varias zonas. Dentro de cada una de ellas la resistividad es constante y están separadas entre sí por superficies límite planas o interfaces; es decir, el subsuelo se considera un semiespacio homogéneo e isótropo.

Tabla 4. Ventajas y desventajas del uso del TRE para levantamientos en contexto forense.

Ventajas	Desventajas
• Proporciona una buena resolución de los rasgos en el subsuelo, si el levantamiento es realizado adecuadamente. • No hay destrucción del suelo. • La profundidad y tamaño de los rasgos del subsuelo pueden determinarse con cierta precisión. • Los datos se guardan en un disco duro para verlos en un momento posterior y procesarlos. • Se pueden usar sobre concreto y asfalto. • Se puede usar sobre agua dulce.	• El equipo es costoso. • Se requiere capacitación especializada para realizar, procesar e interpretar la ETR. • Las condiciones del suelo y del sitio afectarán los resultados. • Velocidad de cobertura lenta. • No se pueden visualizar los datos en tiempo real. • Se obtiene poca información en las primeras decenas de centímetros de profundidad.

En la TRE se emplea un arreglo tetra-electrónico AM-NB, también llamado cuadripolo, donde A y B son el dipolo de electrodos puntuales que inyecta la corriente y M y N son el dipolo de electrodos puntuales que mide la diferencia de potencial creada por A y B (figura 6), donde la resistencia es calculada por la Ley de Ohm (Edwards, 1977).

La resistencia medida varía en función de la distancia y la geometría entre los electrodos, por lo que se normaliza con un factor de corrección geométrica, denominado *K* (que no es la misma *K* de la constante dieléctrica relativa de GPR) que convierte la medida de resistencia en resistividad aparente (Geometrics, 1999). Existen diferentes arreglos, dispositivos o configuraciones electrónicas de AM-NB; cada uno de estos diferentes arreglos tiene su factor geométrico *K* el cual, como ya se mencionó, depende únicamente de la geometría del arreglo electrónico en unidades de longitud.

La fórmula general para el cálculo del factor geométrico de un arreglo tetra-electrónico AM-NB se expresa como:

$$K = 2 \pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (4)$$

Como en la realidad el subsuelo es heterogéneo y anisótropo, la medición de la resistividad resultará en una resistividad aparente (ρ_a) que está en función

de todos los valores de resistividad del sitio y las distancias entre los electrodos AM-NB. En general, ésta no corresponde a ninguna resistividad medida de manera puntual y depende del grado de fracturación que poseen las rocas y el porcentaje de agua que rellena las fracturas del terreno. Es la variable experimental que expresa los resultados de las mediciones en la mayoría de los métodos geoelectrónicos y es la que se toma como base para la interpretación (Constantino-Rodríguez, 2011; Orellana, 1982).

Estos arreglos están enfocados en mapear diferentes estructuras que serán representadas con contornos en una pseudosección eléctrica. Los contornos son la interpolación de los puntos de medición también llamados puntos de atribución. Dichos puntos son las lecturas de la resistividad aparente hecha por el cuadripolo AM-NB y se calculan al centro del arreglo electrónico utilizado.

Una característica de los métodos eléctricos es que, al aumentar la distancia entre AM-NB, también se incrementa la capacidad de penetrar en el subsuelo. En función del espacio entre electrodos puede establecerse una relación entre profundidad de investigación y resolución, como se ve en las figuras 6 y 7. A mayor espaciado de electrodos, la profundidad alcanzada es mayor, pero la resolución disminuye.

A la pseudosección que presenta la distribución aproximada de la resistividad aparente del subsuelo se le aplica un algoritmo de modelación e inversión para obtener así una imagen eléctrica, es decir, un modelo de resistividad “verdadera” del subsuelo.

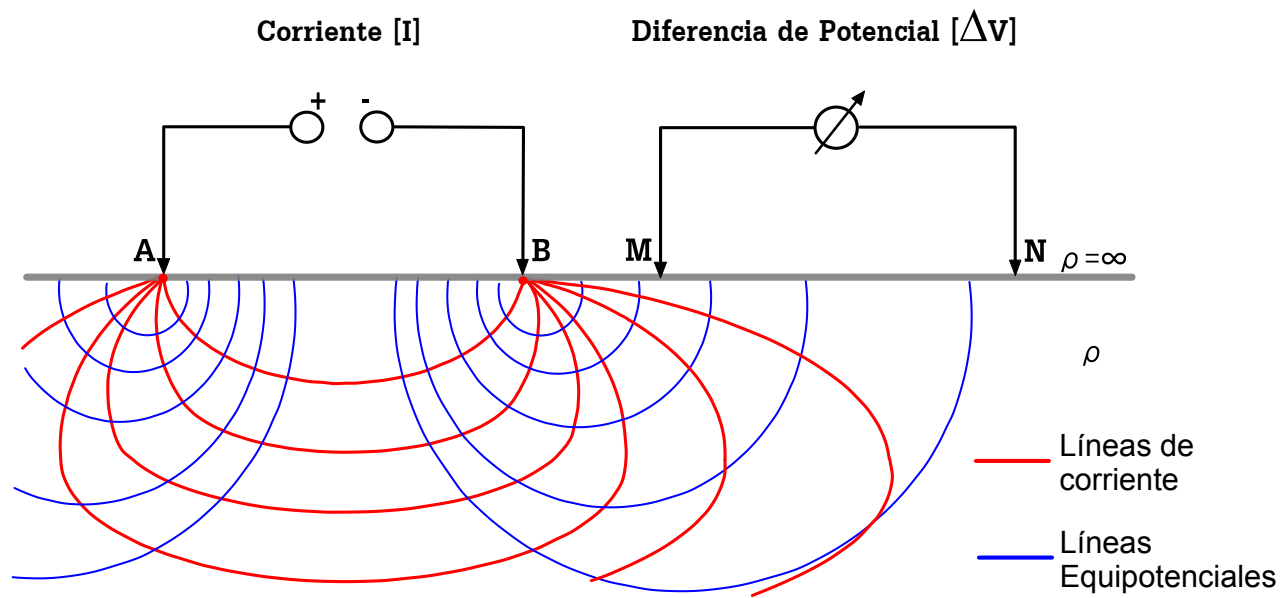


Figura 6. El principio físico en el que se basa esta metodología está relacionado con el siguiente concepto: mediante un dispositivo electródico, se inyecta una corriente estacionaria a través de un par de electrodos puntuales [A y B], y se lee la diferencia de potencial entre otro par de electrodos [M y N]. La relación de estas dos magnitudes proporciona una resistividad aparente que depende de la resistencia de los materiales presentes en el subsuelo

La profundidad a la que se sitúa cada medida de resistividad es un tema de cierta ambigüedad, dado que ésta no solo depende de la disposición de los electrodos (más espaciados, mayor profundidad), sino también del modelo geológico y de sus propiedades eléctricas, geometría del cuerpo anómalo y contaminación por ruido (Dahlin y Zhou, 2004). Por otro lado, factores como la porosidad, el grado de saturación de agua y la concentración de sales generan una superposición en los valores de resistividad de las diferentes clases de rocas y suelos (López-Hidalgo et al., 2002).

Finalmente, el programa de inversión, además de transformar las resistividades aparentes a verdaderas, también situará cada medida de profundidad aparente a una profundidad media o real, la cual es determinada al integrar la sensibilidad con la profundidad (Edwards, 1977). En la figura 7 se muestran los puntos de atribución para una sección de TRE.

Ejemplo de TRE

La figura 8 muestra el perfil geoelectrico de resistividades que se obtuvo de medir en la zona destinada a la fosa común del Parque Funerario El Vergel, localizado al

sur de la Ciudad de Morelia Michoacán. El lugar ha servido de panteón por varios años, lo que ha resultado en la remoción de las rocas, dejando sedimentos poco consolidados dentro del Parque Funerario (Quiroz, 2020).

Este sitio está ordenado de tal modo, que todas las fosas contienen el mismo número de cuerpos inhumados. Las dimensiones de las fosas se mantienen prácticamente constantes (2 m de largo, 1.1 m ancho y 1.4 m de profundidad), además son equidistantes entre sí.

La prospección de tomografía de resistividad eléctrica se realizó con el resistivímetro Syscal Jr de la marca IRIS Instruments y 24 electrodos de acero, los cuales se colocaron sobre un perfil de 23.6 metros de longitud que cubrieron un total de 13 fosas.

Los datos de TRE muestran un rango de valores muy reducido, que se encuentra en el intervalo de 4.5 - 60 $\text{ohm} \cdot \text{m}$, esto es debido al material geológico, a la humedad existente en este y el aporte de material orgánico. Los valores de resistividad más bajos son los que se asocian a las fosas.

En la figura 8 se muestran los resultados de TRE que muestran 13 anomalías con valores bajos de resistividad a una profundidad promedio de 1 m

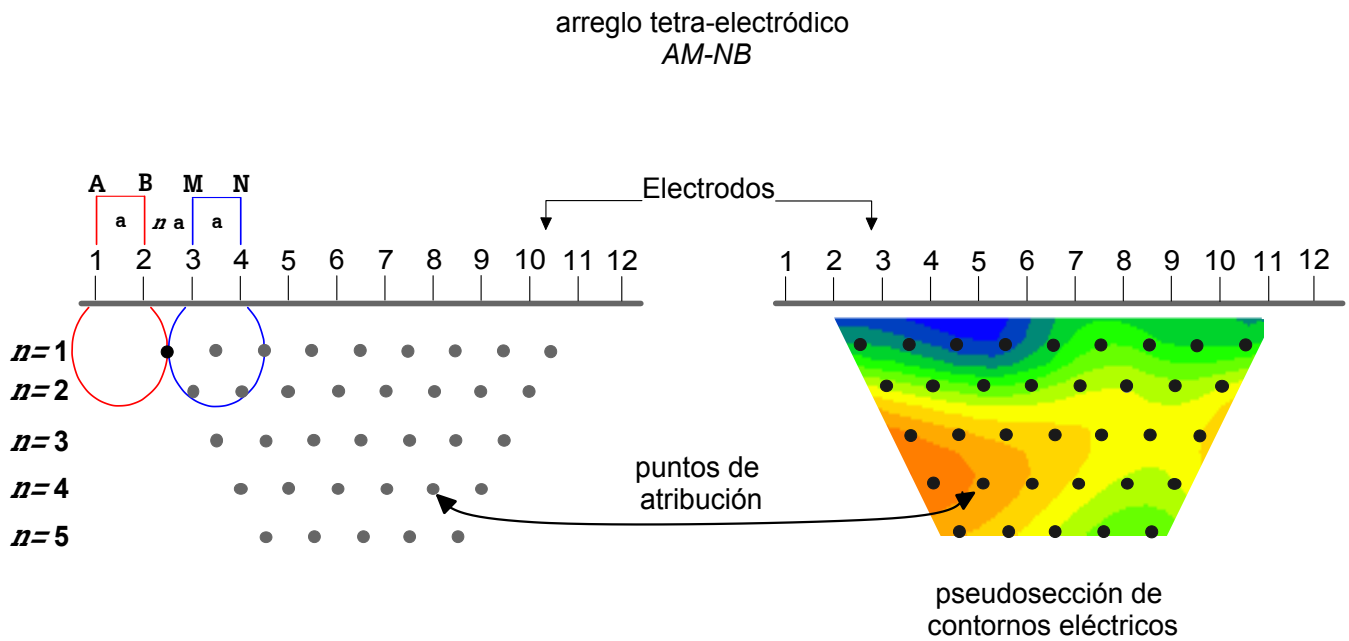


Figura 7. Se estudia a lo largo de líneas en una dirección determinada, donde se inyecta una corriente eléctrica y mediante un dispositivo receptor se observa la respuesta del subsuelo, siendo el resultado, datos de resistividades aparentes puntos de atribución. Se caracteriza por ser una técnica de resistividad multielectrónica, cuyo arreglo geométrico varía dependiendo del objetivo de estudio. Con las mediciones adquiridas se construye una sección en dos dimensiones (2D) que muestra una primera aproximación de los cambios en el subsuelo. Posteriormente, se aplica un algoritmo de inversión para obtener la distribución real de resistividades o imagen eléctrica. Imagen que será un resultado interpretable desde un punto de vista físico y geológico, y que dará información sobre las características físicas del subsuelo

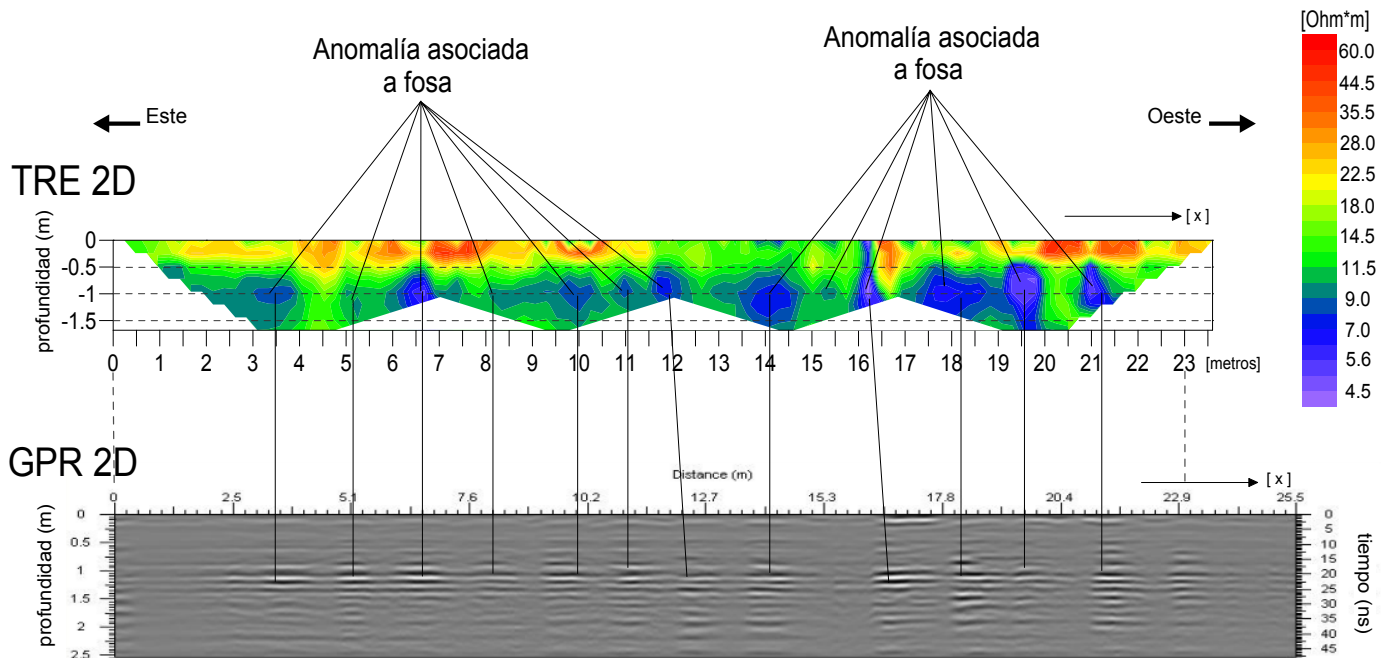


Figura 8. Se observa la correlación de anomalías que producen los contrastes físicos y químicos de las fosas en de los Perfiles de Tomografía de Resistividad Eléctrica y de Radar de Penetración Terrestre en el Parque Funerario el Vergel (Quiroz, 2020).

y una separación entre ellas 1.5 m aproximadamente, que corresponden a las fosas mapeadas. Los contornos geoelectricos de mayor resistividad se asocian a material geológico más consolidado, es decir, al material que ha sido poco alterado en las excavaciones.

En una segunda etapa del estudio hecho en el Parque Funerario, se realizó un perfil de GPR con el radar SIR 3000 y una antena de 400 MHz, en la misma posición que el levantamiento realizado con TRE. Se obtuvieron resultados de dos diferentes métodos que trabajan con diferentes parámetros operativos, permitiendo correlacionar ambos los resultados.

El radargrama obtenido se muestra en la segunda parte de la figura 8. Se muestra un perfil de con una longitud de 25.5 m y se distinguen las anomalías correspondientes a cada una de las fosas. Cabe resaltar, que al tener condiciones geológicas distintas a las del ejemplo anterior.

Magnetometría

La magnetometría determina las propiedades magnéticas de los materiales, de ahí que se puedan detectar anomalías en función de las diferencias de los contrastes debidos a la susceptibilidad magnética (Reynolds, 2011). Es el método más documentado y extendido para su aplicación en sitios arqueológicos. Inició en 1958 por Aitken (Telford, et al., 1990). Esta técnica se emplea comúnmente para el mapeo de cimientos antiguos y localización de hornos y fogatas; también es usada para la ubicación de suelos alterados por actividad humana y ha sido considerada en la búsqueda de objetos metálicos en el contexto forense (Pringle et al., 2015a; Dick et al., 2017; Molina Gallego, 2016; Deng et al., 2020).

El método de prospección magnética consiste en medir las variaciones del campo magnético terrestre y con base en ellas, inferir la geología del subsuelo, así como los materiales antrópicos que en ella se encuentren. Los estudios magnetométricos consisten en realizar mediciones del campo magnético sobre la superficie terrestre, con instrumentos denominados magnetómetros, estas mediciones se realizan en intervalos de distancia o de tiempo aproximadamente constantes a lo largo de una línea denominada perfil,

donde una serie de perfiles paralelos constituyen una malla o levantamiento magnetométrico.

El campo magnético terrestre en su mayoría proviene del núcleo de la Tierra, pero hay otros fenómenos a menor escala que tienen origen en la superficie de la corteza y que contribuyen o modifican este campo. Para que la contribución de los fenómenos de pequeña escala pueda ser medible, y posteriormente, modelada para su interpretación, es necesario eliminar la contribución principal (la del núcleo) así como de las aportaciones externas y fuentes de ruido como las que generan los cables de alta tensión y objetos metálicos (cuando estos no son el objetivo de búsqueda). (Escorza-Reyes, 2010).

Ya que la magnetometría es operativa para los valores magnéticos de los materiales, es posible detectar anomalías en función de los diferentes valores magnéticos que van a contrastar entre sí (Reynolds, 2011). En la tabla 5, se enlistan cuales son las ventajas y desventajas de este método.

Como ya se mencionó, la Tierra se comporta como un dínamo que genera un campo eléctrico que a su vez induce un campo magnético (campo magnético terrestre), dirección norte-sur coincidente con el eje de rotación de la Tierra (Lanza y Meloni, 2006). Este campo magnético inducido por corrientes eléctricas, lo que implica que pueden ser caracterizados por sus líneas de flujo o líneas de fuerza, variando en intensidad de los polos al ecuador. Los diferentes materiales que componen el subsuelo, estructuras y objetos varían en su capacidad de ser magnetizados, debido principalmente por la cantidad de elementos ferromagnéticos (Telford et al, 1990; Argote-Espino, 2002).

El grado en el que un material es magnetizado por un campo magnético se le denomina susceptibilidad magnética χ , que es la medida de un material susceptible de ser magnetizado (Reynolds, 2011), es decir, la susceptibilidad magnética es la relación entre el campo magnético y la magnetización de un material cualquiera, de ahí que se puedan detectar anomalías en función de las diferencias o contrastes debidos a la susceptibilidad magnética de cada material.

$$M = \chi H \quad (5)$$

Tabla 5. Ventajas y desventajas del uso de la magnetometría para levantamientos en contexto forense.

Ventajas	Desventajas
• Detecta objetos metálicos (que pueden estar asociados a la búsqueda). • El equipo no es tan costoso. • No se requiere capacitación especializada para realizar el levantamiento. • No hay destrucción del suelo. • Los resultados preliminares pueden visualizarse en campo (con un procesamiento simple). • Los datos se guardan en un disco duro para verlos en un momento posterior y procesarlos. • Se pueden usar sobre concreto y asfalto. • No es sensible a los cambios estacionales.	• No es sensible a la detección de fosas. • Se requiere capacitación especializada para interpretar las imágenes. • Es muy sensible a “ruido” magnético (coches, cables, bardas metálicas, u objetos metálicos que lleve el operador, como celulares, monedas, hebillas). • Velocidad de cobertura media, si se realiza un mallado adecuado. • No se pueden visualizar los datos en tiempo real.

Donde M es la intensidad de magnetización y H es el campo magnético. En consecuencia, todos los materiales pueden ser clasificados en tres grupos de acuerdo con su comportamiento magnético (Telford et al., 1990):

- **Diamagnéticos:** presentan susceptibilidades magnéticas negativas muy pequeñas
- **Paramagnéticos:** presentan susceptibilidades positivas, pero también de muy pequeño valor
- **Ferromagnéticos:** se caracterizan por presentar susceptibilidades muy altas y, por lo tanto, son capaces de adquirir una fuerte magnetización.

Al presentarse un campo magnético, además del de la Tierra, se produce un alineamiento parcial de los electrones. Esta inducción magnética debida a la aplicación de un campo externo permite medir directamente la fuerza magnética con un magnetómetro de tipo precesión protónica (PPM, por sus siglas en inglés, Telford et al., 1990). En las investigaciones arqueológicas, el magnetómetro mide la suma vectorial de los campos magnéticos local y terrestre, que están en función del contraste magnético que se genera entre un objeto y el contexto que lo encierra (Argote-Espino, 2002). Esto se ejemplifica en la figura 9.

Las lecturas magnéticas usualmente aumentan por combinación de minerales magnéticos como la magnetita y minerales ferromagnéticos, sino que también pueden reflejar alteraciones que han sido

causadas por la actividad humana (Reynolds, 2011; Molina Gallego, 2016).

Ejemplo de magnetometría

La magnetometría no es un método recomendable para la detección de fosas (Reynolds, 2011). Sin embargo, se ha utilizado en la búsqueda de armas u objetos metálicos que pueden estar asociados a la presencia de fosas.

Un ejemplo de estos resultados corresponde al observado por Deng et al., (2020), en el que se realizó un levantamiento magnético en un campo de pruebas. Este campo, está ubicado cerca del aeropuerto de Ontario, Canadá y está constituido por un tipo de suelo conocido como podsol alamy (Hoffman y Richards, 1953). Se enterraron 3 rifles y 3 pistolas a diferentes profundidades 0.6 m, 1.2 m, and 1.8 m todas de manera horizontal (orientadas NW.SE), como se observa en el esquema de la figura 10.

Se realizaron levantamientos magnéticos de gradiente vertical, utilizando un magnetómetro Overhauser GEM-Systems GSM-19GW con una sensibilidad de 0.0015 nT. La elevación del sensor inferior fue de 0.25 m y el superior 0.80 m, respecto al suelo. Dejando una separación entre ellos de 0.55 m. Los datos se adquirieron con una distancia entre medición de 0.10 m y de 0.25 m entre líneas (Deng et al., 2020). En la figura 11 se puede observar el mapa obtenido de estas mediciones, los contrastes en azul y rojo intensos corresponden a las anomalías que se generan por lo rifles y las pistolas enterradas.

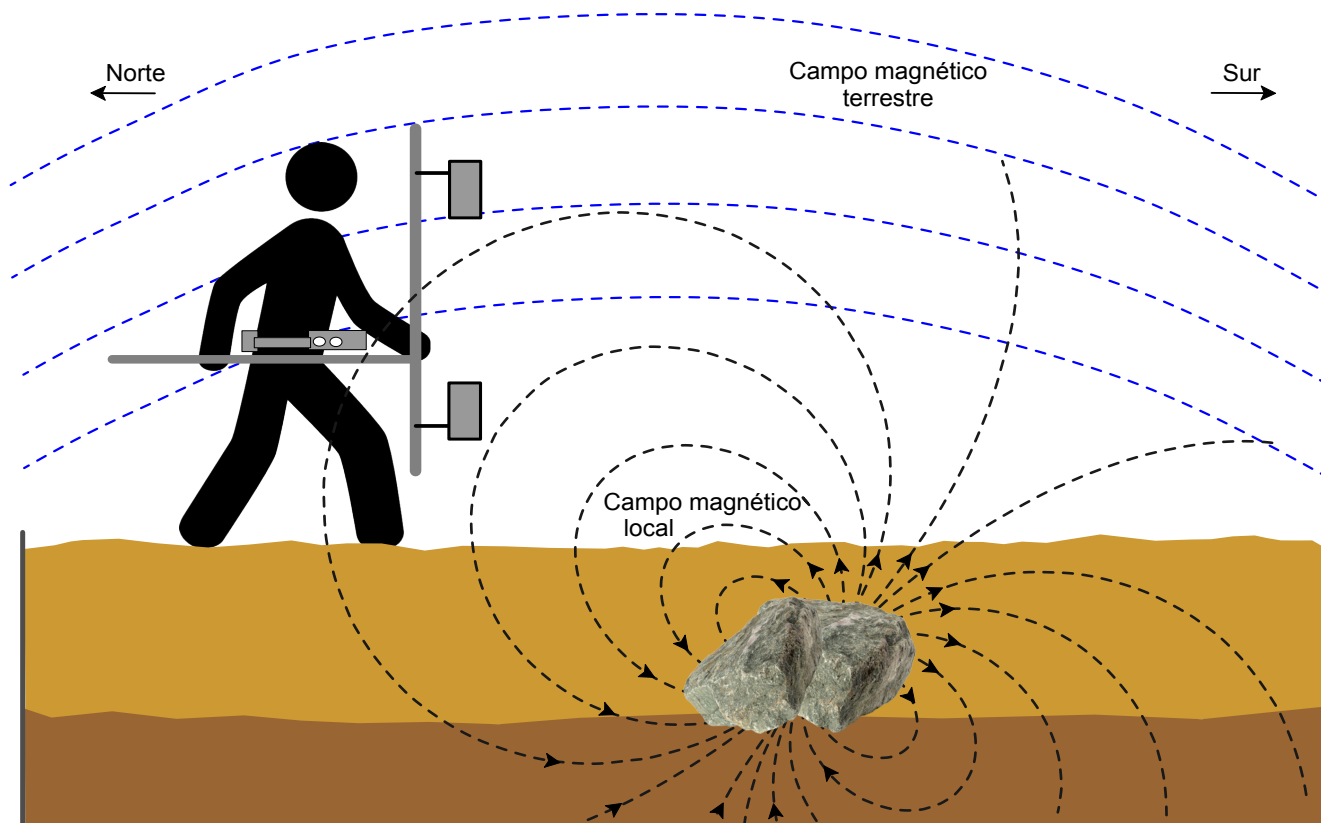


Figura 9. Medición del campo magnético terrestre y sus variaciones generadas por el campo magnético local. Se observa el magnetómetro en su modalidad gradiente vertical (Adaptada de www.geovirtual2.cl)

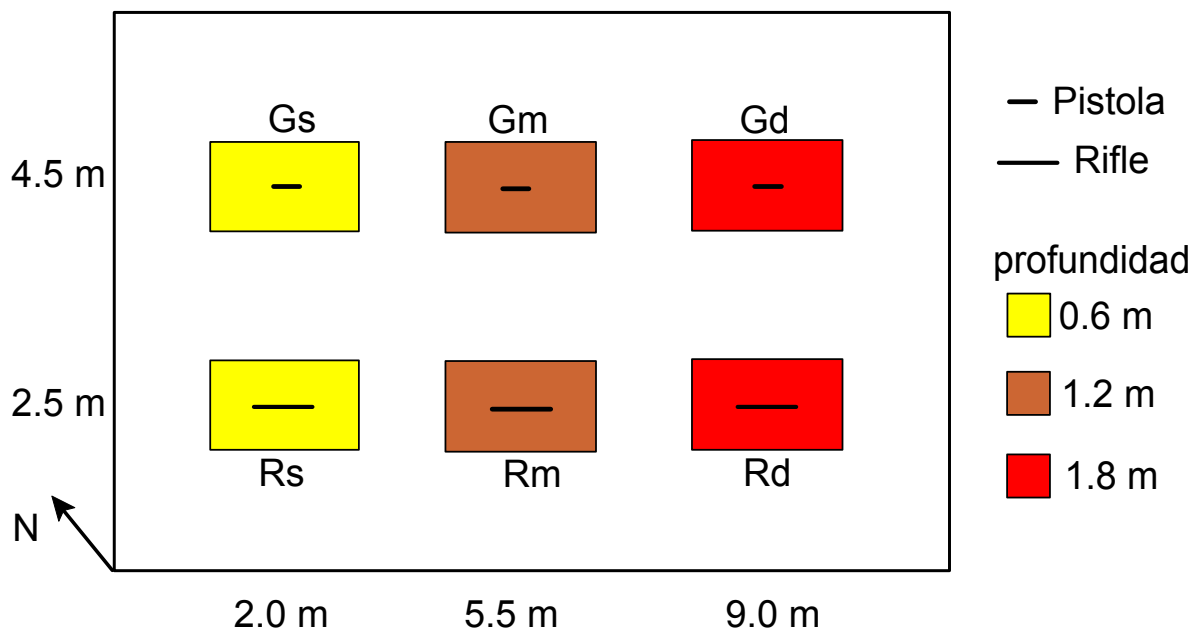


Figura 10. Esquema del campo de pruebas. Se enterraron 3 pistolas (Gs, Gm, Gd) y 3 rifles (Rs, Rm, Rd) a diferentes profundidades (Adaptado de Deng et al., 2020).

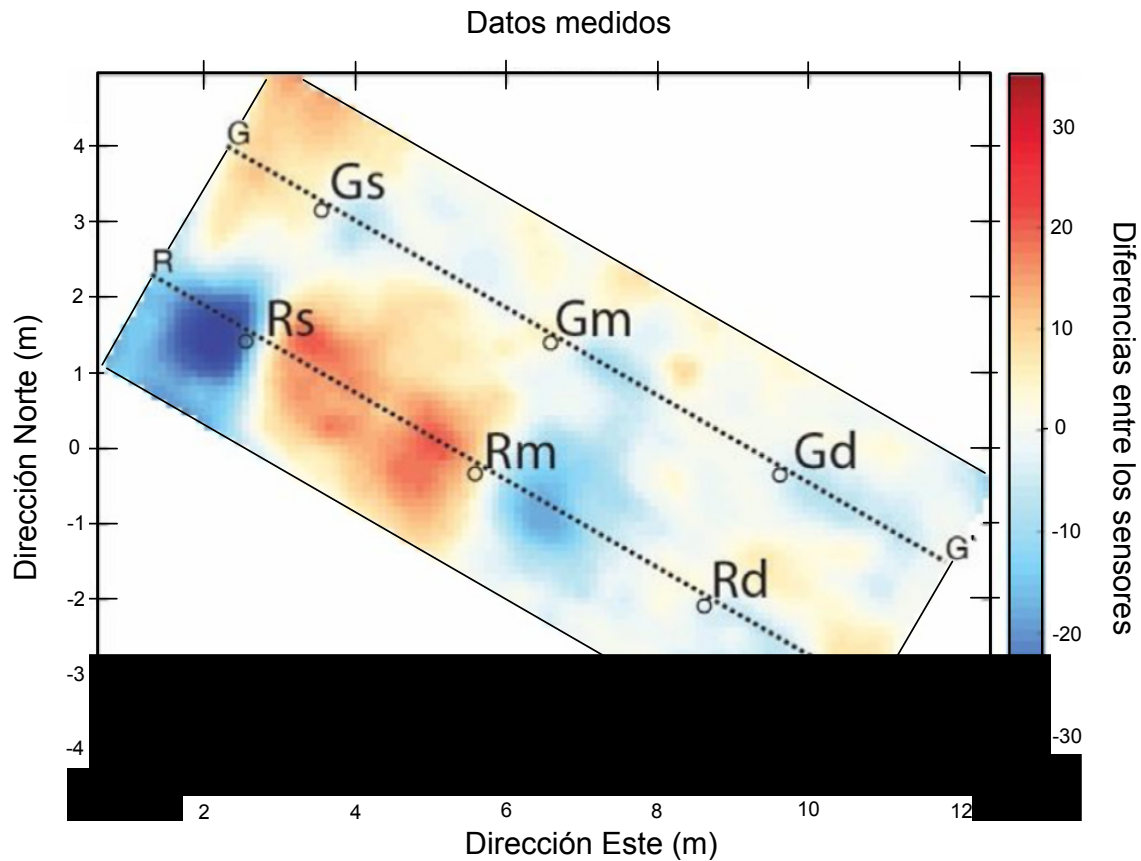


Figura 11. Mapa del levantamiento magnéticos, en rojo y azul intenso, se observan las anomalías magnéticas generadas por los rifles y pistolas enterrados (Adaptado de Deng et al., 2020).

Prospección Sísmica

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 reflejadas o refractas en las distintas formaciones geológicas.

Las ondas sísmicas tienen una clasificación de acuerdo con su velocidad de propagación en los materiales del subsuelo. Las ondas pueden ser primarias o secundarias. Las ondas primarias son las ondas compresionales u ondas P. Reciben este nombre debido a que son las primeras que llegan al registro sísmico. Las ondas secundarias u ondas S son registradas posteriormente debido a que su velocidad es menor y tienen la propiedad de que no se propagan en líquidos. En la clasificación de ondas S entran las denominadas ondas superficiales, cuya característica principal (llamada dispersión) es que la velocidad de propagación es función de la frecuencia.

Los métodos sísmicos de exploración explotan las propiedades de propagación de los diferentes tipos de onda para encontrar anomalías en el subsuelo. Por ejemplo, la presencia de materiales altamente saturados o con poca rigidez puede ser explorado mediante ondas S o superficiales. El procesamiento de datos sísmicos puede llegar a generar una imagen muy aproximada de las discontinuidades presentes en profundidad. En la figura 12 se presenta un esquema que explica cómo funciona este método.

Existen dos tipos de métodos sísmicos de prospección: método de reflexión y método de refracción. Cabe recordar que la funcionalidad de estos métodos, como cualquier otro método geofísico, depende del contraste de propiedades en profundidad. En este caso, las propiedades a medir son velocidades y densidades. Un alto contraste de estas propiedades permitirá una mejor definición de las capas que conforman el subsuelo. En general, los métodos sísmicos asumen que la velocidad aumenta con la profundidad. Si esto no ocurre, por ejemplo, cuando existen intercalaciones de

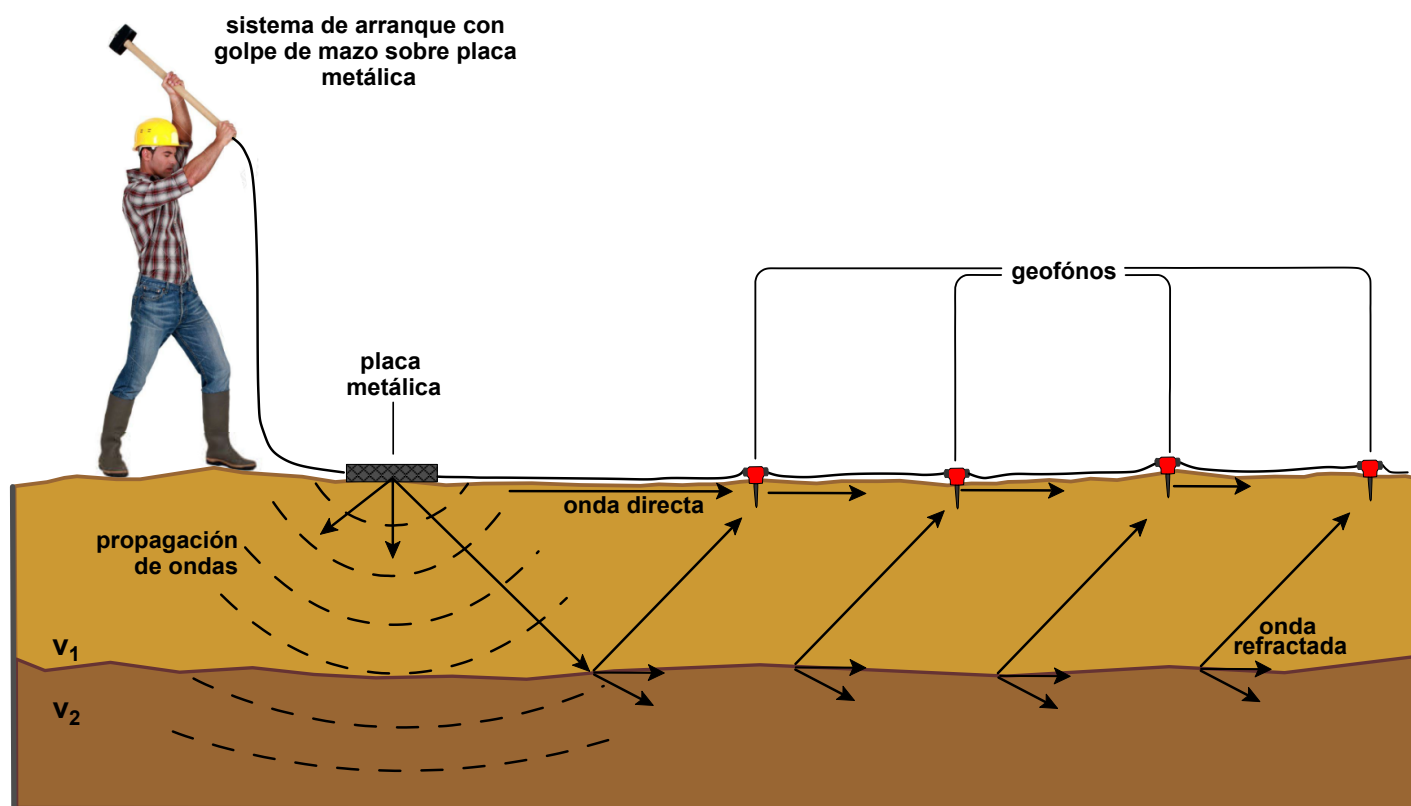


Figura 12. . Se muestra un esquema de la generación de ondas sísmicas y su transmisión en el subsuelo durante un levantamiento sísmico. Se observa que las ondas directas llevan información de la capa más superficial, y las ondas refractadas información de la estructura subyacente (Adaptada de Reynolds, 2011)

Tabla 6. Ventajas y desventajas del uso de la prospección sísmica para levantamientos en contexto forense

Ventajas	Desventajas
- Identifica estructuras de diferente densidad y velocidad. - Permite identificar distintas capas del subsuelo y calcular su espesor. - El procesamiento es muy corto. - Su adquisición es relativamente rápida. - No hay destrucción del suelo.	- El equipo es costoso. - Se requiere capacitación especializada para realizar el levantamiento e interpretar las imágenes. - Es muy sensible a vibraciones generadas por: - Circulación de vehículos. - Paso de personas. - Oscilación de árboles ocasionada por el viento. - Caída de lluvia intensa - Motores encendidos (autos, bombas, máquinas) - No se pueden visualizar los datos en tiempo real. - No tiene tan buena resolución en el primer metro.

campos de alta velocidad, el método no funcionará.

El método de reflexión utiliza las ondas reflejadas en las diferentes interfaces en profundidad. El procesamiento de los datos se realiza sobre la forma de las ondas registradas una vez que estas han viajado dentro del subsuelo. Tanto el pre-procesamiento como procesamiento de los datos debe llevarse con sumo cuidado para poder ser interpretados. Para fines de exploración somera, 1 a 3 decenas de metros, es posible aplicar el método aún si las ondas son generadas por un marro. Sin embargo, tanto el procesamiento y la interpretación resulta arduo debido a que, en profundidades someras y distancias cortas, predominan las ondas directas, refractadas y las ondas superficiales.

El método de refracción, a diferencia del de reflexión, requiere solo de los tiempos de arribo a los detectores. El procesamiento de estos tiempos se ajusta a un comportamiento lineal de acuerdo con la distancia que recorren las ondas primarias. Las velocidades y espesores de las capas en el subsuelo pueden ser determinados mediante el ajuste a los parámetros de la ecuación de una recta. Las discontinuidades, o anomalías en profundidad son detectadas con la realización de varias fuentes a lo largo de la línea de adquisición. Tanto la longitud del tendido como la separación de receptores deben ser tomados en cuenta

para satisfacer los requisitos de alcance en profundidad y determinación del espesor de las capas. En la tabla 6 se enlistan algunas ventajas y desventajas del uso de la refracción sísmica.

Hoy en día el procesamiento tradicional de refracción se ha sustituido por tomografía de refracción. En este método se construye un modelo de estructura del subsuelo con las variaciones de velocidad producidas por el ajuste de los tiempos de viaje observados con aquellos derivados del trazado de rayos (Sheehan et al., 2005; Zelt et al., 2013). De acuerdo con la densidad de tiempos de arribo seleccionados, se puede llegar a construir una imagen bastante exacta de la estructura de velocidad del subsuelo, donde las anomalías producidas por diversas discontinuidades (fallas, tuberías, cavidades, cimentaciones, etc.) pueden ser satisfactoriamente interpretadas. Actualmente, varios programas comerciales incluyen el módulo de tomografía sísmica, y de acuerdo con el diseño de levantamiento, es posible construir una imagen 3D del subsuelo donde se pueden observar tanto verticales como laterales de las propiedades elásticas. La figura 13 muestra un resultado de tomografía de refracción donde se observan al menos tres capas. La última de ellas velocidades mayores de 2000 m/s, muestra importantes discontinuidades laterales.

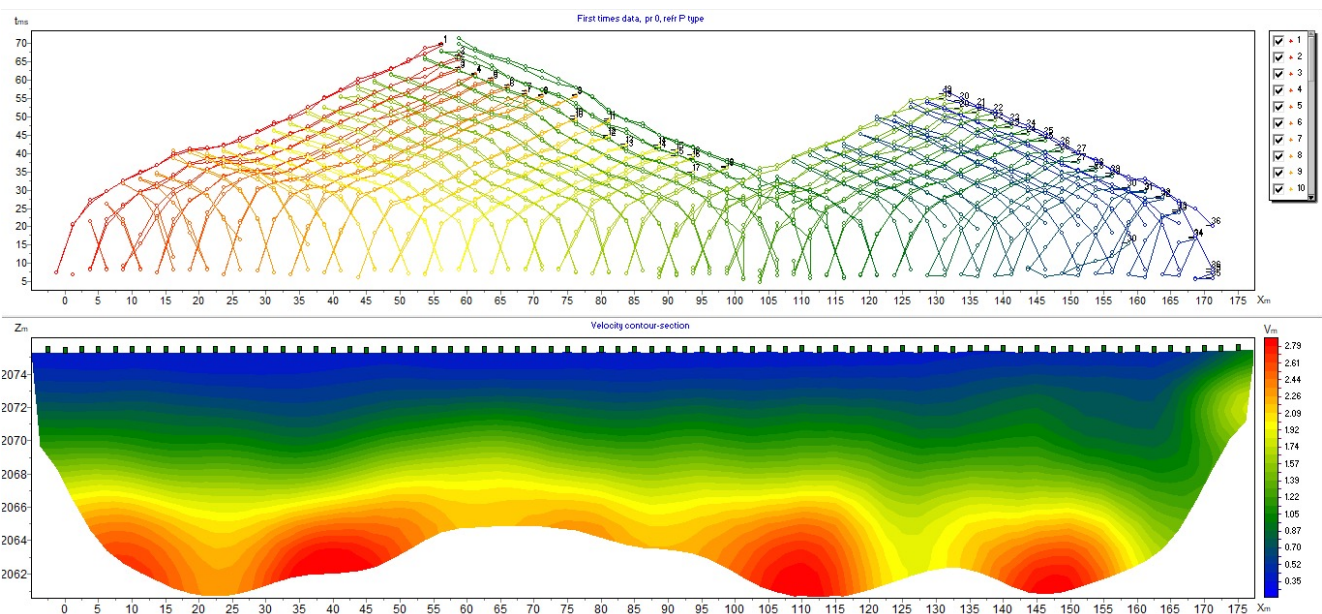


Figura 13. Ejemplo de resultados del método de tomografía de refracción. El panel superior muestra el mejor ajuste a los tiempos de arribo de las ondas directas y refractadas. El panel inferior es la imagen resultado de dicho ajuste. La escala de colores representa la velocidad de onda P en km/s. Resultados obtenidos mediante el software ZondST2D (Kaminsky, 2015).

Una ventaja del método de refracción es que durante la adquisición también es posible adquirir ondas superficiales. Este tipo de ondas tienen la propiedad de que su velocidad varía en función de la frecuencia. En un experimento de refracción los geófonos utilizados responden al registro de ondas superficiales en frecuencias generalmente mayores de 4.5 Hz. Los componentes de onda de baja frecuencia pueden ayudar a determinar la estructura de velocidad de capas profundas, las frecuencias altas la velocidad de las capas más someras.

A lo largo de un arreglo lineal de geófonos de componente vertical, las ondas superficiales que se registran son de tipo Rayleigh. Las propiedades de

dispersión de este tipo de ondas son extraídas siguiendo métodos de análisis espectral de ondas superficiales (método SASW; Xia et al., 1999; método MASW; Miller et al., 1999; Park et al., 1999). La eficacia de la exploración de ondas superficiales producidas por fuente activa para estudiar un sitio muy complejo con fuertes heterogeneidades laterales se ha discutido en Jokar et al. (2019). Actualmente, los métodos de análisis espectrales de ondas superficiales permiten capturar con excelente definición las variaciones laterales de velocidad de ondas de corte. La figura 14 muestra el resultado del procesamiento de ondas superficiales mediante el método MASW. Se observa una excelente definición en los primeros 3 m de profundidad.

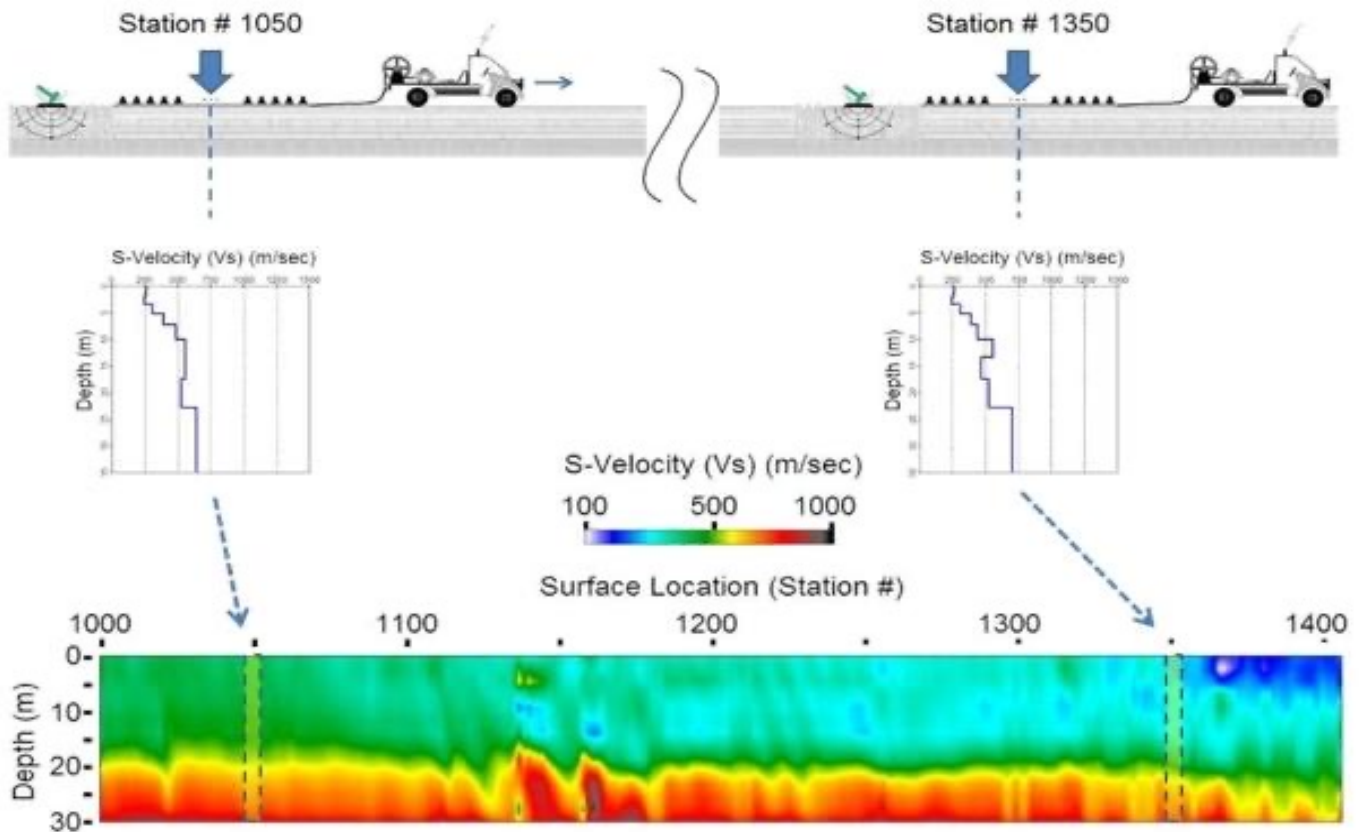


Figura 14. . Esquema de adquisición y resultados del Método MASW. La imagen de representa una sección de velocidad de onda S derivada de la inversión de perfiles 1D de onda de corte (modificada de <http://www.masw.com/index.html>).

Recientemente, en los métodos de prospección sísmica se han incluido los métodos 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 ligado a la definición de microtemores. Este concepto, desde el punto de vista de la teoría de la elasticidad, indica que los microtemores son vibraciones en el subsuelo producidas tanto por ondas de cuerpo como superficiales. Estas ondas son generadas por una variedad de fuentes en un amplio rango de frecuencias. En frecuencias menores de 1 Hz las fuentes son, por ejemplo, debido al oleaje oceánico, y en frecuencias mayores de 1 Hz éstas se deben a la actividad humana (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 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 gracias a ruido sísmico de baja frecuencia. En el dominio de la frecuencia, el método ha sido ampliamente utilizado tanto con arreglos regulares como irregulares (Wathelet et al., 2008) utilizando sensores de baja frecuencia (< 2 Hz). En frecuencias mayores de 2 Hz se utilizan arreglos lineales mediante equipo de refracción (Louie, 2001). 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 propiedades de corte del subsuelo, 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 (sin necesidad de contar con una fuente para la generación mecánica de ondas). La correlación cruzada del ruido entre pares de estaciones para extraer la llamada respuesta al impulso o función de Green Empírica (FGE, e.g. Campillo y Paul, 2003; Draganov et al., 2007;

Schuster, 2014). La FGE está principalmente conformada por ondas superficiales cuyas características de dispersión pueden ser medidas en un amplio rango de frecuencias (Shapiro, 2004; Gouedard et al., 2008). Un resumen de los antecedentes históricos y una variedad de aplicaciones en diversos campos de la ciencia pueden ser encontrados en Schuster (2014) y 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 5 m, algunos resultados en escalas de 1 a 2 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 (ver Cárdenas-Soto et al., 2016; Cárdenas-Soto et al., 2020; Cárdenas-Soto et al., 2021; Argote et al., 2020; Chávez-García et al., 2020; Piña-Flores et al. 2020). El uso de esas técnicas puede ser perfectamente adaptadas para escalas menores siguiendo apropiados experimentos controlados. Un ejemplo del resultado de TIRSA se muestra en la Figura 15, donde se observa la forma que produce el contraste de velocidad asociado a una cavidad superficial a 3 m de profundidad.

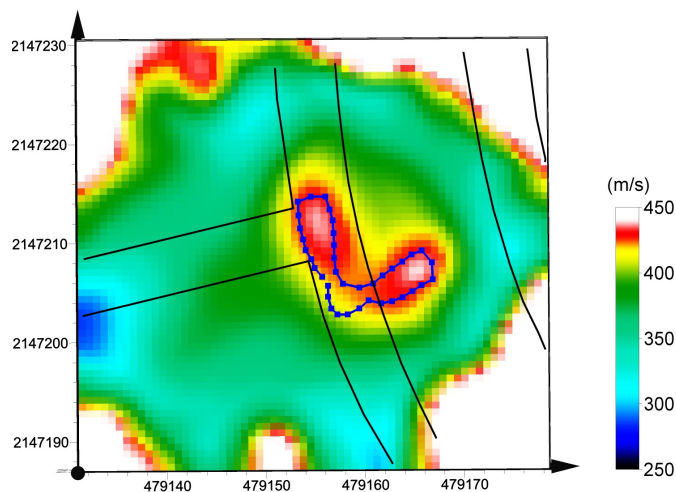


Figura 15. Tomografía de ruido sísmico ambiental que muestra la anomalía de velocidad asociada a una cavidad superficial. La línea de color azul es el levantamiento topográfico subterráneo (Adaptada de Cárdenas et al 2020).

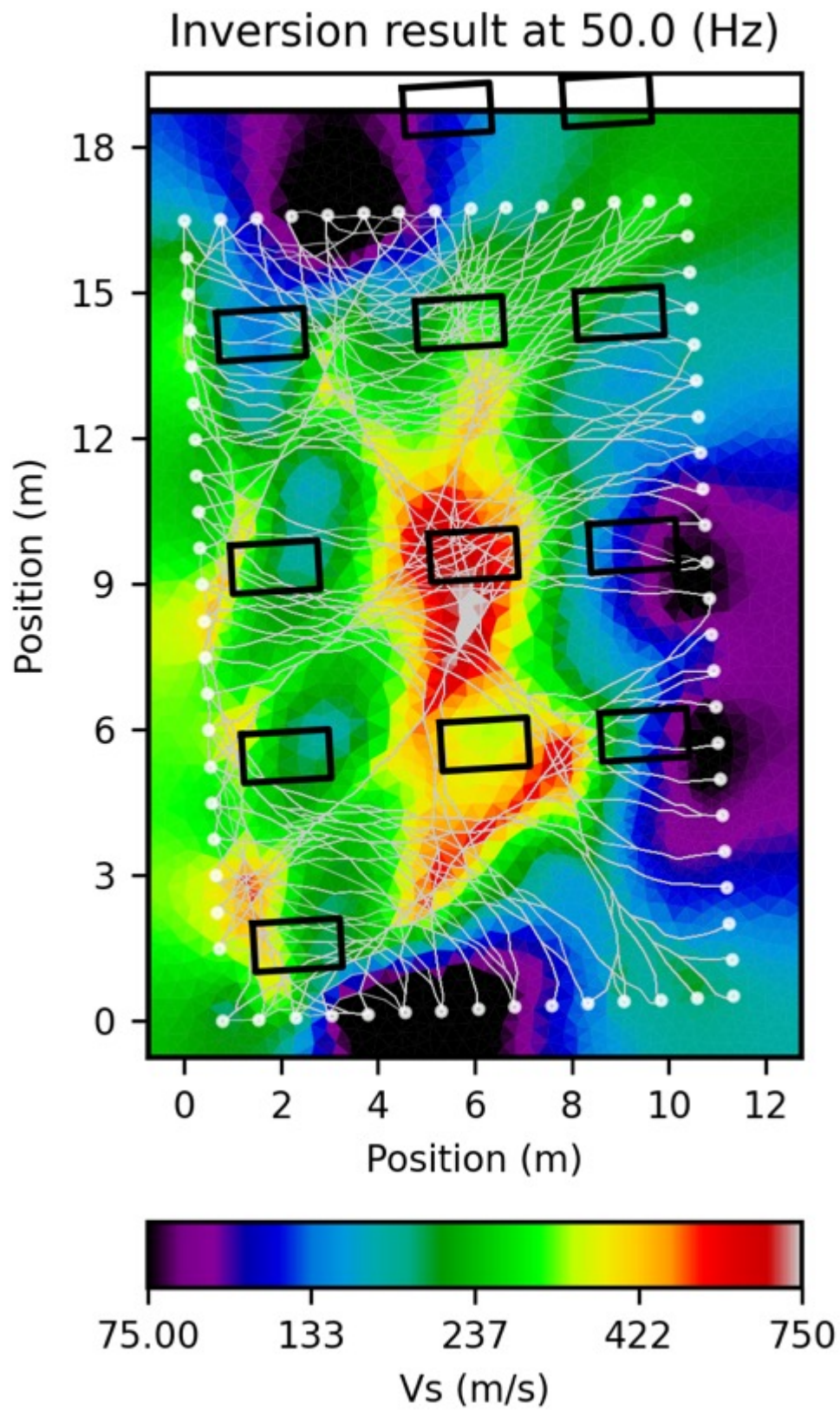


Figura 16. Tomografía de ruido sísmico ambiental aplicado a fosas simuladas (cuadros de color negro). Los círculos blancos corresponden a la posición de geófonos verticales de 4.5 Hz (Adaptada de Cárdenas et al., 2021).

Un estudio más detallado del uso de TIRSA en fosas simuladas se muestra en la Figura 16. En el estudio se desplegaron 72 geófonos verticales con una separación de 0.75 m alrededor de fosas con profundidades entre 0.4 y 1.2 m. En esa figura se observa que las velocidades que se resolvieron corresponden a los materiales superficiales del sitio. Las fosas más profundas producen ligeramente variaciones de menor velocidad, sin embargo, no se logra definir adecuadamente las fosas más superficiales. En este caso, se concluye que el ruido sísmico que se propaga a través del arreglo sísmico no contiene la energía necesaria en frecuencias altas para obtener mayor resolución. Una solución es inducir de forma mecánica ruido de mayor frecuencia, realizar pruebas con geófonos de mayor frecuencia.

Señal y Ruido

La variación de los campos físicos no sólo se debe a la existencia de un contraste de propiedades físicas en el subsuelo, sino también a otras causas como las producidas artificialmente por la presencia de líneas de alta tensión (aéreas y subterráneas), vías de tren,

rejas metálicas, raíces de árboles, tuberías enterradas, muros de piedra con minerales magnéticos y vehículos (Reynolds, 2011), como se resume en la figura 16. Estas perturbaciones indeseadas para los fines de exploración geofísica se denominan “ruido”, mientras que las variaciones que llevan la información generada por la presencia de cuerpos o estructuras asociados con el objetivo buscado se denominan “señal”. El ruido puede enmascarar o distorsionar las señales al sobreponerse a éstas puesto que, en la práctica, el ruido puede ser parte de la señal.

El ruido generado por las acciones del hombre se denomina “ruido antrópico”, aunque no sólo se debe a éste, sino que también existe el producido por la presencia de heterogeneidades del material superficial o próximo a la superficie (figura 17), por tormentas eléctricas, tormentas magnéticas, ruido instrumental y por perturbaciones de tipo aleatorio. Naturalmente, algunas perturbaciones son críticas para algunos métodos y nulas para otros (González-Orías, 2003).

Es importante señalar que las excavaciones clandestinas se localizan, generalmente, desde unos cuantos centímetros hasta unos pocos metros de profundidad. Siendo esta zona, por su cercanía a la

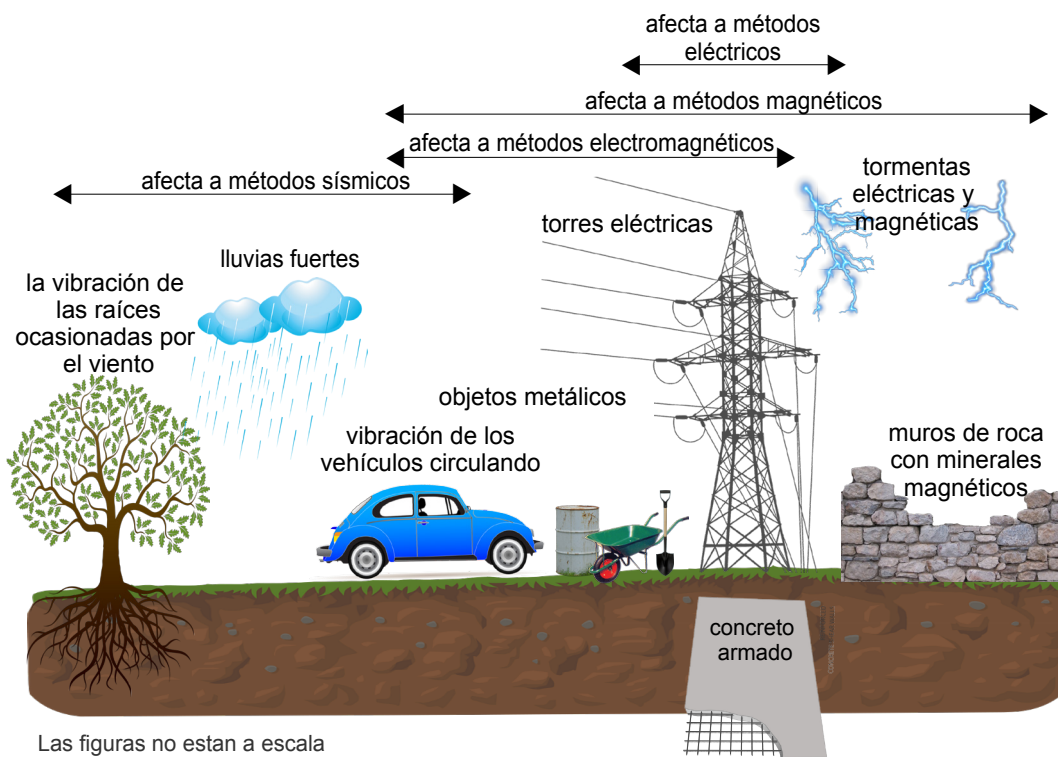


Figura 17. Fuentes de ruido para diferentes sondeos de prospección geofísica.

superficie, la que más alteraciones presenta, tanto naturales como antrópicas, como se observa en la figura 18, en la que se muestran los distintos factores que pueden dar origen a una anomalía. Como se mencionó anteriormente, distintos objetos pueden dar

origen a una misma anomalía en un método. Para evitar ambigüedades en los resultados, se recomienda emplear al menos dos métodos distintos de prospección geofísica, cuyas propiedades físicas “operativas” permitan medir la señal generada por nuestro objetivo de búsqueda.

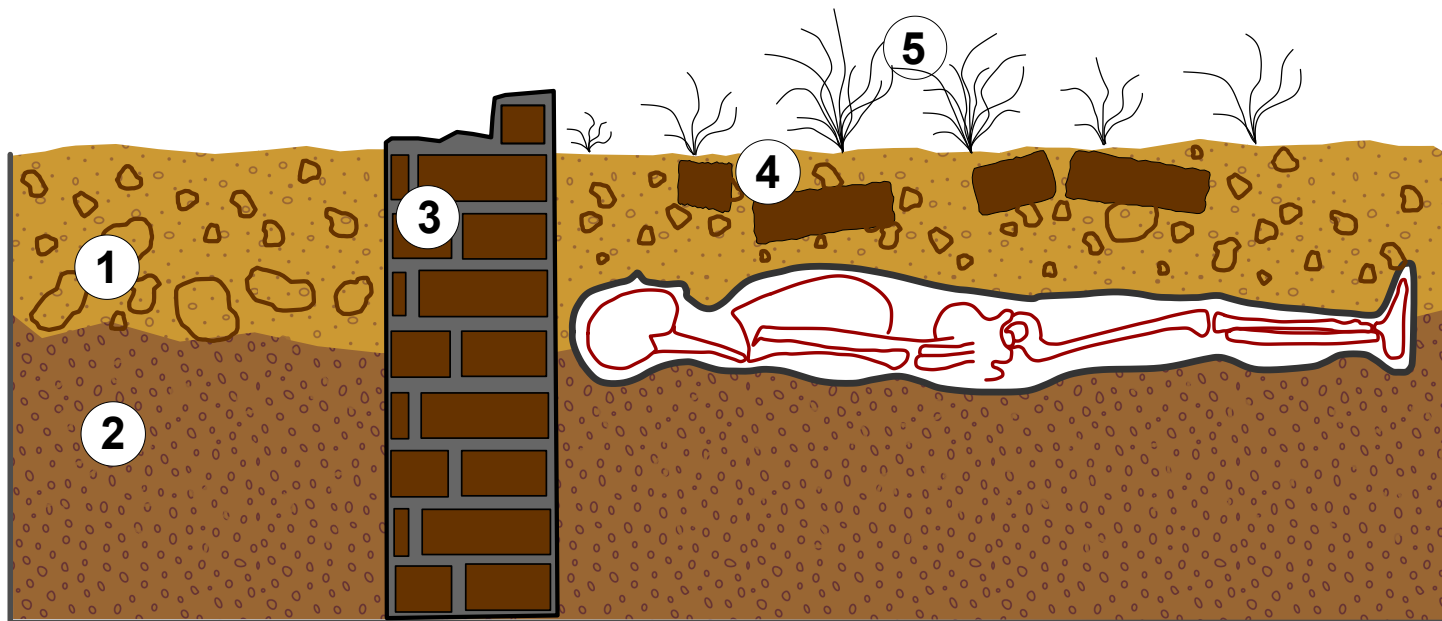


Figura 18. Algunas fuentes de ruido, tanto geológicas como antrópicas. Los números sirven para mostrar la presencia de diferentes tipos de suelos, rocas, muros y vegetación que pueden existir en una zona y, que pueden afectar o atenuar la señal de interés geofísico que produce una inhumación clandestina (Adaptada de Dupras et al., 2006).

Bibliografía

- Aguilera, D., Giaccardi, A., Membrives, A., Carrara, M., De Grandis, N. (2006). Santa Fe la Vieja, Arqueología de los siglos XVI y XVII. Geofísica aplicada a la Arqueología de Santa Fe La Vieja, Cap 7, 9p.
- Argote-Espino, D. L. (2002). Caracterización geofísica de sitios arqueológicos: medio rural y urbano. Ciudad de México: Tesis UNAM.
- 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.
- Barba P., L., Rodríguez, M. E. (1991). La prospección arqueológica o para qué sirve el diagnóstico clínico. *Antropología y técnica*, 239-257.
- Blancas-Vázquez, J. E. (2000). Principios y aplicaciones del método de radar de penetración terrestre (GPR). Ciudad de México: Tesis de Licenciatura, UNAM.
- Barone, P. M., Swanger, K. J., Stanley-Price, N., Thursfield, A. (2015). Finding graves in a cemetery: preliminary forensic GPR investigations in the Non-Catholic Cemetery in Rome (Italy). Elsevier, 5.
- 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.
- 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.
- Bevan, B. W. (1991). The search for graves. *Geophysics* 56, 1310–1319.
- Buscaglia, S. (2001). Métodos geofísicos y propiedades del registro arqueológico. Arqueología no intrusiva en el sitio de Floridablanca (Pto. San Julián, Pcia. de Santa Cruz). Facultad de Filosofía y Letras. UBA. MS.
- Calkin, S. F., Allen, R. P. Harriman, M. P. (1995). Buried in the basement – geophysics role in a forensic investigation in *Proc. of SAGEEP* (ed R.S., Bell) 397-403
- Campillo, M., Paul, A., 2003, Long range correlations in the diffuse seismic coda, *Science* 299, 547–549
- Cárdenas-Soto M., A. Caccavari-Garza, D. Escobedo-Zenil, G. Cifuentes-Nava, M. Quinto-Sánchez, J. Sánchez González, J.A. MartínezGonzález, D. Quiroz-Suárez (2021). Aplicación Integral de Métodos de Prospección Geofísica Somera en la Búsqueda Forense. XVI Congreso de la ALAF: nuevas tecnologías en la aplicación de la antropología y arqueología forense, 18-21 de octubre de 2021, Colombia.
- 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., Cabrer-Torres, R., Tejero-Andrade, A., Hernández-Quintero, E., García-Serrano, A., Chávez-Segura, R.,... Cervantes-Solano, M. (2017). Tomografía de Resistividad Eléctrica 3D en la Catedral de Morelia, México. *Arqueología Iberoamericana*, 8.
- Comité Internacional de la Cruz Roja. (2017). Guía Práctica para la Recuperación y Análisis de Restos Humanos. Lima Perú.
- Congram, D. (2008). A clandestine burial in Costa Rica: prospection and excavation. *Forensic Sci.*, 53.
- Constantino-Rodríguez, L. D. (2011). Método de Tomografía Eléctrica para Determinar Estructuras Volcánicas. Tesis UNAM.
- Chavez, R. E., Tejero, A., Argote, D., Cifuentes, G., Hernández-Quintero, J. E., García-Serrano, A. (2017). Interior Imaging of El Castillo Pyramid, Chichen Itza, Mexico, Using ERT-3D Methods: Preliminary Results. *Geofísica Internacional*, 10.
- 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*.

- Cheetham, P. (2005). Forensic geophysical survey in Forensic archaeology: advances in theory and practice (eds. J., Hunter, M., Cox) 62-95.
- Dahlin, T., Zhou, B. (2004). A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays. *Geophysical Prospecting*, 379-398.
- Davis, J., Heginbottom, J., Annan, P., Daniels, R., Berdal, B., Bergan, T., Duncan, K. (2000). Ground penetrating radar surveys to locate 1918 Spanish flu victims in permafrost. *Journal of Forensic Sciences*, 45.
- Deng, E., Doro, K.O., Bank, C.-G. (2020). Suitability of magnetometry to detect clandestine buried firearms from a controlled field site and numerical modeling. *Forensic Science International*, Volume 314. doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110396.
- Dick, H. D. et al. (2017). Determining geophysical responses from burials in graveyards and cemeteries. *Geophysics* 82, B245–255.
- Domenico, C., D'Emilio, M., Di Salvia, S., Lapenna, V., Ragosta, M., Rizzo, E. (2004). Magnetic mapping, ground penetrating radar surveys and magnetic susceptibility measurements for the study of the archaeological site of Serra di Vaglio (southern Italy). *Journal of Archaeological Science*, 31
- 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.
- Dupras, T., Schultz, J., Wheeler, S. Williams, S. (2006). *Forensic Recovery of Human Remains: Archaeological Approaches*, First Edition.
- Edwards, L. S. (1977). A Modified Pseudosection for Resistivity and IP. *Geophysics*, 42: 1020-1036.
- Equipo Argentino de Antropología Forense (EAAF). (2020). Guía forense para la investigación, recuperación y análisis de restos óseos. Unión Europea.
- Escorza-Reyes, M. (2010). *Magnetometría de la Isla Socorro, Archipiélago de las Revillagigedo*. Ciudad de México: Tesis UNAM.
- Fenning, P., Donnelly, L. (2014). *Geophysical techniques for forensic investigation*. Geological Society, London, 11.
- Geometrics. (1999). *OhmMapper TR1 Operation Manual*. San Jose, CA.: Geometrics Inc.
- González-Orias, R. A. (2003). *Geofísica Aplicada, Práctica, Métodos Geoelectricos*. La Paz: Geofisi-K Cs
- Gouedard, P., Stehly, L., Brenguier, F., Campillo, M., De Verdière, Y. C., Larose, E., ..., and Weaver, R. L., 2008, Cross-correlation of random fields: Mathematical approach and applications: *Geophysical prospecting*, 56(3), 375–393.
- Guilbaud, M.-N., Arana-Salinas, L., Siebe, C., Barba-Pingarrón, L.A., Ortiz, A., 2015. Volcanic stratigraphy of a high-altitude *Mammuthus columbi* (Tlacotenco, Sierra Chichinautzin), Central México. *Bull Volcanol* 77, 17. <https://doi.org/10.1007/s00445-015-0903-5>
- Hoffman, N. Richards, Soil Survey of Peel County, Report No. 18 of the Ontario Soil Survey, Experimental Farms Service, Canada Dept. of Agriculture, Ottawa, Canada, 1953 84 pg. <http://sis.agr.gc.ca/cansis/publications/surveys/on/on18/index.html> (accessed 19 May 2020).
- Iriarte Sierra L. *Imágenes 3d de tomografía eléctrica en la zona arqueológica de Pahnú, Edo. de Hidalgo* [Licenciatura]. UNAM; 2013.
- Jervis, J. R., Pringle, J. K., Tuckwell, G. (2009). Time-lapse resistivity surveys over simulated clandestine graves. *Forensic Science International*, 7.
- Jervis, J., Pringle, J. (2014). A study of the effect of seasonal climatic factors on the electrical resistivity response of three experimental graves. *J. Applied Geophysics*.
- Jokar, M. H., Boaga, J., Petronio, L., Perri, M. T., Strobbia, C., Affatato, A., ... 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.
- Kaminsky, A. (2015). *ZondST2D [Software]*. <http://zondgeo.com/english> Accessed 18 May 2020.
- Lanza, R., Meloni, A. (2006). *The Earth's Magnetism an introduction for geologists*. Springer.
- Lapazaran Izargain, J. J. (2004). *Técnicas de procesamiento de datos de georradar y su aplicación al estudio del régimen termodinámico de los glaciares fríos y politérmicos*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, tesis doctoral.
- Larose, E., Carrière, S., Voisin, C., Bottelin, P., Baillet, L., Guéguen, P., ..., and Gimbert, F., 2015, Environmental seismology: What can we learn on earth surface processes with ambient noise? *Journal of Applied Geophysics*, 116, 62–74.
- López Hidalgo, A. A., Loke, M. H., Fanton, G. Ó., Cara Rubí, E. (2002). *Técnicas Prácticas para Investigación de Resistividad en dos y tres Dimensiones (Tomografía 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.

- Martín-Gutiérrez, J. (2004). Análisis del subsuelo utilizando técnicas geofísicas. Sistema de Georadar RAMAC/GPR. VIII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía, (p. 17). Madrid.
- Matos-Moctezuma, E. (2014). ¿"El hombre de Tepexpan" era en verdad hombre? *Arqueología Mexicana*, 21(125), 86-87.
- Mellet, J. S. (1992). Location of human remains with ground penetrating radar in Proc. of Fourth Int. Conf. on GPR (eds P, Hanninen, S., Autio) 359–365 (Geol. Survey Finland.).
- Miller, R.D., Xia, J., Park, C.B., and Ivanov J., 1999, Multichannel analysis of surface waves to map bedrocks: The Leading Edge, 18, 12, 1392-1396.
- Mohr, P., Taylor, B. (2000). CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 1998. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*.
- Molina, C. M., Pringle, J. K., Saumett, M. Hernandez, O. (2015). Preliminary results of sequential monitoring of simulated clandestine graves in Colombia, South America, using ground penetrating radar and botany. *Forensic Sci. Int.* 248, 61–70.
- Molina Gallego, C. M. (2016). Tesis: Metodología para la búsqueda de fosas a partir de la interpretación de anomalías en los datos obtenidos mediante la aplicación geofísica de alta resolución. Bogotá, D. C. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencia.
- Montes, A., Salemme, M., Fernando, S., Ricardo, G. (2012). Prospección con GPR (Ground Penetrating Radar) en el cementerio de la Misión Salesiana, Río Grande (Tierra del Fuego, Argentina). *Comechingonia*.
- Naciones Unidas. (2017). Protocolo de Minnesota sobre la investigación de muentes potencialmente ilícitas (2016). Nueva York y Ginebra.
- Nobes, D. C. (2000). The search for "Yvonne": a case example of the delineation of a grave using near-surface geophysical methods. *J. Forensic Sci.* 45, 715–721.
- Novo, A., Lorenzo, H., Ria, F. Solla, M. (2011). 3D GPR in forensics: finding a clandestine grave in a mountainous environment. *Forensic Sci. Int.* 204, 134–138.
- Orellana, E. (1982). Prospección Geoeléctrica en corriente continua. Madrid: Paraninfo.
- Park CB, Miller RD, Xia J (1999) Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, 64(3):800–808
- Piña-Flores J., M. Cárdenas-Soto, A. Sarabia-González, A. García-Jerez, C.A. Sierra-Álvarez, M. Andrés Sáenz, F. Luzón and F.J. Sánchez-Sesma (2021). Imaging the structure of the Sun Pyramid (Teotihuacán, Mexico) from passive seismic methods, *Engineering Geology*, 281(105969)
- Pringle, J. K., Jervis, J., Cassella, J. P. Cassidy, N. J. (2008). Time-lapse geophysical investigations over a simulated urban clandestine grave. *J. Forensic Sci.* 53, 1405–1417.
- Pringle, J. K. Jervis, J. R. (2010). Electrical resistivity survey to search for a recent clandestine burial of a homicide victim, UK. *Forensic Sci. Int.* 202, e1–7.
- Pringle, J., Holland, C., Szkornik, K., Harrison, M. (2012). Establishing forensic search methodologies and geophysical surveying for the detection of clandestine graves in coastal beach environments. *Forensic Sci. Int.*
- Pringle, J. K. et al. (2012a). The use of geoscience methods for terrestrial forensic searches. *Earth Sci. Rev.* 114, 108–123. Pringle, J. K. et al. (2015a). The use of magnetic susceptibility as a forensic search tool. *Forensic Sci. Int.* 246, 31–42.
- Pringle, J. K. et al. (2016). Long-term geophysical monitoring of simulated clandestine graves using electrical and GPR methods: 4-6 years after burial. *J. Forensic Sci.* 61, 309–321.
- Pringle K., J., Stimpson, I., Wisniewski, K., Heaton, V., Davenward, B., Mirosch, N., et al. (2020). Geophysical monitoring of simulated homicide burials for forensic investigations. *Nature-Scientific Reports*.
- Ruffell, A. (2005). Searching for the IRA "disappeared": ground penetrating radar investigation of a churchyard burial site. *J. Forensic Sci.* 50, 1430–1435.
- Ruffell, A. McKinley, J. (2005). Forensic geoscience: applications of geology, geomorphology and geophysics to criminal investigations. *Earth Sci. Rev.* 69, 235–247.
- Ruffell, A. McKinley, J. (2008). *Geoforensics*. Wiley.
- Sagripanti, G., Villalba, D., Aguilera, D., Giaccardi, A. (2013). *Geología Forense: Métodos geofísicos aplicados en la búsqueda de*

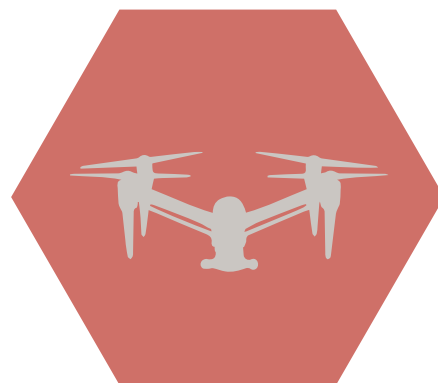
- desaparecidos en la región central de Argentina. *Revista de la asociación de Geología Argentina*, 150-160.
- Santos, G., Alvarado, J., Archila, R., Duque, E., Gatica, J., Romero, J., . . . Quezada, H. (2003). *Antropología Forense y Osteología: Aplicación de Técnicas Geofísicas en Prospección Arqueológica de casos Forenses*. XVI Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2002 (pág. 7). Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología.
- Schultz, J. J. (2007). Using ground-penetrating radar to locate clandestine graves of homicide victims: forming forensic archaeology partnerships with law enforcement. *Homicide Studies* 11, 15–29.
- Schultz, J. J. Martin, M. M. (2011). Controlled GPR grave research: Comparison of reflection profiles between 500 and 250 MHz antennae. *Forensic Sci. Int.* 209, 64–69.
- Schultz, J. J. (2012). The application of GPR for forensic grave detection in *A companion to forensic anthropology* (ed. Dirkmaat, D.C.) 85–100, Blackwell.
- Schultz, J. J., Martin, M. M. (2012). Monitoring controlled graves representing common burial scenarios with ground penetrating radar. *Journal of Applied Geophysics*, 74–89.
- Schultz, J. J., Walter, B. S. Healy, C. (2016). Long-term sequential monitoring of controlled graves representing common burial scenarios with ground penetrating radar: Years 2 and 3. *J. App. Geophys.* 132, 60–74.
- Schuster, G. T. (2014). Seismic Interferometry: *Encyclopedia of Exploration Geophysics*, Q1-1-, Q1-41.
- Scott, J. Hunter, J.R. (2004). Environmental influences on resistivity mapping for the location of clandestine graves in Forensic geoscience: principles, techniques and applications (eds K., Pye, D.J., Croft) 33–38 (*Geol. Soc. London Spec. Pub.* 232).
- Shapiro, N.M., 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., and Mandell, W. A. (2005). An Evaluation of Methods and Available Software for Seismic Refraction Tomography Analysis. *J. Environ. Eng. Geophys.*, 10 (1):21–34.
- Strongman, K. B. 1992). Forensic applications of ground penetrating radar in *Ground Penetrating Radar* (ed. J., Pilon) 203–211 (*Geol. Surv. Canada Paper* 90-4).
- Tibbett, M., Carter, D.O., 2008. Chemical and Biological Effects of Buried Human Remains 366.
- Tzanis, A., 2006. MATGPR: A freeware MATLAB package for the analysis of common-offset GPR data, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, 09488, 2006.
- Telford, W. M., Sheriff, R. E., Geldart, L. P. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Reynolds, J. M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Wiley-Blackwell
- Wathelet, M. (2008). An improved neighborhood algorithm: Parameter conditions and dynamic scaling. *Geophys. Res. Lett.*, 35(9): L09301.
- Xia, J., Miller, R.D., and Park C.B., 1999, Estimation of near-surface shear wave velocity by inversion of Rayleigh waves: *Geophysics*, 64, 691–700
- Zelt, C. a., Haines, S., Powers, M. H., Sheehan, J., Rohdewald, S., Link, C., Hayashi, K., Zhao, D., Zhou, H.-w. H.-w., Burton, B. L., Petersen, U. K., Bonal, N. D., and 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.



Detección de anomalías térmicas en suelo

Dron DJI inspire V1 durante el escaneo térmico de la superficie para la detección de anomalías relacionadas con la desaparición de personas

Crédito: Julio Armando Eufaccio Morgado



PROTOCOLO

Detección y prospección por medio de vehículos aéreos no tripulados y tecnologías geoespaciales

Silván Cárdenas José Luis¹, Alegre Mondragón Ana Josselinne¹
Madrigal Gómez José Manuel¹

¹*Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A.C*

Introducción

La búsqueda de personas desaparecidas en México se ha tornado indeseablemente en la búsqueda de fosas clandestinas y sitios de ocultamiento de restos humanos en general. Dado el incremento exponencial en el número de desaparecidos que ha experimentado el país desde el 2006, año en que el gobierno declara la guerra a los cárteles de la droga, las familias de los desaparecidos tuvieron que resolver organizarse y desarrollar sus propios procesos de búsqueda y métodos de detección *in situ*. Aunque efectivos, sus métodos suelen representar un alto riesgo y un gran esfuerzo para las brigadas de búsqueda.

Con el advenimiento de los drones y el abaratamiento de los sensores que pueden ponerse a bordo, se ha abierto la puerta para complementar el trabajo de campo que de por sí realizan las brigadas de búsqueda. Pero antes de correr a comprar un dron, debemos aprender sobre su potencial y sus limitaciones, así como conocer los sensores y las configuraciones que pueden ser más útiles en cada caso. En este capítulo se describen algunos aspectos de estas tecnologías y se dan recomendaciones puntuales para emplearlas en la búsqueda y detección de restos humanos en superficie y en el subsuelo. Aunque se ha hecho un esfuerzo por evitar

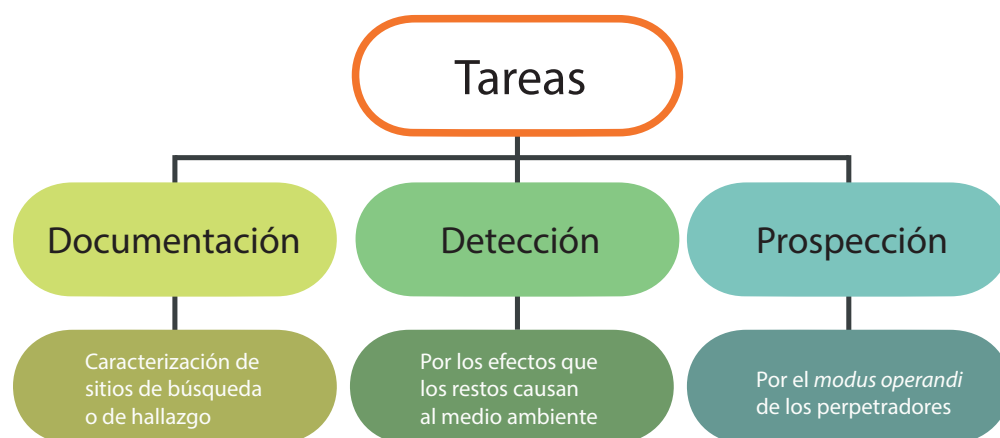


Figura 1. Tareas que son propicias para aplicar tecnologías geoespaciales.

el lenguaje técnico, en muchos casos podríamos haber fallado. Y es que muchas de las recomendaciones se sustentan en investigaciones científicas tan recientes, que deberá pasar un tiempo antes de que el lenguaje técnico sea mejor asimilado por los usuarios potenciales de este conocimiento.

Para facilitar el consumo de la presente guía, se debe tener en cuenta que hay tres grandes grupos de tareas en las que las tecnologías geoespaciales pueden contribuir en la búsqueda de personas desaparecidas, a saber (Figura 1): 1) La documentación de sitios de búsqueda y, sobre todo, de sitios de hallazgos, mediante el levantamientos de información geoespacial precisa como modelos digitales de elevación, puntos GPS, fotografía aérea, etc.; 2) la detección de sitios de ocultamiento, ya sea por detección directa de los restos o través de los efectos que éstos causan en el medio ambiente y 3) la prospección (no confundir con la prospección geofísica), la cual se refiere a la predicción de sitios potenciales de ocultamiento de acuerdo al *modus operandi* de los perpetradores y de la geografía local.

Si bien el énfasis de la guía es el empleo de drones para tareas de documentación de sitios y detección de restos en el subsuelo y en superficies, no dejamos de lado la prospección a partir del análisis y modelado geoespacial como parte complementaria de las actividades de planeación. Por su parte, las técnicas para detección de los sitios de ocultamiento se dividen en dos grupos, dependiendo de si las fuentes de evidencia

están en la superficie o en el subsuelo. Los rasgos útiles en cada caso se listan en la Tabla 1, aunque seguramente hay otros que de momento no se han explotado.

Tabla 1. Fuentes de evidencia y rasgos a detectar de acuerdo con el tipo de búsqueda. (Adaptado de Murray et al 2018 *Survey and Insights into Unmanned Aerial Vehicle-Based Detection and Documentation of Clandestine Graves and Human Remains*).

Búsqueda en subsuelo	Forma del terreno	Montículos
		Subsidencia
	Propiedades químicas	Concentración de materia orgánica / Nitrógeno/ clorofila
	Propiedades físicas	Distribución de humedad del suelo
Búsqueda en superficie		Contraste térmico (descomposición)
		Inercia térmica (vacíos)
	Alteración en vegetación	Isla de descomposición cadavérica
		Signos de combustión
	Accesorios	Ropa
	Restos de personas	Cabello
		Huesos

De la planeación y flujo de trabajo

Esta sección describe los preparativos de gabinete que se deben realizar antes de salir a campo a realizar una búsqueda tales como la generación de mapas del contexto geográfico, mapas prospectivos, rutas de desplazamiento, puntos de accesos, planes de vuelo, entre otros.

Análisis del contexto geográfico

El análisis del contexto geográfico consiste en la recopilación y análisis de información geográfica preexistente, la cual debe ser integrada en un sistema de información geográfica (SIG). Un SIG, tiene la capacidad de manejar y referenciar los datos espacialmente, permitiendo abordar el problema desde una perspectiva geográfica. Al emplear un modelo de datos, el SIG representa entidades geográficas del mundo real en un entorno digital que permite realizar operaciones útiles para el análisis del contexto geográfico, tales como la generación de un buffer de distancias alrededor de un sitio de interés, la combinación de capas mediante álgebra de mapas, entre otros. Debido a que los tipos de análisis que se pueden realizar están fuertemente influenciados por la forma en que se modela el mundo real, las decisiones sobre el tipo de modelo de datos que se adoptará son vitales para el éxito de un proyecto de SIG. Hay que reconocer que no existe un tipo único de modelo de datos SIG que lo abarque todo y que sea el mejor para todas las circunstancias, por lo que se deben tomar decisiones difíciles sobre qué cosas se modelan y cómo se representan (Longley et al. 2005). En suma, el flujo de trabajo consiste en la recopilación, almacenamiento, manejo, análisis y visualización de datos geográficos para obtener información relacionada al área de búsqueda que ayude a la toma de decisiones, antes y durante la incursión.

Los SIG han demostrado ser de gran utilidad en mapeo del crimen, por ejemplo, en el registros de actividad policial, incidentes de llamadas de emergencias, predicción del crimen, identificación de hotspots, mejor comprensión de la distribución y exploración de los mecanismos, dinámicas y generadores de la actividad criminal a través del análisis de patrones con otros datos locales, además del uso de mapas como

medio de comunicación (Chainey y Ratcliffe, 2005). Por lo tanto, la información geográfica que nos ayude a comprender el contexto del lugar es clave, así como la calidad de los datos, se sugiere homologar criterios tanto en el registro de la información oficial como en la de laboratorios forenses y en ambos casos recopilar el máximo de información posible (Cabo et. al 2012).

Recomendaciones

Las capas de información que se deben integrar en el SIG dependen del contexto de desaparición, y, sobre todo, de la disponibilidad de datos para el área de interés. Entre las capas más comunes y útiles en la mayoría de los contextos, se encuentran las siguientes:

- Perfil de terreno (altimetría)
- Uso de suelo
- Topografía
- Cobertura vegetal
- Redes de transporte
- Caminos y brechas rurales
- Cuerpos de agua
- Incidencia delictiva
- Registro de personas desaparecidas (con geolocalización):
 - *Telecomunicaciones y otras pruebas digitales, por ejemplo, tomas de cámaras de videovigilancia*
 - *Cronología de los hechos*
 - *Datos que puedan ayudar a su localización (movimientos conocidos, estilo de vida)*
- Fosas clandestinas localizadas previamente (*modus operandi*)
- Zonas de influencia de organizaciones del crimen organizado
- Lugares de interés identificados (basureros, minas, barrancas, pozos, cuevas).

Idealmente, toda la información de contexto debe contar con registros de tiempo (fecha y hora, en su caso) y lugares específicos (geolocalizados). Por

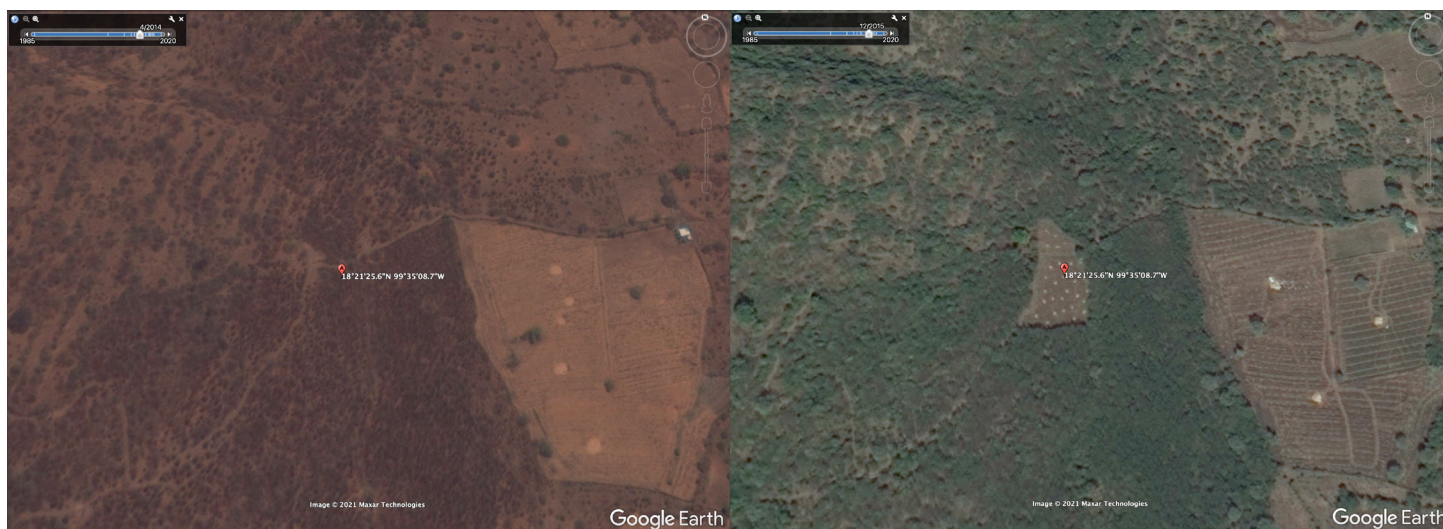


Figura 2. Pantallas de Google Earth donde se muestran un desmonte de vegetación ocurrido en la zona noroeste de Iguala, Guerrero, entre 2014 y 2015.

ejemplo, en el caso de las fosas previamente localizadas, es conveniente contar con fechas de inhumación y exhumación, así como las coordenadas precisas del lugar de hallazgo.

Las fechas en los registros son clave, ya que también se pueden contrastar a través del tiempo imágenes satelitales con la finalidad de detectar cambios en el territorio, esto puede ser útil para la detección de cambios importantes en el territorio y en fechas clave. La interpretación visual de imágenes históricas disponibles en servicios de visualización gratuitos, como Google Earth (Figura 2), suelen ser útiles para definir puntos de interés previo a cualquier incursión en campo.

Toda la información recabada debe ser compartida entre el equipo de búsqueda, idealmente en un mapa digital con la visualización de capas con los lugares de interés específicos de acuerdo con el caso; antes, durante y después de las búsquedas en campo. Adicionalmente, es recomendable preparar mapas impresos para el desplazamiento de las brigadas en campo donde pudiera no haber cobertura satelital.

Prospección probabilística

De acuerdo con las teorías del crimen que se basan en el estudio del comportamiento de los perpetradores, este tiene una lógica racional y es cuantificable, por lo tanto, se puede modelar y los resultados pueden ayudar a localizar más personas desaparecidas. Por otro lado, las teorías de la Criminología Ambiental (espacio defendible, elección racional, actividades rutinarias, patrones delictivos y ventanas rotas) establecen que existe una relación entre el crimen y el medio ambiente en que se lleva a cabo y, además, éste último influye en las decisiones de los infractores, por lo tanto, también se puede modelar.

Un ejemplo de prospección probabilística es el modelo propuesto por Silván et al. (2019) empleando variables de accesibilidad y visibilidad. Dichas variables son estimadas a partir 4 capas de información: 1) la red de caminos con velocidades máxima por tramo, 2) polígonos de asentamientos humanos desde donde se asume son extraídas las personas victimadas, 3) el porcentaje de cobertura de vegetación arbórea y 4) un modelo digital del terreno. La idea detrás del modelo es que los perpetradores escogen lugares accesibles, pero

poco visibles paraocular los restos tras el asesinato. Este modelo fue implementado para todo el estado de Guerrero, México como una aplicación en web mediante Google Earth Engine (Silván, 2020). La calibración del modelo se realizó con la ayuda de puntos positivos y negativos previamente confirmados. Esta herramienta ha demostrado ser de gran ayuda para la planeación de búsquedas en campo, permitiendo priorizar las áreas con mayor potencial de ocultamiento en los planes de búsqueda (Figura 3).

Por emplear variables genéricas, el modelo es susceptible de ser replicado en otras partes. En el caso específico de Guerrero, se han identificado algunas áreas específicas y ha sido posible enfocar los lugares de búsqueda previos a la salida en campo, así como apoyo durante el trabajo de campo e incluso corroborar sitios con declaraciones de testigos. Un ejemplo de ello se ilustra en la Figura 4.

Si bien los modelos prospectivos permiten reducir las áreas de interés previo a las salidas a campo, también es necesario que al regreso de estas salidas se digitalice toda la información recabada y el modelo sea

retroalimentado, ya que con esto el entrenamiento de los métodos de clasificación va mejorando, por lo tanto, es muy importante la retroalimentación posterior al trabajo de campo.

Recomendaciones

1. El contexto es clave. Nunca habrá un modelo que pueda encapsular adecuadamente las complejidades de la eliminación clandestina de cuerpos. Es necesario un conocimiento profundo del conflicto y la cultura para sacar las conclusiones más significativas de un modelo (Congram, 2017).
2. Calidad de los datos. Las coordenadas geográficas precisas son importantes, pero las preguntas y entrevistas significativas que pueden ayudar en la búsqueda de los desaparecidos son tan importantes como las ubicaciones geoespaciales extremadamente precisas (Congram, 2017).
3. Los mapas prospectivos del sitio no son mapas que representen la ubicación absoluta de dónde estarán las fosas, más bien, los mapas de predicción del sitio

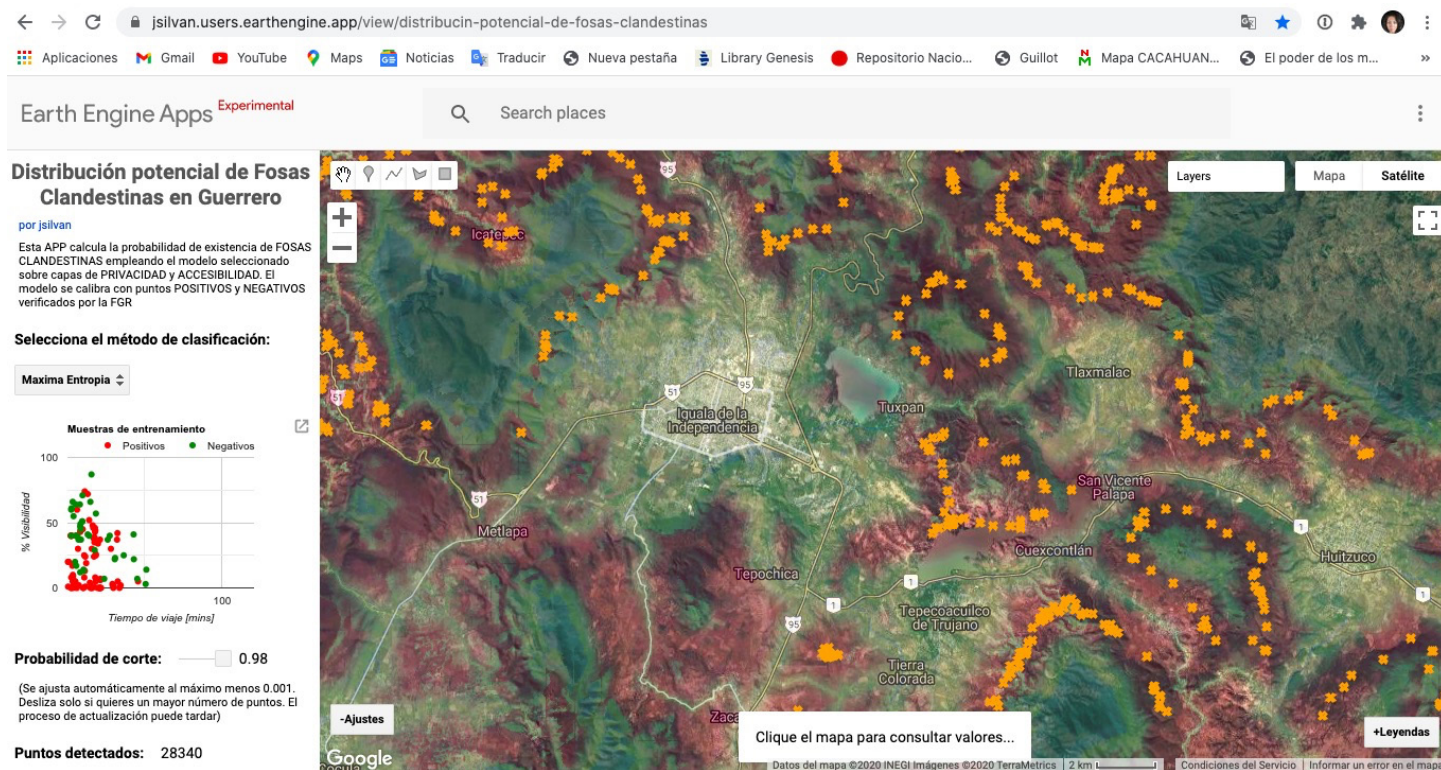


Figura 3. Se muestra la aplicación para la zona de los alrededores de Iguala, Guerrero, con las zonas con mayor potencial de búsqueda de fosas clandestinas. Los puntos anaranjados son los de mayor probabilidad.

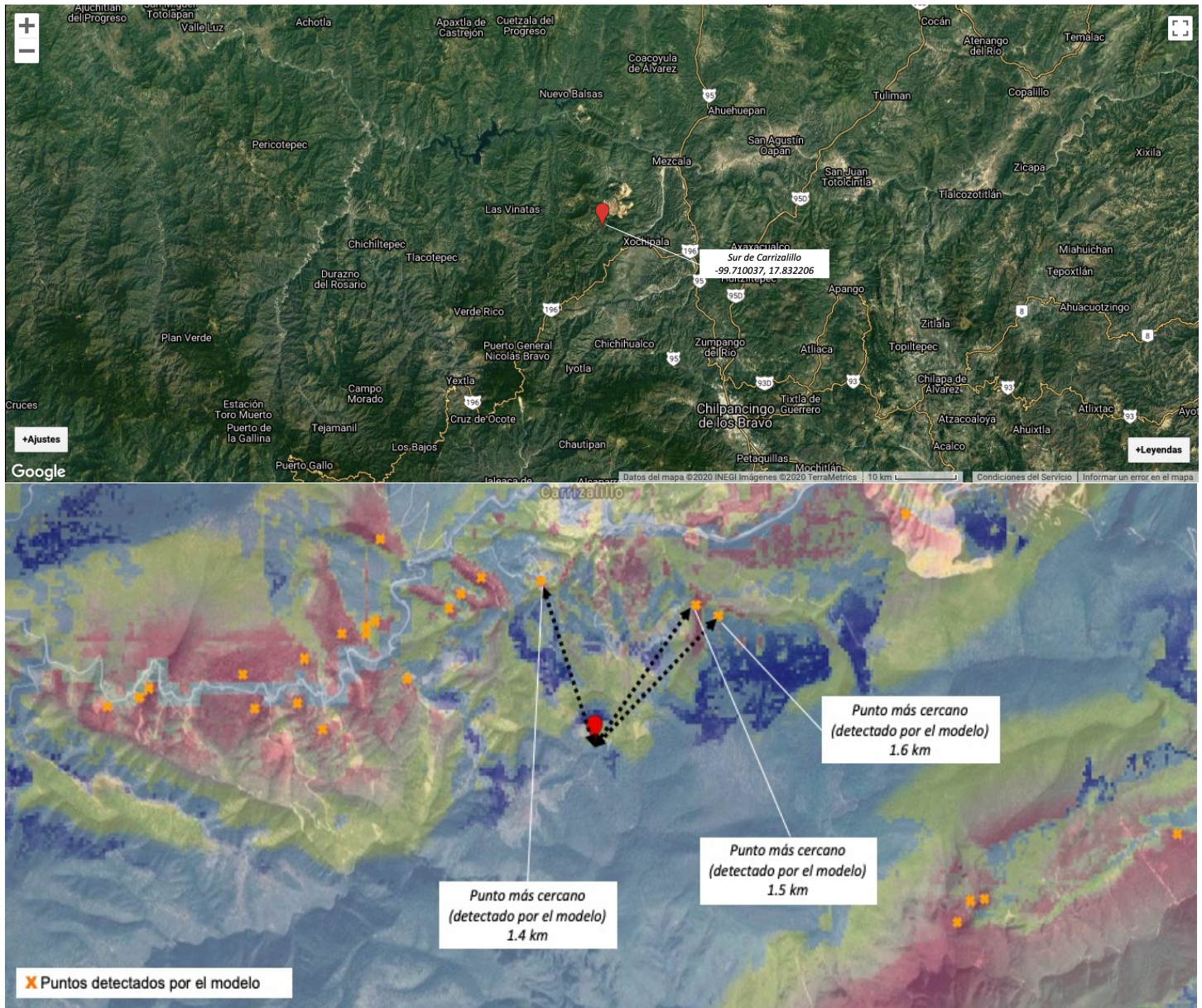


Figura 4. Arriba se muestra un punto de interés y abajo se observan los puntos detectados por el modelo de Distribución Potencial de Fosas Clandestinas que se encuentran cercanos al punto de interés, de acuerdo con el método de Máquinas de Soporte Vectorial.

Los Drones

muestran dónde es probable que las fosas tengan puntos en común con las ubicaciones de fosas que ya se tienen conocidas. Estos mapas no deben tomarse como un “evangelio”, sino como guías para ayudar a enfocar los esfuerzos de búsqueda y recuperación (Congram, 2017).

Los drones son vehículos aéreos no tripulados (VANTs) también conocido como un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS) y comúnmente como “Dron” que hoy en día son usados en aplicaciones de inspección, vigilancia, mapeo y modelado 3-D. Aunque su uso con fines civiles comienza a principio de los años

80, la proliferación de aplicaciones se ha dado apenas en la última década, sobre todo debido a innovaciones tecnológicas que han permitido mejorar la autonomía y el control, así como abatir costos. Concurrentemente, el desarrollo de nuevos sensores para poner a bordo de estas plataformas ha permitido ampliar sustancialmente el abanico de posibilidades, incluyendo la planeación de búsquedas y detección de entierros clandestinos (Evers 2018, Murray et al. 2018, Parrott et al. 2019).

Tabla 2. Resumen de requisitos para poder volar un dron en el espacio aéreo mexicano.(Adaptado de <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/aeronautica-civil/3-servicios/35-rpas-drones>)

Dron Micro para uso recreativo
• Registro del Dron ante DGAC • Seguro de daño a terceros • Reglamento • Operar el dron a una altura máxima de 122 m o 400 ft. • No operar el dron a una distancia horizontal de más de 457 m. • Operar el dron a una altura máxima de 100 metros, en círculos de 9.2 km y 18 k, alrededor de aeródromos. • No exceder la velocidad máxima de operación establecida por el fabricante del dron. • No se debe operar sobre personas a menos de que participen e la operación del dron, debiendo mantener una distancia horizontal de seguridad perimetral con las personas no relacionadas a la operación, de al menos, 10 m. • No eperar el dron en los corredores en los que operan helicópteros publicados en las cartas visuales del PIA de México. • Contar en la estación de control con copia simple del folio de registro del RPAS, emitido por la autiridad aeronáutica. • El operador del RPAS debe operar el dron a línea de vista, sin ayuda de nungún otro dispositivo que los lentes correctivos, por lo que el operador de RPAS debe ser capaz de ver la RPA durante todo el vuelo con el fin de saber su localización, actitud, altitud, dirección, la ecistencia de otros tráficos aéreos o de otros eligros y determinar que la RPA no ponga en peligro la integridad física o la vida de las personas o daños a la propiedad.

Los drones pueden ser de ala rotatoria o de ala fija, lo que influye en nivel de control, estabilidad, autonomía y por ende el tipo de proyecto en el que pueden ser usados. En aplicaciones de rango corto o cercano, esto es entre unos cuantos metros y alrededor de un kilómetro, los VANTs representan una alternativa de bajo costo a la fotografía aérea tradicional, ya que pueden capturar fotografías digitales con calidad amateur o fotogramétrica en forma automática o manual. Los drones más empleados son los tipos ala rotatoria llamados cuadricópteros debido a su fácil manejo y la duración de su batería; los drones de ala fija sirven para regiones extensas ya que tienen mayor autonomía.

En la Tabla 2 se mencionan los principales requisitos para volar un dron para uso recreativo con características igual o menor a 2 kilos. La norma oficial mexicana NOM-107-SCT3-2019 establece los requerimientos para operar un RPAS en el espacio aéreo mexicano, por lo que debe ser consultada previo a la salida al campo para determinar si existen restricciones aplicables al sitio de búsqueda en cuestión.

Planes de Vuelo

Existen varios tipos de vuelo en las aplicaciones para volar un dron a continuación describiremos las más empleadas para el caso de búsquedas de personas o de evidencias en campo abierto:

1. **Barrido simple.** Es un plan de vuelo con líneas paralelas (Figura 5) con traslape frontal (entre fotos consecutivas) del 75% y lateral (entre líneas consecutivas) de no menos de 60%. Usa este plan de vuelo para crear ortomosaicos con la cámara orientada verticalmente (ángulo cenital de 90 grados).
2. **Barrido doble.** Para la generación de ortomosaicos y reconstrucciones en tres dimensiones es necesario completar dos barridos en direcciones ortogonales (Figura 6). Usa un traslape frontal de 75% y lateral de 60% o superior. Si el área presenta variación vertical significativa es recomendable orientar la cámara a 70 grados respecto al plano cenital e incrementar los traslapes frontal y lateral hasta 90% y 80%, respectivamente.

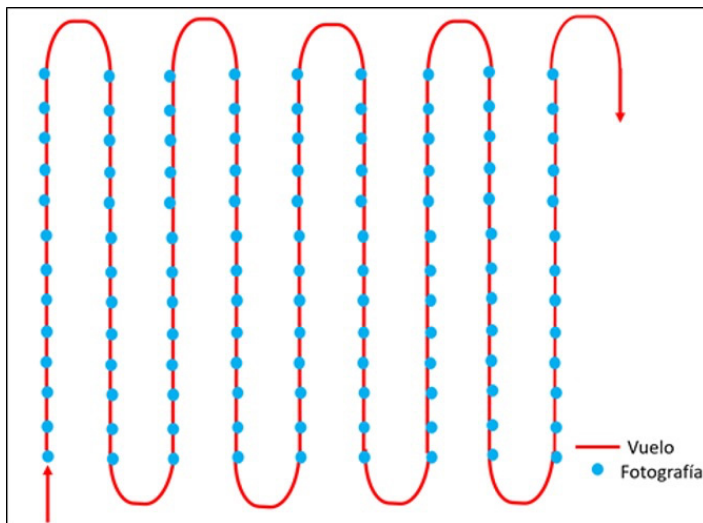


Figura 5. Esquema de un plan de vuelo de un solo barrido para mapeo 2D.

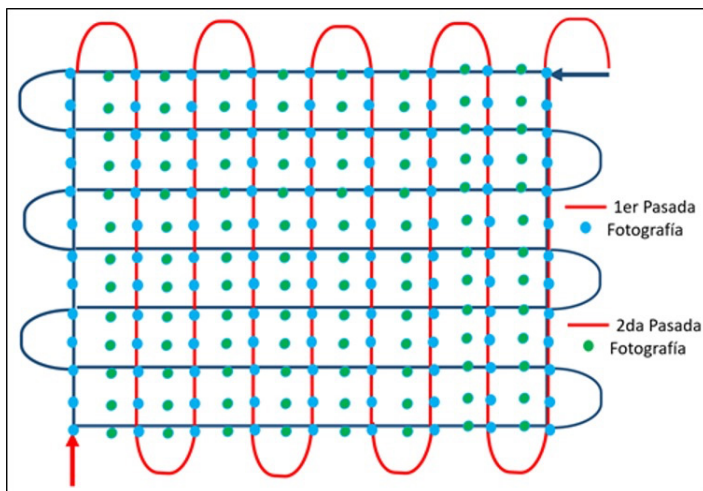


Figura 6. Esquema de un plan de vuelo de doble barrido para mapeo 3D.

3. **Vuelo circular.** Es un vuelo que sigue una trayectoria circular o elipsoidal con la cámara orientada siempre al centro. Las tomas de fotografías se programan con espaciado angular uniforme. Este tipo de vuelos se emplean para el mapeo 3-D de objetos con estructura vertical, como cerros, peñascos, torres, etc.
4. **Vuelo libre.** Es un vuelo no programado en el que el operador controla la trayectoria y orientación de la cámara. Los intervalos de disparos pueden ser libres o programados por intervalo de tiempo o distancia de desplazamiento, o puede hacerse para toma de videos.

Vuelos dirigidos a la búsqueda

Por su objetivo, existen diferentes tipos de vuelo orientados a encontrar, planear, organizar, dar seguimiento o identificar puntos de interés (Romero et al., 2017):

1. **Vuelo de evaluación y seguridad.** Este tipo de vuelos generan información que ayudan en las tareas de organización y despliegue de recursos (personal, camionetas, perros, motocicletas, etcétera), permitiendo conocer de primera mano el escenario de trabajo localizando lugares de especial dificultad o riesgo y conociendo las características del terreno como (barrancas, cuevas, cráteres, lechos de río, etcétera). Así mismo ayuda a planificar los recursos adecuados para que sean más eficaces, es decir, conseguiremos una optimización y racionalización de recursos, pero lo más importante es que mejorará y aumentará la seguridad de las brigadas.
2. **Vuelo para mando y control de tareas específicas.** Es el vuelo donde se da seguimiento a una maniobra o tarea específica el control del plan de acción establecido con la persona responsable de la búsqueda.
3. **Vuelo para colaboración en una operación de rescate.** Es un vuelo para la localización puntos acceso y evacuación, mando y control de esa tarea apoyar la búsqueda y operaciones de rescate o identificación y persecución realizadas a cabo por servicios dedicados. Por ejemplo, si es una región con abundante vegetación el dron puede encontrar los accesos a la zona de interés.

Recomendaciones

A continuación, se presentan una serie de pasos (Figura 7) que se deben de seguir antes, durante y después del vuelo de un dron como una secuencia operativa basada en las recomendaciones de la Comisión Nacional Forestal para levantamientos cartográficos (CONAFOR, 2008):

La planeación. Para que nuestro levantamiento sea un éxito se necesita analizar en donde se realizará el vuelo: tipo de cobertura (bosque, matorrales, desiertos, zonas agrícolas, etcétera) predios, construcciones y edificios);

los formatos necesarios para el levantamiento. Siempre contar con permiso y seguro de daños a terceros del dron; revisar con Google Earth o con imágenes actualizadas la zona del levantamiento y la ruta de acceso a las zonas de levantamiento; evaluar la seguridad y carga de trabajo de la brigada del levantamiento; si es necesario llevar información cartográfica de respaldo; evaluar qué tipo de vuelo es el necesario para el levantamiento (vuelo 2d, doble grid, circular o libre); llevar el teléfono inteligente o tableta, control remoto y baterías cargadas, memorias con el espacio suficiente para almacenar fotografías.

Preparación en el sitio. Uno de los factores que puede influir en nuestro vuelo es el clima y seguridad del sitio, por lo tanto, se debe revisar la probabilidad de precipitación inferior al 10%, velocidad del viento por debajo de 20 mph, altura de nubes mayor a 250 metros, visibilidad de 1 kilómetro; evaluar la seguridad del vuelo de objetos como (postes, árboles, cables, construcciones), obtener autorización del dueño o de la autoridad previamente. Ya en el campo, hay que situar el sitio de despegue donde se tenga la mayor línea de vista o se observe la mayor parte del vuelo (partes altas); discutir la misión del vuelo con otros miembros de la brigada; colocar señalizaciones que sea necesario que salgan como referencias o si es necesaria alta precisión del levantamiento con puntos de control GPS se necesitan cuatro mojónicas o lonas orientados al norte. Cuando se trate de un levantamiento estático, la antena del GPS deberá permanecer de 15 a 30 minutos en cada uno de los puntos.

Vuelo del dron. Comprobar la colocación de hélices y los movimientos del dron en busca de cualquier desequilibrio o irregularidad, escuchar los sonidos anormales, probar los controles *pitch*, *roll*, y *yaw*, para

ver la respuesta de control y la sensibilidad, compruebe si hay interferencias electromagnéticas, u otras advertencias de software de control de vuelo; hacer una verificación final para garantizar la seguridad del área de operaciones de vuelo; al momento de terminar el vuelo revisar que se estén descargando las fotografías a la tablet. Considera que los drones de rotor son básicamente cortadoras de césped volando, si estás a punto de chocar contra algo, baja el acelerador a cero, para no destruir potencialmente tu dron, lastimar a alguien o lastimarte a ti mismo; en todo momento mantén los dedos alejados de las hélices cuando estén en movimiento; antes de realizar cualquier manipulación del dron es conveniente apagarlo y retirar las baterías; muy importante no apagar el dron inmediatamente cuando aterrice, esperar a que transmita de 5 a 10 imágenes a la tablet o celular; cuando estás en una misión de vuelo y se te acaba la batería, regresas el dron a la base se cambia la batería y selecciona la opción de **resume** y el dron se regresa a completar el vuelo.

Evaluación del levantamiento en campo. Antes de salir del sitio del levantamiento, es recomendable respaldar las fotos recién tomadas en una computadora portátil, así como verificar que las fotos salieron bien abriendo algunas de ellas. De haber errores, hay que identificar las posibles causas y, de ser necesario, corregir y repetir la misión.

Evaluación del levantamiento en gabinete. Ya en la base, procesa los datos para determinar y evaluar los productos generados, tales como el post-procesamiento de los puntos de control, que la nube de puntos se genera apropiadamente, que el ortomosaico no tiene huecos en áreas prioritarias, etcétera. En caso de fallas, evalúa la factibilidad de volver al campo y realiza los pasos anteriores con las correcciones necesarias.

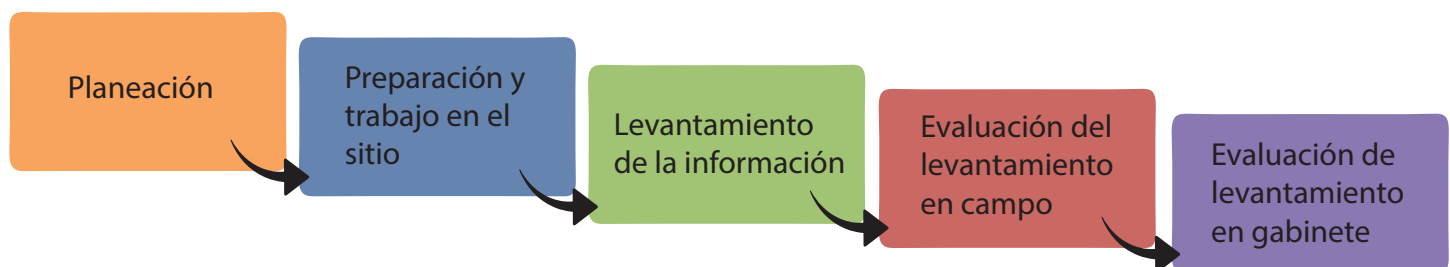


Figura 7. Secuencia operativa de un levantamiento con dron. Fuente: CONAFOR, (2008).

Técnicas para búsqueda en superficie

Videografía

La adquisición de videos con el dron es una forma ágil de capturar información del terreno durante la búsqueda en superficie. La interpretación del video en tiempo real es recomendable para detectar objetos en superficies como ropas u otros objetos conspicuos en la escena, para lo cual es necesario emplear un sistema de despliegue de buen tamaño y con alto contraste, como una tableta con el contraste ajustado al máximo. El video también es útil para asistir en el pilotaje manual, sobre todo cuando el dron no se encuentra en la línea de vista del piloto o cuando se quiere hacer acercamientos y tomas precisas de áreas de interés.

En gabinete, el video se puede descomponer en *frames* como si fueran tomas estáticas, las cuales presentarán un alto traslape debido a la frecuencia del video y suelen ser idóneas para reconstrucciones 3-D empleando la técnica *structure from motion*. Algunos softwares comerciales de procesamiento fotogramétrico como Pix4D o Agisoft admiten videos para la generación de nubes de puntos masivas no georeferenciadas.

Fotointerpretación y fotogrametría

El fotointerpretar fotografías de alta resolución es una gran ayuda en la búsqueda, ya que permite buscar en una ladera montaña y zonas inaccesibles, tener fotografías del área de búsqueda para poder descartar lugares y movilizaciones del personal o búsqueda de cuerpos en superficie, si en la región se presentan nublados ayuda para tener imágenes de los sitios de interés. Las fotografías se pueden tomar con cámaras con lentes potentes y alta resolución, celulares con diferentes lentes, drones con cámaras 4k o vuelos en helicóptero. La información se puede analizar en gabinete, si es necesario se pueden emplear softwares de procesamiento digital de imágenes para hacer detecciones automatizadas.

En la Figura 8 se muestra un ejemplo de fotografía empleada en una búsqueda realizada en Hidalgo, Nuevo León, donde se pudieron identificar una serie de rasgos como construcciones abandonadas, vegetación alterada, montículos de arena, y un tubo de un pozo, los cuales son característicos de sitios de ocultamiento de restos.



Figura 8. Fotointerpretación de fotografía aérea. La fotografía muestra un tubo que se presume es un sitio de ocultamiento de restos de personas desaparecidas. Ubicado en Nuevo León. Fuente: elaboración propia.



Figura 9. Ortomosaico del paraje en Nuevo León.

Aunque en la fotografía es posible discriminar objetos por su tamaño relativo, no es posible determinar el tamaño absoluto debido a las variaciones de escala. Para ello se requiere rectificar las fotografías, esto es, transformarlas de una perspectiva cónica central a ortogonal y crear un mosaico continuo denominado ortomosaico. El ortomosaico es una imagen corregida de los efectos creados por las irregularidades y pendientes de la superficie terrestre, así como por la inclinación de la cámara respecto al plano de referencia; en este producto también se corrigen las variaciones de color entre las tomas, por lo que puede ser empleado como un mapa 2D de escala constante, lo que permite realizar mediciones en planta. En la Figura 9 se muestra un ejemplo de un ortomosaico indicando la escala.

Recomendaciones

Se sugiere buscar en las fotografías o mosaicos recorriendo de izquierda a derecha y arriba abajo. Si el ortomosaico es muy grande, debe marcarse en cuadrantes con un sistema de coordenadas letra-número que identifique el cuadrante sin ambigüedad. Si son fotografías digitales se recomienda aprovechar la resolución de las fotografías haciendo zooms en las regiones de interés. Apóyate en las sombras y su forma para estimar altura. Observa los tonos y texturas de los árboles para encontrar signos de alteración como estrés o signos de quema. Anota el ID de la foto o del cuadrante donde se identifiquen objetos o rasgos de interés.

Imágenes térmicas

También llamada termografía, consiste en el registro de la temperatura superficial mediante cámaras térmicas, las cuales emplean una ley física que relaciona la radiación electromagnética de los cuerpos con su temperatura y emisividad. La emisividad es la fracción de radiación emitida a una temperatura con respecto a la radiación que emitiría un cuerpo negro a la misma temperatura, donde la emisividad de un cuerpo negro es, por definición, la unidad a cualquier longitud de onda. Muchos materiales se comportan como un cuerpo negro en rangos de longitudes de onda específicos, con promedios de emisividad cercanos a la unidad, por ejemplo, el agua clara con valores entre 0.98-0.99, la piel humana, entre 0.97-0.99 y el concreto asfáltico, entre 0.94-0.97. Debido a esto, la calibración de una cámara

térmica requiere establecer un valor de emisividad apropiado para poder determinar la temperatura correcta. Establecer el valor correcto puede representar un reto cuando se mapean escenas que involucran varias fuentes de radiación con distintos rangos de emisividad (Edelman et al. 2013).

En su modalidad terrestre, las cámaras térmicas son usadas principalmente para la estimación de la hora de deceso, para determinar si un objeto fue recientemente manipulado por contacto directo, para detectar traumatismos internos en el cuerpo, para visualizar fluidos en superficies con los mismos tonos, tales como manchas de sangre; y recientemente se ha evaluado su utilidad para detectar cuerpos desnudos sobre la superficie en campo abierto (Wisniewski 2020).

En su modalidad aerotransportada, las cámaras térmicas se emplean para mejorar la visibilidad de objetos en ambientes oscuros a partir de la detección de la radiación infrarroja térmica emitida por éstos. Su aplicación abarca desde la inteligencia militar en la detección de objetivos, pasando por investigación policial en el monitoreo de actividades nocturnas en laboratorios clandestinos, hasta investigaciones ambientales que incluyen la detección de puntos de calor en incendios forestales y zonas urbanas. Montadas en una plataforma aérea, las cámaras térmicas proporcionan un medio efectivo para detectar cuerpos desnudos recién fallecidos o durante el proceso de descomposición. Experimentos con animales reportan que durante el período activo de descomposición, los cuerpos desnudos presentan una ligera, pero detectable, mayor temperatura promedio del orden de 1-2 grados con respecto al área circundante (DesMarais 2014, Lee, 2017, Descalzi 2019, Butters et al., 2020), lo que permite detectar los cuerpos en descomposición sobre la superficie hasta a un kilómetro de distancia en línea de vista (Lee, 2017).

En la Figura 10 se muestra un mosaico de fotografías térmicas donde se detectan las temperaturas con una calibración absoluta, por lo que los valores de temperatura puntuales suelen tener una desviación de hasta $\pm 5^\circ \text{C}$. No obstante, la tendencia general concuerda con lo que se esperaría en el área: mayores temperaturas para el suelo desnudo y roca por el contrario menores temperaturas los matorrales que es una vegetación eficiente para dispersar la temperatura por su función de su altura y densidad.

Mapa Térmico

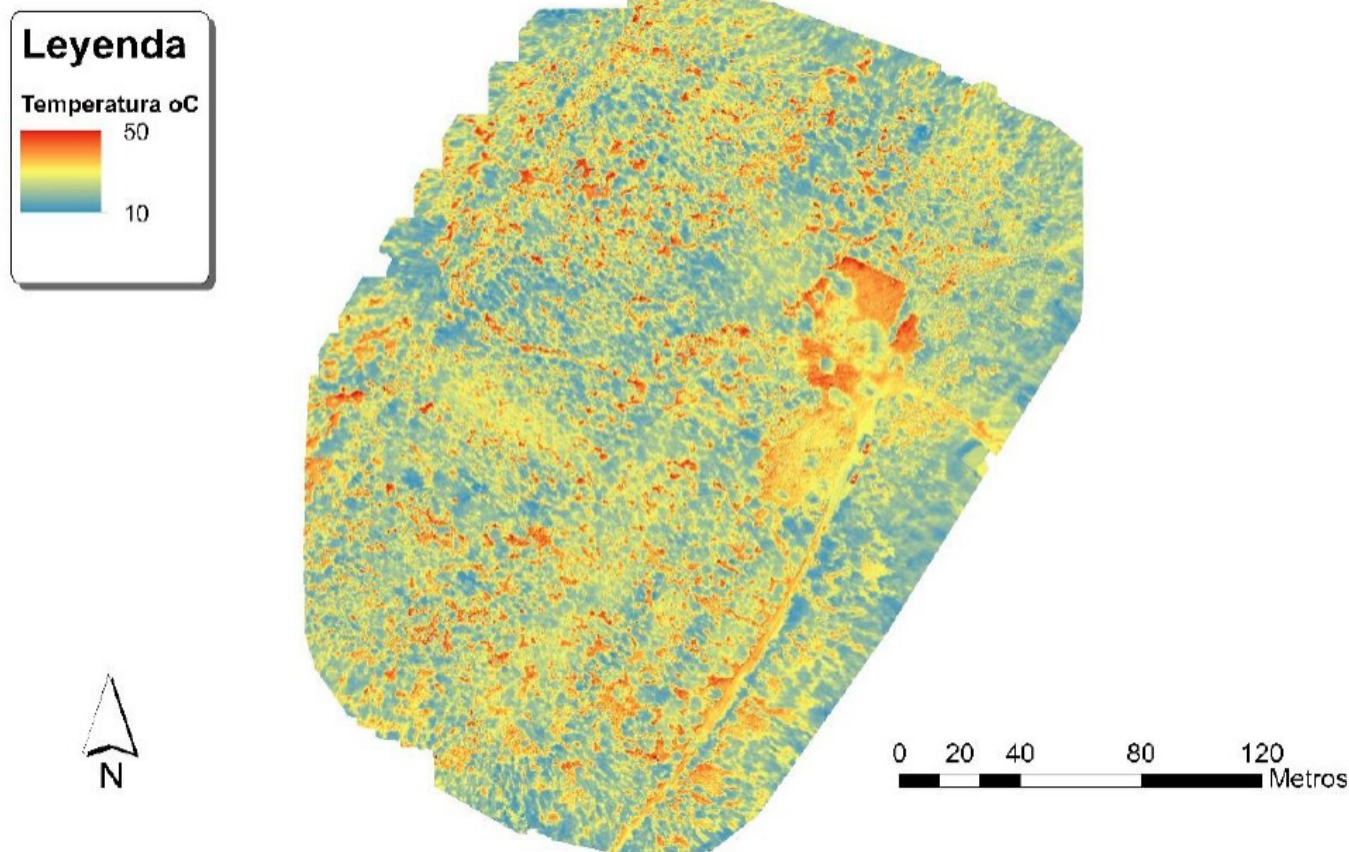


Figura 10. Mapa de temperaturas generado con Pix4D, de Nuevo León, Marzo 2020.

Recomendaciones

El empleo de cámaras térmicas para detectar restos en superficie debe tomar en cuenta que la detección es posible únicamente durante un corto período de tiempo que puede ir de unos cuantos días a semanas desde el deceso, cuando la agregación larvaria incrementa la temperatura del cuerpo. Tras el deceso, la agregación larvaria suele iniciar en unos cuantos días en climas cálidos, pero puede tomar algunas semanas en climas más fríos. En invierno, el contraste térmico causado por la actividad larvaria será más débil que en el verano, pero de mayor duración, dando una mayor oportunidad de tiempo para la detección (Figura 11). El mayor contraste térmico ocurre por la noche, lo más tarde después de la puesta de sol y lo más temprano antes de su salida, período que es ideal para la detección de la actividad larvaria. Aunque la ropa no tiene un efecto cuantificable sobre la tasa de descomposición, ni

en el tiempo de aparición o intensidad larvaria, sí puede ser un obstáculo para la detección del cuerpo debido a su baja conducción térmica.

Modelos 3-D

Los modelos 3-D son representaciones espaciales del paisaje que incluyen la dimensión de altura, de tal forma que admiten algunas interpretaciones y análisis que un modelo 2-D, como el ortomosaico, no permite.

Nubes de puntos

Existen varios métodos para producir este tipo de datos mediante sensores a bordo de plataformas aéreas, pero el más directo es quizá el escáner láser aerotransportado, mejor conocido como LiDAR (Wehr y Lohr, 1999; Shan

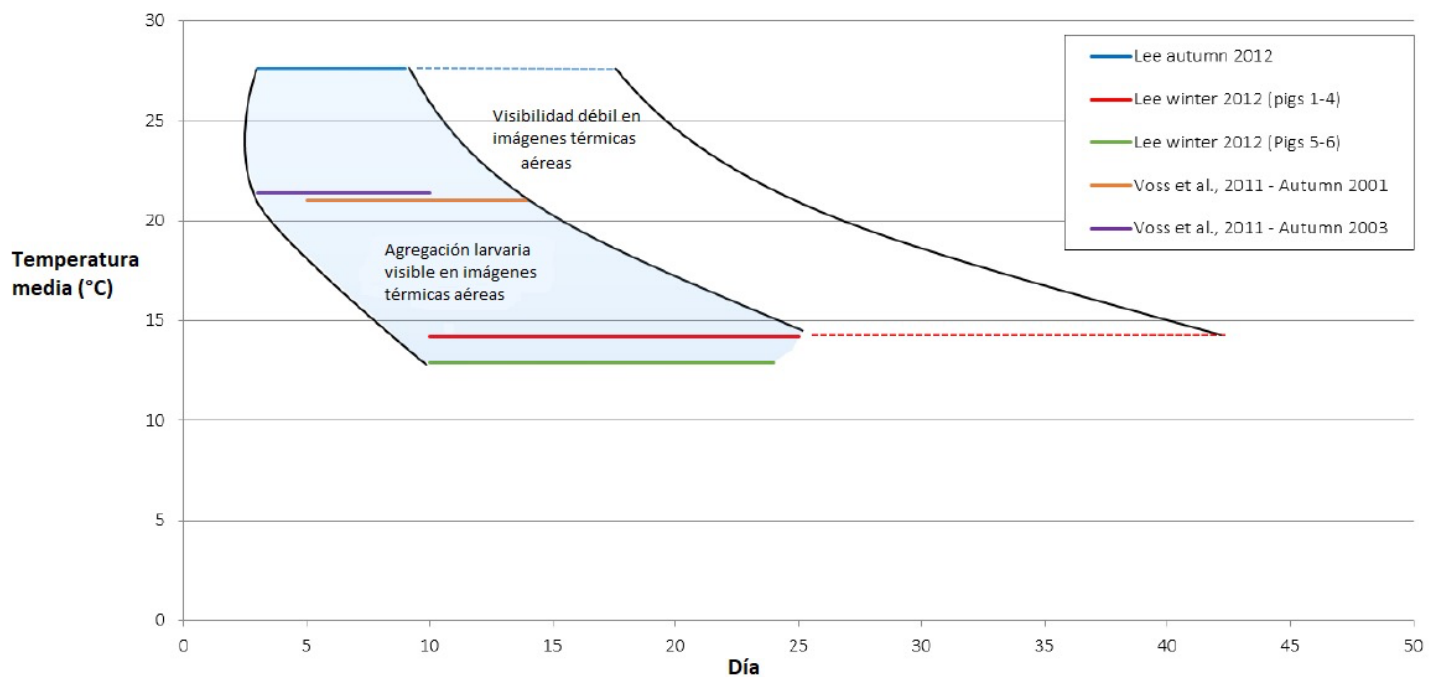


Figura 11. El área sombreada de la gráfica indica el intervalo postmortem donde es recomendable emplear la fotografía térmica para la detección de restos en superficie. Las líneas de colores indican los estudios (del recuadro) que lo sustentan. Adaptado de Lee (2017).

y Toth, 2018). El sistema LiDAR emplea un láser, ya sea pulsado o de onda continua, cuyo reflejo es detectado para determinar la distancia entre la superficie y el sensor vía el tiempo de vuelo (láser pulsado) o la diferencia de fase entre emisión y recepción (onda continua). El tiempo es luego transformado en distancia y ésta a su vez en la posición precisa donde rebotó el pulso. Por tratarse de un sensor activo, es decir, con una fuente de energía propia, puede emplearse de día o de noche y tiene la capacidad de penetrar la vegetación con densidad media a baja, permitiendo reconstruir la forma del terreno desnudo.

La alternativa económica es la fotogrametría a partir de fotografía RGB oblicua del terreno adquiridas en forma sistemática empleando un doble barrido. La generación de nubes de puntos fotogramétricas se realiza a partir de la técnica conocida como *structure from motion* (estructura a partir del movimiento) que permite la generación de una representación tridimensional a partir de múltiples vistas bidimensionales. El procedimiento es completamente automatizado a través de un algoritmo que encuentra puntos comunes o de amarre entre las fotos, optimiza

los parámetros de un modelo de cámara y aplica dichos modelos para reconstruir una nube densa de puntos tridimensionales. A diferencia de las nubes de puntos generados con sensores activos LiDAR, las nubes fotogramétricas incluyen las componentes de color RGB que se extraen de las fotos, lo cual resulta muy útil en su interpretación. Un ejemplo de modelo de nube de puntos densa se muestra en la Figura 12. El modelo es útil para búsqueda en superficie, donde la interpretación de la variación de la altura puede ser determinante para detectar algunos rasgos de terreno permitiendo múltiples vistas, tanto aéreas, como a nivel de terreno.

Modelo digital de elevación

Los modelos digitales de elevación (MDE) son imágenes de la elevación del terreno con respecto a una elevación de referencia, generalmente el nivel medio del mar. Los MDE permiten observar el relieve de la superficie terrestre, incluyendo la altura de la vegetación, de la infraestructura y edificaciones. Los MDE se pueden derivar a partir de las nubes de puntos, ya sean con



Figura 12. Modelo de nube de puntos fotogramétrica generado con un vuelo de doble barrido. A la derecha se puede observar una torre de agua que es difícil interpretar en las fotos.

LiDAR o con fotogrametría, mediante un proceso de rasterización en el que a cada pixel se le asigna el valor de la coordenada Z. Por ejemplo, en la Figura 13 se presenta un modelo digital de elevaciones donde se observan las bajadas de agua o ríos intermitentes y los matorrales de la región.

Modelado hidrológico

En muchos casos, los restos son quemados y las cenizas y fragmentos son esparcidos por el terreno o enterrados en hoyos superficiales pequeños, como sucede en el norte del país. Con el paso del tiempo los restos son arrastrados tras eventos pluviales intensos. En tal situación, puede ser útil emplear modelos hidrológicos de arrastre para determinar áreas de acumulación en superficie. Para esto se emplean modelos digitales de terreno (MDT) de muy alta resolución, los cuales son derivados de la nube de puntos aplicando un procedimiento de filtrado de puntos de terreno. Los puntos de terreno son luego interpolados para generar una imagen de elevaciones del terreno expuesto o MDT. El análisis hidrológico emplea el MDT y el conocimiento sobre la mecánica

de fluidos sujetos al campo gravitacional terrestre para determinar las áreas de captación, las corrientes y los puntos de acumulación de flujo. Hoy día existe software libre que permite realizar dicho análisis en forma automática, como es el caso de GRASS (<https://grass.osgeo.org/>). En la Figura 14 se muestra un ejemplo de la aplicación de esta técnica para el predio Las Abejas, en el Estado de Nuevo León. La ubicación de los 10 máximos locales de mayor acumulación se muestran como triángulos de color rojo oscuro, los cuales son candidatos para búsqueda de fragmentos en superficie.

Técnicas de búsqueda en subsuelo

Espectroscopía de imagen

La espectroscopía de imagen consiste en la adquisición de imágenes donde el valor de cada píxel corresponde a un espectro de energía reflejada por el área del elemento de resolución en un rango de longitudes de onda dado. Estos espectros se utilizan para derivar información basada en la firma de la interacción de materia y energía

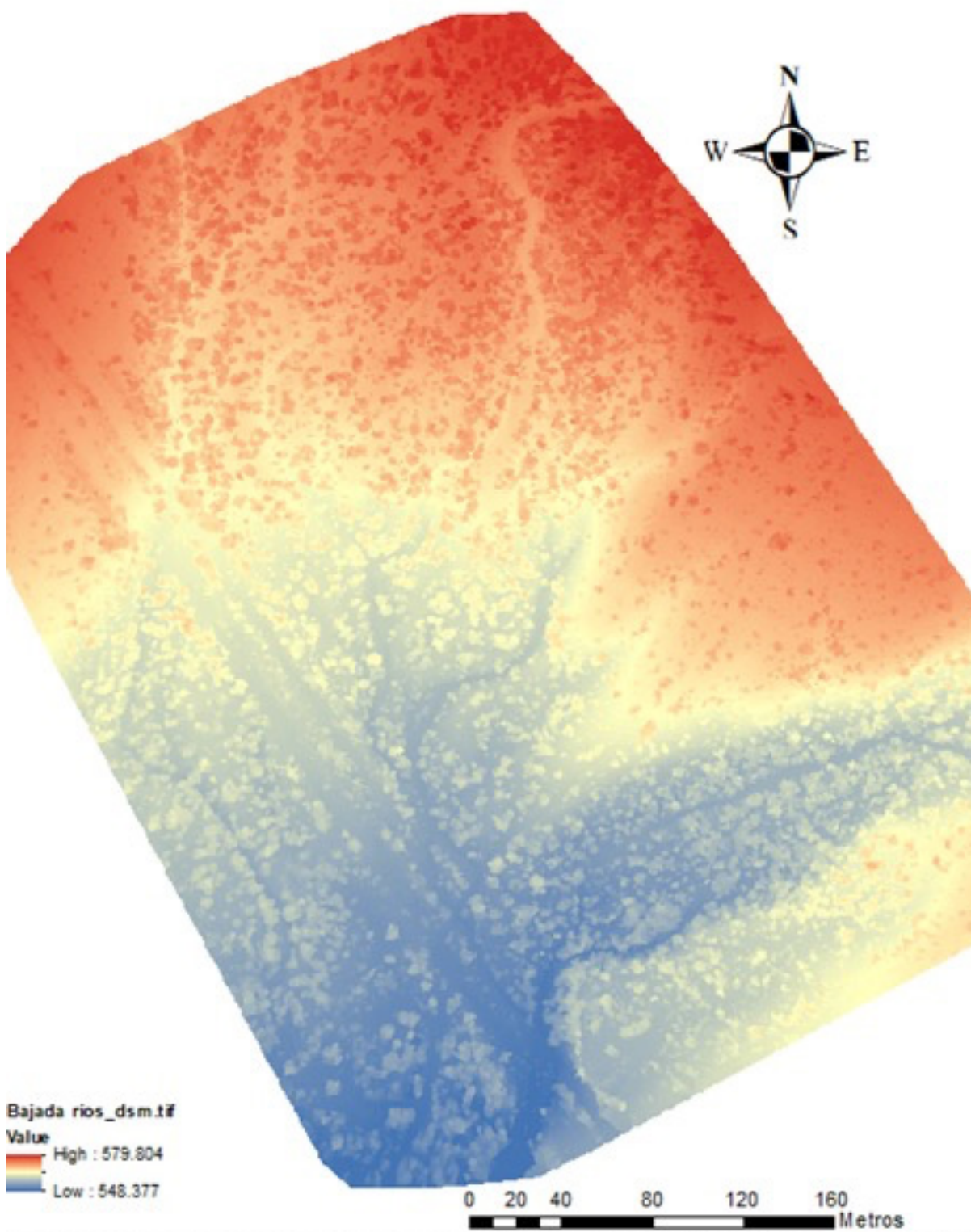


Figura 13. Modelo digital de elevación de un paraje en Nuevo León.

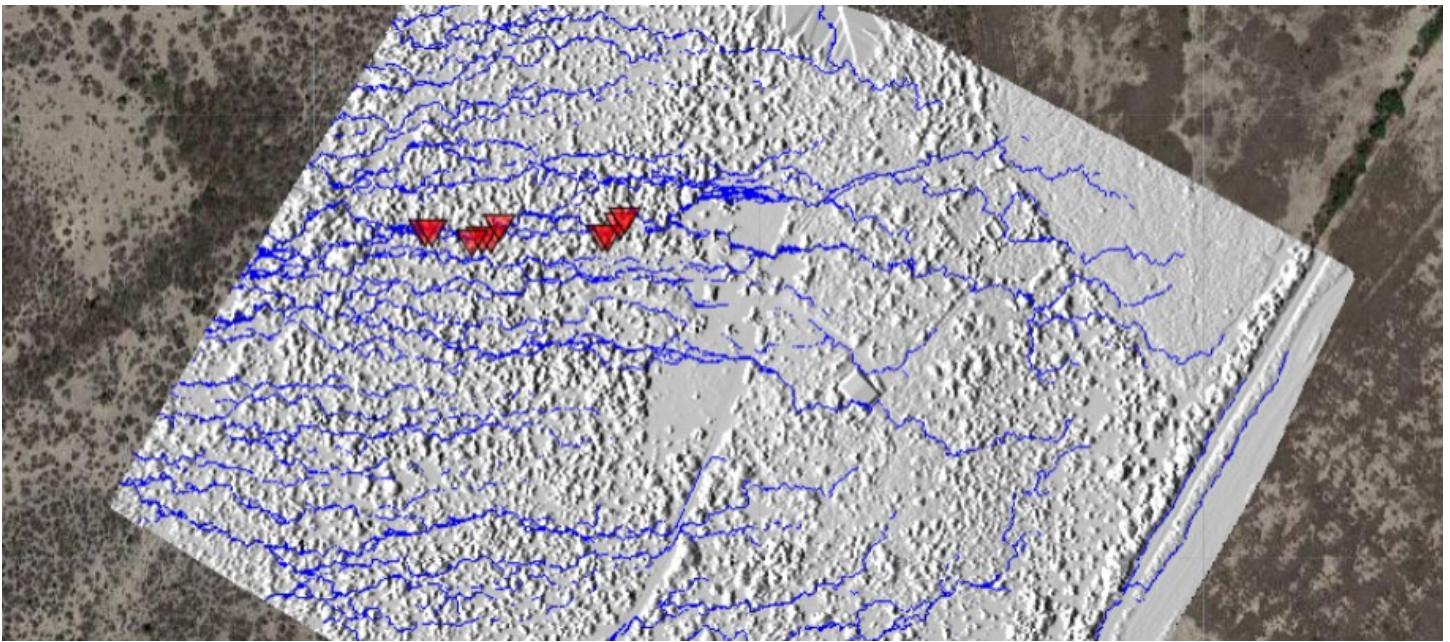


Figura 14. Mapa de escurrimiento y puntos de mayor acumulación en sitio de búsqueda en Nuevo León.

expresada en el espectro. Cuando la cámara registra poco menos de una docena de bandas espectrales, con anchos de banda del orden de 100 nanómetros, las imágenes se denominan multiespectrales. En contraste, si ésta registra varias docenas o incluso cientos de bandas delgadas con anchos de banda del orden de 10 nanómetros o menor, las imágenes se denominan hiperespectrales (Figura 15). La resolución espectral o ancho de las bandas de las imágenes juega un papel importante en la capacidad de detección de ciertos materiales, como minerales y elementos químicos. No obstante, la diferencia de costos suele ser la principal razón por la que uno preferiría una cámara multiespectral sobre una hiperespectral. Como un caso especial de las imágenes multiespectrales está la fotografía digital, la cual emplea cámaras que registran sólo las tres bandas espectrales del rango visible: rojo, verde y azul. Por el número reducido de bandas se dice que la fotografía ofrece poca información espectral, por lo que su potencial se limita a la interpretación de los rasgos espaciales, los cuales suelen ser más relevantes para la búsqueda en superficie.

La evidencia sobre la efectividad en el uso de imágenes multiespectrales/híper-espectrales en la detección de restos enterrados se ha limitado a la experimentación controlada, la mayoría empleando restos de animales como reses (Kalacska and Bell 2006; Kalacska et al. 2009), cerdos (Leblanc et al. 2014;

Silván-Cárdenas et al. 2017) y conejos (Ruotsala 2020) y únicamente un par de ellos, empleando restos humanos (Corcoran 2016; Blau et al. 2018).

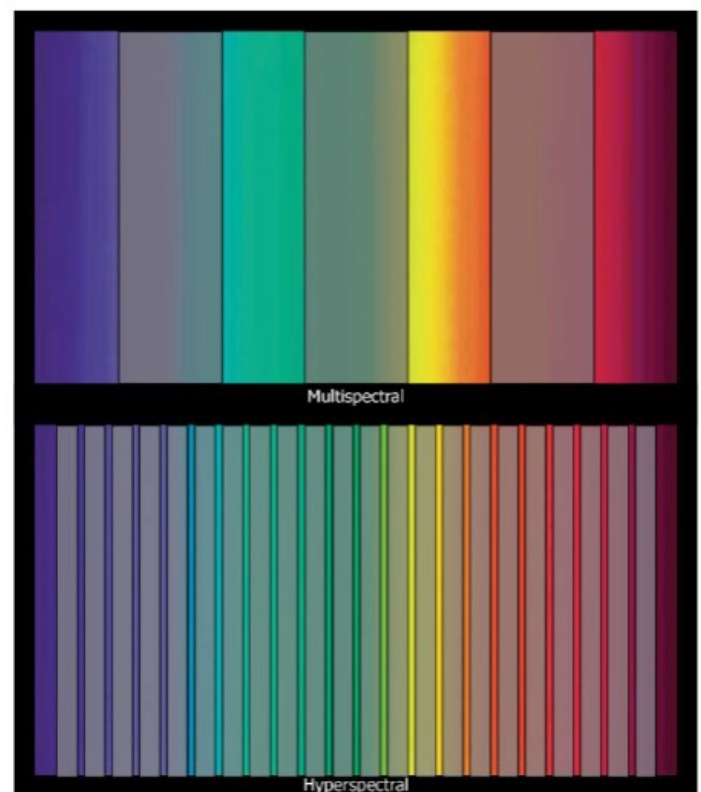


Figura 15. Comparación relativa del ancho y número de bandas espectrales en los sensores multiespectrales (arriba) e hiperespectrales (abajo), Snirer 2013.

Suelos

Entre los estudios que exploran los beneficios potenciales de las imágenes multi e hiperspectrales están los que se basan en el análisis del suelo expuesto para separar firmas espectrales del suelo donde se enterraron restos de las firmas de los que no contienen restos (Kalacksa y Bell 2006; Kalacksa et al. 2009; LeBlanc et al. 2014; Snirer 2013). El suelo expuesto tras un entierro reciente es un estado temporal antes de que la vegetación vuelva a crecer y otros cambios en la superficie tengan lugar. Desafortunadamente, es muy frecuente que las anomalías de alto contraste, como el suelo expuesto, no proporcionen suficiente información para delimitar un área de búsqueda, especialmente si la cubierta vegetal de un paisaje es muy variable o si un entierro está realmente oculto entre un entorno materialmente similar. Aunque es factible el empleo de sensores hiperspectrales para el mapeo de minerales en suelo, contenido de humedad o contaminantes, la relación de éstos con la existencia de fosas no es fácil de determinar. Por otra parte, las técnicas de mapeo con imágenes hiperspectrales requieren de firmas espectrales de materiales puros, tales como minerales, combustible, arcilla o asfalto, por mencionar algunos. Desafortunadamente, no se cuenta con firmas únicas asociadas con entierros, específicamente, o de alteración del suelo, en general.

Vegetación

El uso de imágenes multiespectrales/hiperspectrales suele ser más recomendable para detectar entierros clandestinos por los efectos que estos causan en la vegetación (Snirer 2013, Leblanc et al. 2014, Corcoran 2016, Silván Cárdenas et al. 2017). Un cuerpo enterrado en la matriz de suelo es esencialmente una fuente de nutrientes, entre los que destacan aquellos que se requieren en gran cantidad (macronutrientes) y que son esenciales para el crecimiento de las plantas (Snirer 2013), estos son: Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), Calcio (Ca) y Manganeseo (Mg). Aunque la tasa de absorción de los nutrientes por las plantas depende de varios factores, como la temporada del año, la humedad del suelo, la especie de planta y del tipo de nutriente, se sabe con bastante certeza que esta correlaciona positivamente con la disponibilidad del nutriente en la superficie de las raíces. En particular, el contenido de N en plantas es de los más estudiados debido a que guarda

una estrecha relación con la clorofila (Hunt et al. 2011), que a su vez presenta características espectrales bien determinadas. Específicamente, la banda alrededor de los 700nm (pared roja) y en el rango 530-630 nm (verde-amarillo) es particularmente sensible a la clorofila por lo que la luz reflejada por la vegetación en esas longitudes de onda correlaciona bastante bien con el contenido de clorofila y nitrógeno en hojas.

El cuerpo humano contiene en promedio 2.6 kg de N, cantidad que distribuida en un área de 3 metros cuadrados equivale a 50 veces la cantidad recomendada para fertilizar arbustos o árboles en zonas templadas (Brabazon et al. 2020). Dicho pico, debería poder ser detectable con sensores remotos. No obstante, y si bien la experimentación ha demostrado que los entierros alteran la concentración y distribución de los pigmentos como la clorofila en la vegetación, la resolución espectral de las imágenes todavía parece ser muy limitadas para poderlo detectar desde un aeroplano (Snirer 2013, Corcoran 2016).

Índices espectrales

La forma más simple de determinar el contenido de N en las plantas es mediante índices espectrales, es decir, combinaciones de bandas espectrales en las cuales el elemento absorbe o refleja la luz. Por ejemplo, uno de los índices más empleados en estudios de vegetación es el índice de la diferencia normalizada o NDVI por sus siglas en inglés, el cual se expresa como:

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_R}{R_{NIR} + R_R} \quad (1)$$

Donde la letra R denota reflectancia y el subíndice denota la banda espectral (NIR = infrarrojo cercano, R = Rojo).

Varios estudios han mostrado que los índices que emplean las bandas del rango visible y hasta el infrarrojo cercano correlacionan bien con el contenido de N en plantas (Hunt et al. 2011). La Tabla 3 proporciona una lista reducida de índices sensibles al contenido de clorofila y, por tanto, de Nitrógeno. De acuerdo con Hunt et al. (2011), los índices que incluyen la banda de la pared roja y los índices basados en bandas

delgadas, es decir de imágenes hiperespectrales, suelen ser los más efectivos para determinar el contenido de N en plantas. Cabe aclarar que la mayoría de esos índices han sido desarrollados y probados en cultivos, por lo que las observaciones podrían no ser directamente transferibles a la vegetación que se produce en las fosas. Por su parte, los estudios sistemáticos sobre el uso de índices de vegetación en fosas son limitados y los resultados son poco concluyentes (Snirer 2013, Leblanc et al. 2014, Corcoran 2016).

Recomendaciones

Mediciones *in situ* sobre fosas simuladas con animales (Silván et al. 2017) sugieren que los índices más efectivos para detectar el enriquecimiento de nitrógeno por entierro de animales son el RECI, GCI, y TGI. Éste último, sólo se recomienda donde no hay suelo expuesto. La Figura 16 muestra la distribución del índice RECI a lo largo del período de monitoreo la cual muestra una clara preeminencia de las áreas donde se colocaron los cuerpos.

Alteraciones del terreno

Los cambios de elevación de la superficie del terreno que son ocasionados por entierros se describen una y otra vez en forma anecdótica en la literatura sobre arqueología forense, primero como resultado del proceso de remoción y redistribución del suelo durante el entierro y posteriormente como resultado de la desintegración de la masa cadavérica (Corcoran, 2016). Se sabe que los entierros pueden provocar el hundimiento del terreno por la desintegración de los cuerpos y la compactación de la tierra; sin embargo, no siempre se observan dichos cambios. La detección de los cambios en la elevación del terreno ocasionados por entierros es muy difícil porque éstos suelen ocurrir lentamente y porque pueden ser fácilmente enmascarados por otros factores, como la regeneración de la vegetación, la acumulación de hojarasca, y las perturbaciones por animales, entre otros. No obstante, con el advenimiento de nuevas técnicas para su rápida generación existe un interés creciente en el monitoreo topográfico automatizado.

Tabla 3. Ejemplos de algunos índices asociados a los pigmentos en la vegetación.

Índices	Fórmula	Referencia
Modified Chlorophyll Absorption Reflectance Index	$MCARI = [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 (R_{700} - R_{550})] (R_{700} / R_{670})$	Daughtry et al., 2000
Triangular Chlorophyll Index	$TCI = 1.2 (R_{700} - R_{550}) - 1.5 (R_{670} / R_{550}) \times \sqrt{(R_{700} / R_{670})}$	Haboudane et al., 2008
Second Modified Triangular Vegetation Index	$SMTVI2 = 1.5[2.5 (R_{NIR} - R_G) - 2.5(R_R - R_G)] / \sqrt{[(2 \times R_{NIR} + 1)2 - 6 \times R_R - 5 \times \sqrt{(R_R) - 0.5}]}$	Haboudane et al., 2004
Green Leaf Index	$GLI = (2 \times R_G - R_R - R_B) / (2R_G + R_R + R_B)$	Louhaichi et al., 2001
Rededge Chlorophyll Index	$RECI = R_{NIR} / R_{RE} - 1$	Gitelson et al., 2003
Green Chlorophyll Index	$GCI = R_{NIR} / R_G - 1$	Gitelson et al., 2003
Combined Index with MCARI	$CMCARI = MRCARI / MTVI2$	Eitel et al., 2007

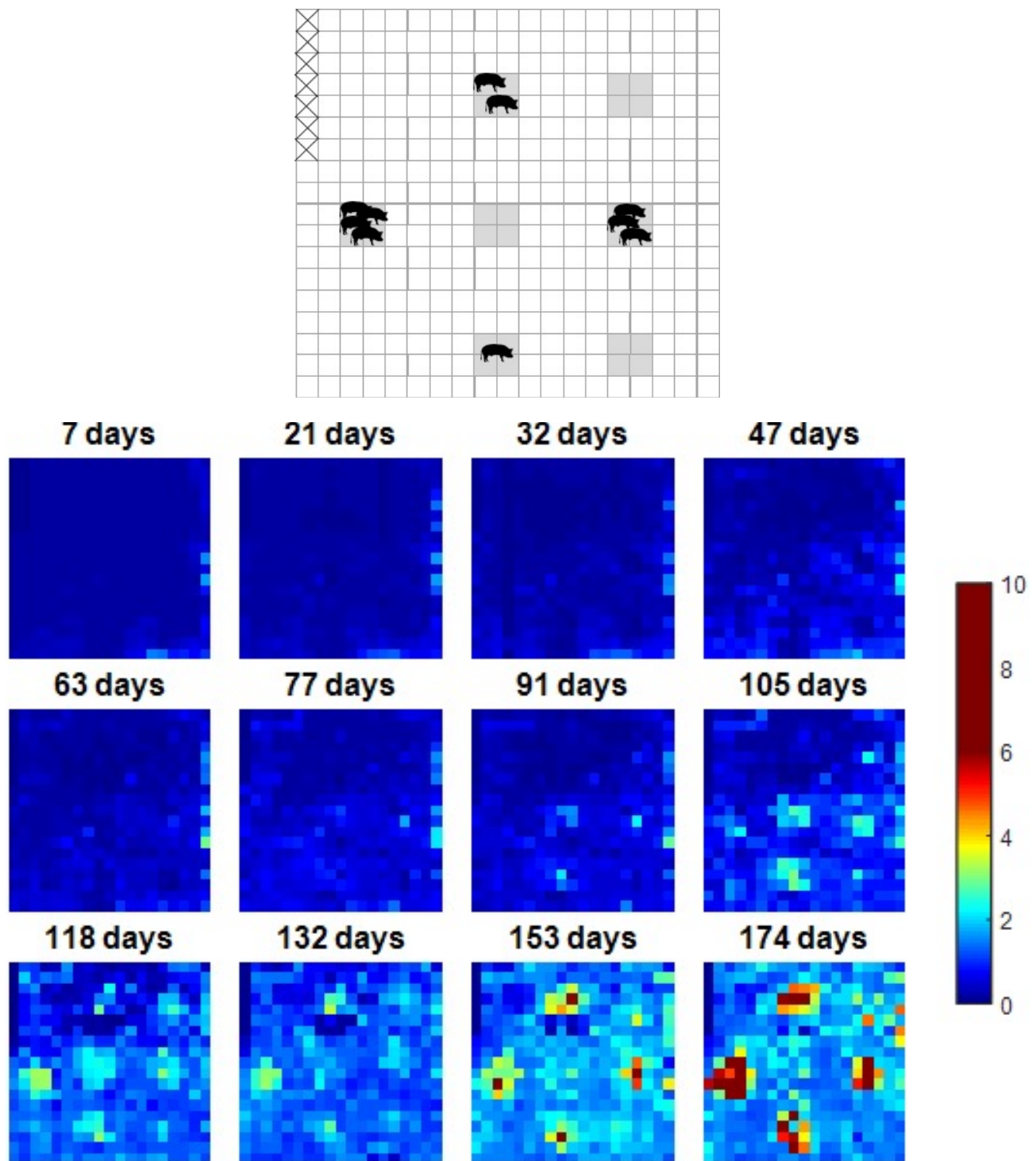


Figura 16. Arriba se muestra la distribución de cuerpos en el campo de pruebas descrito por Silván et al (2017). Abajo se muestran imágenes del índice RECI obtenidas a lo largo de 6 meses de monitoreo desde el entierro.

Los casos documentados en el uso de LiDAR para el estudio y descubrimientos de sitios arqueológicos son muchos y siguen en aumento. En contraste, el monitoreo de los cambios de la superficie del suelo debido a cuerpos enterrados es apenas incipiente. Un primer estudio conducido por un grupo de investigadores de la Universidad de Tennessee (Corcoran et al. 2018) empleó LiDAR terrestre para monitorear por un lapso de 21 meses la superficie de tumbas que contenían 0, 1, 3 y 6 cadáveres donados para investigación. El estudio demostró que al inicio del entierro existe una ganancia en la elevación respecto a la superficie pre-entierro, pero después de varios meses se observó una pérdida de elevación debido a la descomposición de los cuerpos y a la compactación de la tierra sobre éstos. Más aún, la subsidencia continuó hasta el final del período únicamente para las fosas con 3 y 6 cuerpos, por lo que los autores sugieren que la masa cadavérica y el tiempo son determinantes para poder observar el hundimiento por descomposición sin confusión. En otro estudio conducido por la Universidad Tecnológica de Sydney, Australia (Blau et al 2018), se empleó LiDAR aerotransportado para monitorear 6 fosas, tres de las cuales contenían 1, 3 y 6 cadáveres. Cuatro de las 6 fosas fueron aparentes al cabo del primer año, incluyendo algunas de control, pero la fosa de un solo cadáver no se pudo detectar. Nuevamente, se confirma que la cantidad de cuerpos en una fosa influye en su detección a partir del hundimiento del terreno.

El empleo de la fotogrametría para monitorear la forma del terreno es un área de oportunidad inexplorada. En principio, a partir del MDT se puede generar un modelo de luces y sombras, que no es otra cosa que una visualización de la superficie del terreno con un modelo de iluminación y reflexión de la luz (Batson, Edwards y Eliason, 1975). Un ángulo de elevación bajo de la fuente de iluminación resaltará las pequeñas variaciones en la elevación del terreno, permitiendo al observador detectar si existen hundimientos diferenciales atribuibles a entierros. Un ejemplo de modelo de luces y sombras se muestra en la Figura 17.

Recomendaciones

Hasta ahora, la evidencia científica disponible apunta a que la detección de las alteraciones del terreno por la creación de fosas es factible en fosas múltiples o en sitios

con estructuras prominentes enterradas. Se recomienda filtrar los puntos de terreno, eliminando la vegetación y posteriormente generar modelos digitales de terreno. Los rasgos de interés son hundimientos y montículos con tamaños de uno a seis metros de extensión. Para encontrarlos automáticamente se pueden generar curvas de nivel a cada 10 cm o menor y seleccionar las que cumplan con el tamaño requerido, eliminando las que estén contenidas dentro de otras seleccionadas. Si la elevación al interior de la curva es mayor que al exterior se trata de un montículo, de otra forma se trata de un pozo o hundimiento.

La desventaja principal de la fotogrametría es que no penetra la vegetación, por lo que se recomienda usar en sitios con suelo expuesto o donde la vegetación se presenta en manchones pequeños intercalados con suelo expuesto. Por otro lado, la efectividad del algoritmo depende en gran medida de que las fotografías presenten patrones localizados, no repetitivos, o de otra manera puede ser imposible encontrar los puntos comunes en el área de traslape de las fotos, lo cual suele ocurrir, por ejemplo, en matorrales densos o dunas costeras. A pesar de estas limitaciones, y por su bajo costo, los levantamientos fotogramétricos son altamente recomendables para la documentación de sitios de hallazgos ya que permite registrar el antes, durante y después de la intervención de un sitio en dos y tres dimensiones.

Termografía diferencial

Consiste en la toma de dos a más fotografías térmicas a lo largo del día para estudiar la tasa de calentamiento/enfriamiento de las superficies para detectar anomalías térmicas. Una termografía diferencial se calcula sustrayendo de una imagen térmica la toma previa y dividiendo entre el tiempo transcurrido entre las dos tomas. Hay al menos dos razones por las que el suelo suele calentarse o enfriarse con menor rapidez cuando hay cuerpos enterrados. El primero ocurre cuando se tiene un cuerpo que aún no se ha descompuesto totalmente y en el cual se tiene un contenido de agua significativamente mayor que el del suelo, en tal caso es de esperarse una mayor inercia térmica (tendencia a conservar su temperatura) donde se encuentra el cuerpo respecto al área circundante. Otro caso ocurre cuando tras la descomposición quedan espacios vacíos que actúan como aislante térmico de tal forma que

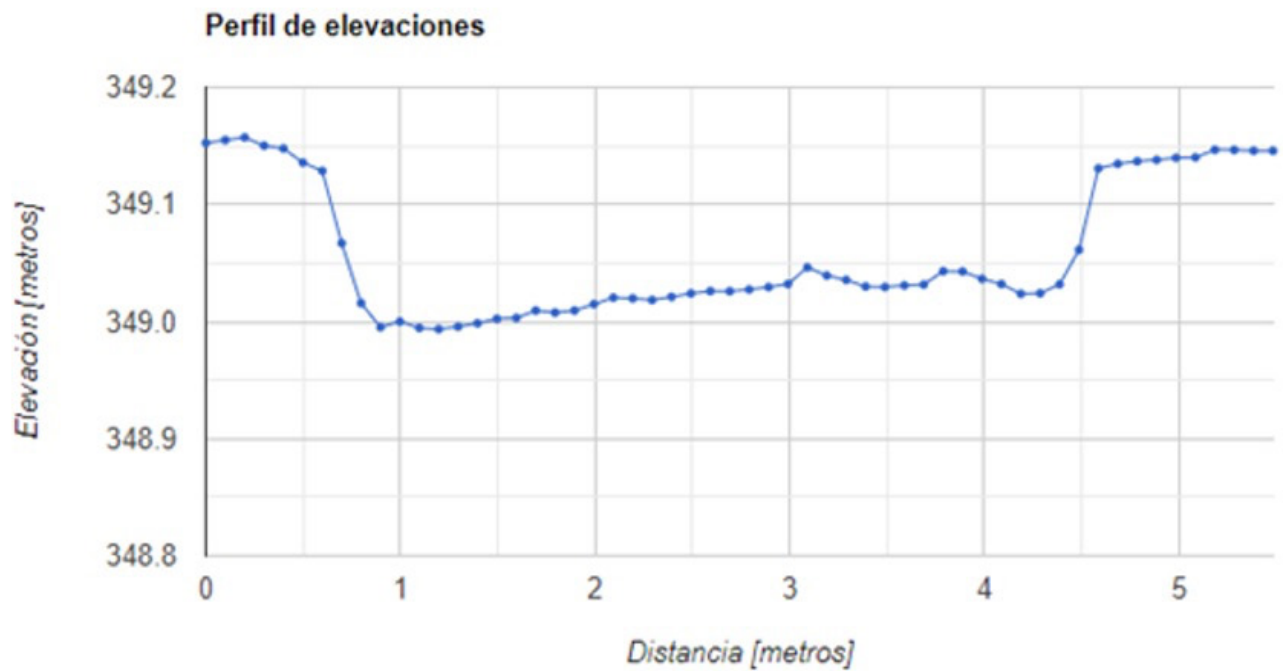
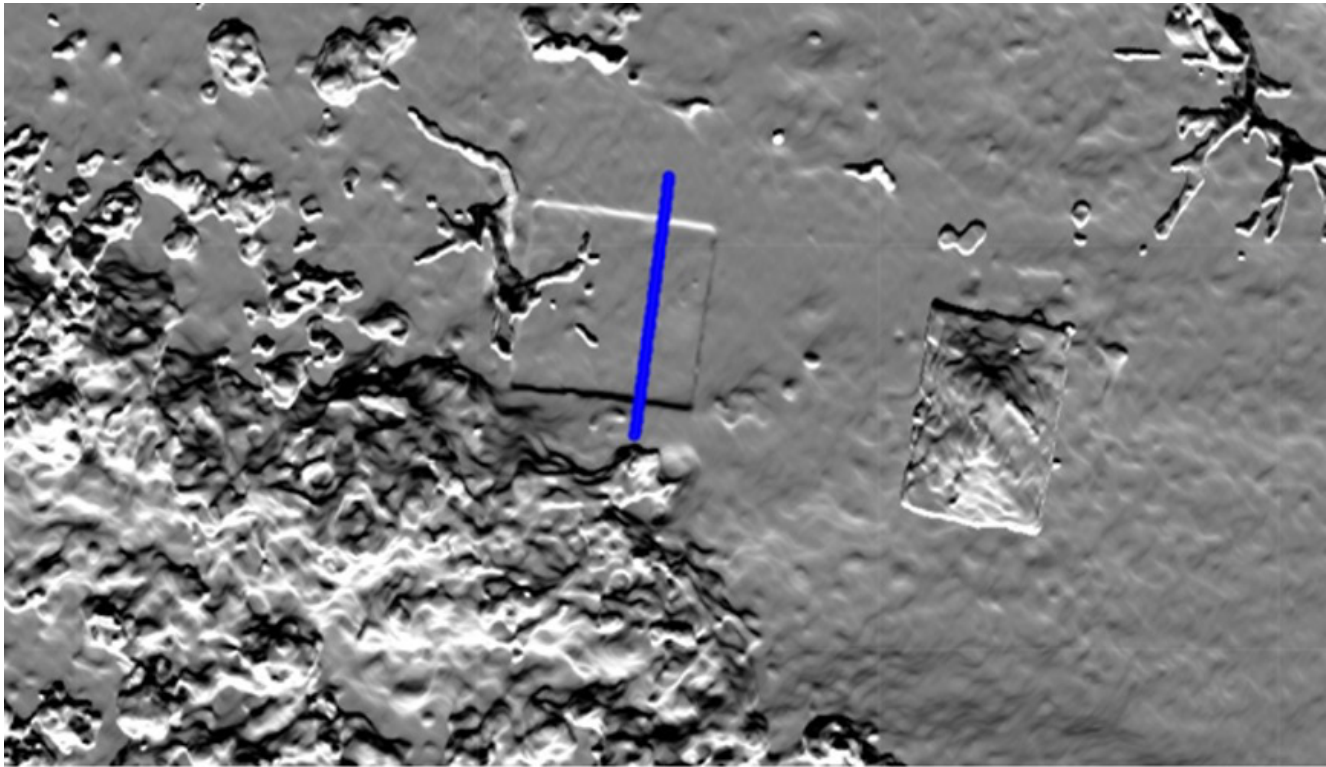


Figura 17. Arriba se muestra un modelo sombreado a partir del modelo digital de elevación generado mediante fotogrametría. Abajo se muestra un perfil del terreno sobre un área 4m x 4m por 10 cm de profundidad, donde arqueólogos forenses realizaron excavación.

dichas áreas se calientan más despacio con respecto al suelo circundante.

La caracterización de los patrones de calentamiento o enfriamiento del suelo requiere desde la toma de dos o más imágenes térmicas hasta la grabación de video térmico. Esto se realiza típicamente en las primeras horas después de la puesta de sol o poco antes del amanecer (Davenport, 2001). En su forma más simple, la tasa de calentamiento se puede calcular sustrayendo a una imagen diurna, una imagen nocturna. Esto requiere un geo registro apropiado de las imágenes, por lo que se deben emplear puntos de control. A diferencia de la fotografía RGB, en la fotografía térmica los puntos de control deben marcarse con un material de baja emisividad, pero al igual que en el caso de la fotogrametría RGB, las coordenadas de los puntos de control deben ser registradas con un GPS de precisión submétrica e incorporadas al flujo de procesamiento de las imágenes para su correcta georeferenciación.

Recomendaciones

Los sensores térmicos suelen ser más lentos que el CCD empleado en fotografía normal por lo que se recomienda un vuelo lento, de preferencia con paradas en cada toma. La orientación de la cámara debe ser totalmente vertical y con traslape entre 70-90% para reducir el ruido y las distorsiones geométricas en los productos finales. Para el marcaje de puntos de control se recomienda emplear placas de aluminio anguladas, colocadas en áreas abiertas, para que sean visibles desde varias posiciones de las tomas. Siempre que sea posible, realiza el primer vuelo aliza una toma en penumbra total, previo a la salida del sol.

Otras recomendaciones y comentarios finales

En cualquier actividad de búsqueda se requiere la conformación de grupos interdisciplinarios (Bunch et al. 2016; Somma et al. 2017), incluyendo uno o dos técnicos experimentados en la operación del dron o drones que se requieran operar. El apoyo de gabinete debe estar presente antes, durante y después del trabajo en campo. La eficacia de las técnicas presentadas en este capítulo depende en gran medida de las habilidades investigativas y técnicas de quienes las aplican, por lo

que es recomendable que dentro del apoyo de gabinete se cuente con especialistas en el análisis y manejo de información geoespacial.

Es de gran importancia y recomendable realizar un primer vuelo de dron que se integre a las reuniones de planeación con el objetivo de enfocar de una manera más efectiva los recursos en la búsqueda en campo.

La información recopilada en los SIG debe estar disponible y con visualizaciones consensuadas antes de salir a campo. Durante el trabajo de campo, la comunicación con el equipo de gabinete o centro de control es de vital importancia para la confirmación de puntos de acceso, para consultar salidas alternas en caso de topar con un “callejón sin salida” o para evitar extravío. Por todo ello, es importante contar con equipo de comunicación no sólo entre el personal de campo, sino también con el que se encuentre en gabinete.

Además del acompañamiento de equipo de gabinete, es de suma importancia la seguridad, sobretodo en contextos de conflicto, como es el caso actual de México, por lo que se debe contar con el acompañamiento de un equipo de seguridad conformado por autoridades federales en el lugar de búsqueda, idealmente se sugiere contar con ambos apoyos, tanto de las autoridades que brinden seguridad como del gabinete, este último, idealmente, debe contar con la información necesaria sobre la logística de la salida a campo, así como los contactos estratégicos en caso de emergencia.

El apoyo de gabinete debe continuar al regreso del trabajo en campo para recopilar, homologar y analizar la información que se haya recolectado. Como ya se ha mencionado, es muy importante que los SIG y los modelos prospectivos sean retroalimentados con la información recabada, ya que toda información y fotografías que se recaban en campo es información útil para hacer un acervo de información que pueda ser consultado y empleado posteriormente para el entrenamiento de los modelos a través de los cuales prospectar nuevos sitios de búsqueda.

Siempre que se confirme el hallazgo de una fosa es necesario atender los lineamientos emitidos por la Comisión Nacional de Búsqueda, tal como el Protocolo Homologado para la Búsqueda de Personas Desaparecidas y No Localizadas (CNB 2020), o de internacionales, como el Protocolo de Minnesota (Naciones Unidas 2016).

Bibliografía

- Batson, R. M., et al. "Computer-generated shaded-relief images." *Journal of Research US Geol. Survey*, vol. 3, no. 4, 1975, pp. 401-408.
- Blau, Soren, et al. "Exploring non-invasive approaches to assist in the detection of clandestine human burials: developing a way forward." *Forensic Sciences Research*, vol. 3, no. 4, 2018, pp. 320-342.
- Bunch, Ann W., et al. "Under Our Nose: The Use of GIS Technology and Case Notes to Focus Search Efforts." *Journal of Forensic Sciences*, 2016, pp. 1-7. doi: 10.1111/1556-4029.13218.
- Butters, Owyn, et al. "Application of forward-looking infrared (FLIR) imaging from an unmanned aerial platform in the search for decomposing remains." *Journal of Forensic Sciences*, 2020.
- Cabo, Luis L., et al. "Archaeology, Mass Graves, and Resolving Commingling Issues through Spatial Analysis." *A companion to Forensic Anthropology*, Dennis C. Dirkmaat, 2012, pp. 175-196.
- Chainey, Spencer, and Jerry Ratcliffe. *GIS and crime mapping*. John Wiley Sons, 2013.
- Comisión Nacional de Búsqueda. *Protocolo Homologado para la Búsqueda de Personas Desaparecidas y No Localizadas*. Ciudad de México, CNB, 2020. Accessed 2020.
- CONAFOR. "Lineamientos para Levantamientos Cartográficos Vía Sistema de Posicionamiento Global (GPS)." COMISIÓN NACIONAL FORESTAL, 2008, <https://es.scribd.com/doc/56836148/LineamientosLevantamientoCartografico-abril2008>. Accessed 13 noviembre 2020.
- Congram, Derek, et al. "Grave mapping in support of the search for missing persons in conflict contexts." *Forensic Science International*, 2017, pp. 260-268.
- Corcoran, Katie, et al. "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*, vol. 289, 2018, pp. 320-328.
- Corcoran, Katie A. *A characterization of human burial signatures using spectroscopy and LIDAR*. Knoxville, TN, The University of Tennessee, 2016.
- Davenport, G. Clark. "Remote sensing applications in forensic investigations." *{Historical Archaeology}*, vol. 35, no. 1, 2001, pp. 87-100.
- Daniels, Jeffrey (2000). *Ground Penetrating Radar Fundamentals*. doi. 10.4133/1.2921864
- Descalzi, Megan. *Detection of Larval Aggregations Using a Drone Mounted Thermal Imaging Camera*. Master Thesis ed., New Haven, University of New Haven, 2019, <https://digitalcommons.newhaven.edu/mastertheses/108>. Accessed 1 Octubre 2020.
- DesMarais, Angel M. "Detection of cadaveric remains by thermal imaging cameras." *Journal of Forensic Identification*, vol. 64, no. 5, 2014, pp. 489-510.
- Edelman, G., et al. "Infrared imaging of the crime scene: possibilities and pitfalls." *Journal of forensic sciences*, vol. 58, no. 5, 2013, pp. 1156-1162.
- Evers, Rykker, and Peter Masters. "The application of low-altitude near-infrared aerial photography for detecting clandestine burials using a UAV and low-cost unmodified digital camera." *Forensic science international*, vol. 289, 2018, pp. 408-418.
- Hunt, Jr, et al. "Remote sensing leaf chlorophyll content using a visible band index." *Agronomy journal*, vol. 103, no. 4, 2011, pp. 1090-1099.
- Kalacska, Margaret, and Lynn S. Bell. "Remote sensing as a tool for the detection of clandestine mass graves." *Canadian Society of Forensic Science Journal*, vol. 39, no. 1, 2006, pp. 1-13.
- Kalacska, Margaret E., et al. "The application of remote sensing for detecting mass graves: an experimental animal case study from Costa Rica." *Journal of forensic sciences*, vol. 54, no. 1, 2009, pp. 159-166.
- Khallaf, Ahmed, and Rowland Wyn Williams. "Post-mortem cooling of the human head: an infrared thermology study." *Journal of the Forensic Science Society*, vol. 31, no. 1, 1991, pp. 7-19.
- Kolpan, Katherine E., and Michael Warren. "Utilizing Geographic Information Systems (GIS) to analyze geographic and demographic patterns related to forensic case recovery locations in Florida." *Forensic Science International*, no. 287, 2017, pp. 67-74.
- Leblanc, G., et al. "Detection of single graves by airborne hyperspectral imaging." *Forensic science international*, vol. 245, 2014, pp. 17-23.
- Lee, Michael James. *Utilising aircraft mounted forward looking infrared radar to locate decomposing remains via the heat signature of*

- blowfly larval aggregations. Master Thesis ed., University of Western Australia, 2017, api.research-repository.uwa.edu.au. Accessed 12 Octubre 2020.
- Longley, Paul A., et al. *Geographic Information Systems and Science*. Wiley, 2005.
- Molina, Carlos Martín, et al. "Testing Application of Geographical Information Systems, Forensic Geomorphology and Electrical Resistivity Tomography to Investigate Clandestine Grave Sites in Colombia, South America." *Journal of Forensic Sciences*, 2019, pp. 1-8.
- Murray, Bryce, et al. "Survey and insights into unmanned aerial-vehicle-based detection and documentation of clandestine graves and human remains." *Human biology*, vol. 90, no. 1, 2018, pp. 45-61.
- Naciones Unidas. Derechos Humanos. Oficina del Alto Comisionado. Protocolo de Minnesota sobre la Investigación de Muertes Potencialmente Ilícitas. Ginebra, United Nations, Geneva, 2016. Naciones Unidas. Derechos Humanos. Oficina del Alto Comisionado, https://www.ohchr.org/Documents/Publications/MinnesotaProtocol_SP.pdf.
- Parrott, Elizabeth, et al. "A Low Cost Approach to Disturbed Soil Detection Using Low Altitude Digital Imagery from an Unmanned Aerial Vehicle." *Drones*, vol. 3, no. 2, 2019, p. 50.
- Ruotsala, Anni-Helena. *Detecting clandestine graves*. Finlandia, Aalto University, 2020.
- Shan, Jie, and Charles K. Toth. *Topographic laser ranging and scanning: principles and processing*. CRC press, 2018.
- Silván-Cárdenas, J. L., et al. "On the detectability of buried remains with hyperspectral measurements." *Mexican Conference on Pattern Recognition*, edited by J. Carrasco-Ochoa, et al., vol. 10267, Springer, Cham., 2017, pp. 201-212.
- Silván Cárdenas, José Luis. "Distribución Potencial de Fosas Clandestinas en Guerrero." 2020, <https://jsilvan.users.earthengine.app/view/distribucion-potencial-de-fosas-clandestinas>.
- Silván Cárdenas, José Luis, et al. "Potential distribution of clandestine graves in Guerrero using geospatial analysis and modelling." *Kalpa Publications in Computing*, vol. 13, 2019, pp. 21-28.
- Snirer, Eva. *Hyperspectral Remote Sensing of Individual Gravesites*. McGill University, 2013, https://central.bac-lac.gc.ca/.item?id=TC-QMM-121458op=pdfapp=Libraryoclc_number=880373116. Accessed 03 11 2020.
- Somma, Roberta, et al. "A GIS-based Quantitative Approach for the Search of Clandestine Graves, Italy." *Journal of Forensic Sciences*, 2017, pp. 1-17. doi: 10.1111/1556-4029.13677.
- van Iersel, M., et al. "Modelling a crime scene in 3D and adding thermal information." *Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications*, vol. VI, 2009, p. 74810M.
- Wehr, Aloysius, and Uwe Lohr. "Airborne laser scanning—an introduction and overview." *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, vol. 54, no. 2-3, 1999, pp. 68-82.
- Wisniewski, Kristopher D., et al. "Preliminary hand-held thermal imaging results of sequential monitoring of a simulated deceased individual on terrestrial ground." Preprint, 2020.

*Protocolos basados en evidencia para la búsqueda de
personas desaparecidas*

Se terminó de editar el 28 de abril de 2022, en el Laboratorio de Antropología y Odontología Forense (LAOF) de la Licenciatura en Ciencia Forense de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México, ubicado en el circuito de la investigación científica s/n, Ciudad universitaria, Coyoacán, Ciudad de México. La edición estuvo al cuidado de los autores.

Los Protocolos basados en evidencia para la búsqueda de personas desaparecidas son una contribución que la Licenciatura en Ciencia Forense (LCF) de la Facultad de Medicina de la UNAM publica como una acción de mitigación a la emergencia forense que vive México. Con una metodología reivindicativa de los modelos basados en evidencia (MBE) se genera una guía modular integrada, inicialmente, por cuatro protocolos para la praxis forense de la búsqueda de personas desaparecidas. Se propone entonces el concepto de ciencia forense basada en evidencia (CFBE) integrando: la mejor evidencia científica disponible, la experiencia de los peritos o investigadores y las preferencias o aportes de los familiares de desaparecidos. La LCF ha enfocado la presente publicación en revisión sistemática y análisis de la evidencia científica sobre cada protocolo incluido en la presente. Es así como esta versión se construye con una visión de filosofía de la praxis y como una herramienta de emancipación de la praxis forense, de profesionales, académicos y familiares de víctimas.

