

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v3i2.130>

Metodología interdisciplinaria para la búsqueda forense de cuerpos de personas desaparecidas dispuestas en contextos fluviales en Colombia

An Interdisciplinary Methodology for the Forensic Search for Missing Persons Disposed in Fluvial Environments in Colombia

Ana Guatame-García¹ (<https://orcid.org/0000-0002-4604-0775>), **Luz Adriana Pérez**¹ (<https://orcid.org/0000-0002-7773-0154>), **Jorge Escobar-Vargas**² (<https://orcid.org/0000-0003-4076-1173>), **Carlos del Cairo Hurtado**³ (<https://orcid.org/0000-0001-5968-9832>), **David Enrique Trujillo Osorio** (<https://orcid.org/0000-0002-7498-022X>), **Sergio A. Castiblanco-Ballesteros** (<https://orcid.org/0000-0002-5768-9545>), **Jesús Alberto Aldana Mendoza** (<https://orcid.org/0000-0003-4488-2490>), **Jonathan R. Chaves** (<https://orcid.org/0000-0002-7042-236X>), **Erica Andrea Castaño Osorio**, **Natalia Camacho Torres**, **Nathalie Chingate-Hernandez** (<https://orcid.org/0000-0001-7366-2193>), **Alexander Sabogal**
¹EQUITAS Colombia, ²Instituto Javeriano del Agua, ³Fundación Anfibia Colombia, acguatame@equitas.org.co
Colombia

Artículo recibido: 03 de octubre de 2022. Aceptado para publicación: 14 de octubre del 2022.
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia [Creative Commons](#) 

Como citar: Guatame-García, A., Pérez, L. A., Escobar Vargas, J., Hurtado, C. del C., Trujillo Osorio, D. E., Castiblanco Ballesteros, S. A., Aldana Mendoza, J. A., Chaves, J. R., Castaño Osorio, E. A., Camacho Torres, N., Chingate Hernandez, N., & Sabogal, A. (2022). Metodología interdisciplinaria para la búsqueda forense de cuerpos de personas desaparecidas dispuestas en contextos fluviales en Colombia. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 3(2), 691-708 <https://doi.org/10.56712/latam.v3i2.130>

Resumen

El ocultamiento de los cuerpos de personas desaparecidas por medio de su arrojado a ríos es un desafío para la investigación forense, la cual debe conducir a su búsqueda, recuperación e identificación. Dadas las complejidades de este entorno acuático, se hace necesario el desarrollo de estrategias innovadoras que desde un enfoque interdisciplinario permitan abordar cada una de las variables que intervienen en el proceso de traslado y depósito de los cuerpos, a fin de plantear estrategias de búsqueda y recuperación. Este artículo presenta los resultados de investigación de un proyecto desarrollado entre 2017 y 2021 en el río La Miel, departamento de Caldas, Colombia, en donde se combinaron metodologías y técnicas provenientes de la investigación social, la hidroinformática, la geografía física y la arqueología subacuática, para establecer áreas de interés forense en donde puedan desarrollarse acciones que conduzcan a la búsqueda y hallazgo de las personas desaparecidas. El resultado es una metodología para la búsqueda de personas en ríos de cinco pasos que incluye la definición y caracterización de las zonas potenciales de búsqueda, la construcción de modelos hidrodinámicos y de seguimiento de objetos flotantes, la delimitación de unidades geomorfológicas de interés forense (UGIF) y unidades mínimas de búsqueda (UMB), y el desarrollo de prospecciones subacuáticas no intrusivas.

Palabras clave: personas desaparecidas, búsqueda acuática, ciencias forenses, metodologías interdisciplinarias, contextos fluviales

Abstract

The concealment of bodies of missing persons by dumping them in rivers is a challenge for forensic investigators, who are focused on the search, recovery and identification of these persons. Given the complexities of this aquatic environment, it is important to design innovative search and recovery strategies using an interdisciplinary approach that address each of the variables involved in the process of transferring and depositing the bodies. This article presents the results of a research project carried out between 2017 and 2021 in La Miel river, located in the department of Caldas, Colombia. The study combined methodologies and techniques from social research, hydroinformatics, physical geography and underwater archaeology to identify areas of forensic interest where actions can be undertaken that lead to the search and location of missing persons. The research team developed a five-step methodology when searching for missing persons in rivers that includes: the definition and characterization of potential search areas; the construction of hydrodynamic and floating objects tracking models; the delimitation of geomorphological units of forensic interest (GUF) and minimum search units (MSU); and conducting non-intrusive underwater surveys

Keywords: missing persons, aquatic search, forensic sciences, interdisciplinary methodologies, fluvial contexts

METODOLOGÍA INTERDISCIPLINARIA PARA LA BÚSQUDA FORENSE DE CUERPOS DE PERSONAS DESAPARECIDAS DISPUESTAS EN CONTEXTOS FLUVIALES EN COLOMBIA

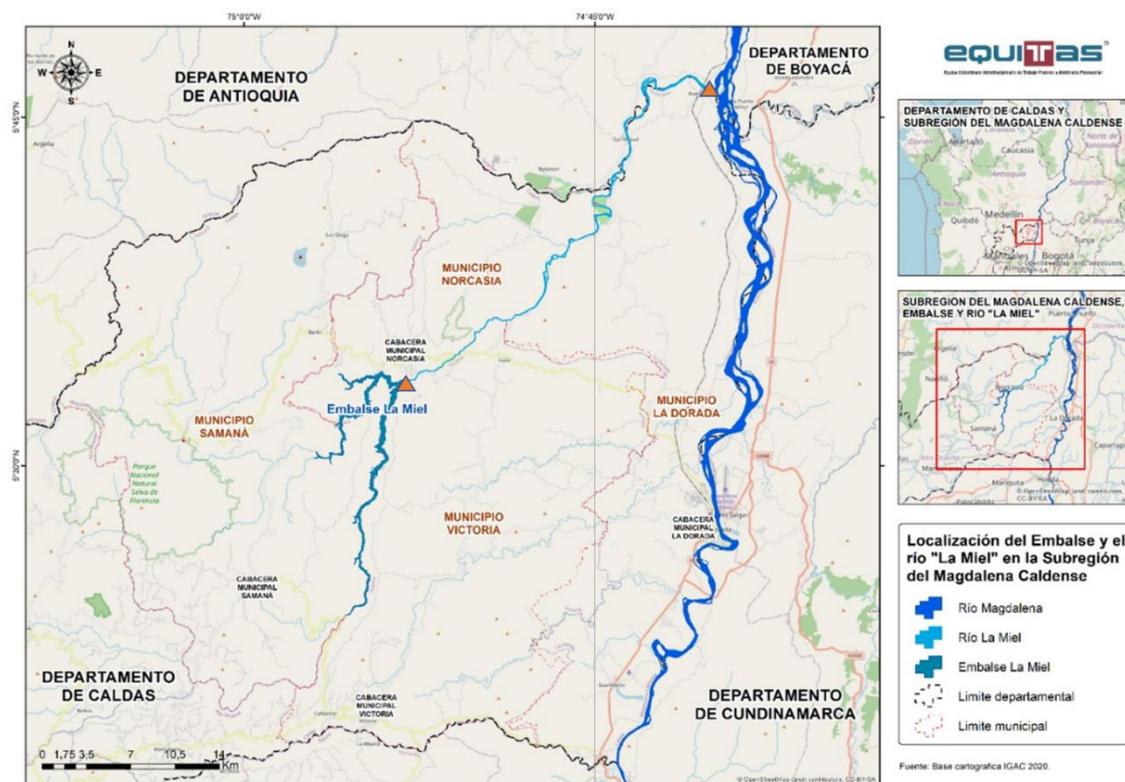
En Colombia, la desaparición de personas ocurrida en el contexto del conflicto armado y de la violencia sociopolítica implica grandes retos en materia de investigación, ya que el proceso incluye establecer el paradero de la víctima, y en caso de fallecimiento, recuperar el cuerpo. De acuerdo con el informe de la Comisión para el Esclarecimiento de la Verdad, al menos 121.768 personas fueron desaparecidas forzosamente en el país entre 1985 y 2016 (Comisión de la Verdad Colombia, 2022). En los casos en los que las investigaciones han determinado que la persona desaparecida también fue asesinada, los cuerpos fueron depositados en fosas clandestinas, cementerios, ríos, hornos crematorios, entre otros (Centro Nacional de Memoria Histórica, 2018), por lo que los escenarios de búsqueda pueden ser tan diversos como los paisajes que existen en el territorio colombiano.

El contexto fluvial es uno de los escenarios más complejos para la búsqueda y recuperación de los cuerpos dado que el agua genera condiciones adversas para la localización relacionadas con factores intrínsecos y extrínsecos (Camacho et al., 2020) que derivan en el transporte de los elementos y provocan alteraciones tafonómicas que dan lugar a la pérdida de elementos asociados y tejidos corporales fundamentales para los procesos de análisis forense (Evans, 2021). Si bien la inquietud por la búsqueda de personas desaparecidas dispuestas en corrientes de agua no es una preocupación reciente ya que se conocen estudios desde la década de los 80 tanto el ámbito específicamente forense como de otras disciplinas afines, conducentes a entender los procesos de transporte, descomposición, alteración y depósitos de cuerpos o restos óseos (Bassett & Manhein, 2002; Behrensmeyer, 1982; Boaz & Behrensmeyer, 1976; Dilen, 1984; Ebbesmeyer & Haglund, 1994; Guatame-García, 2007; Lunetta et al., 2014; Nawrocki et al., 1997; Pokines et al., 2018), en Colombia no se han realizado investigaciones que permitan entender los contextos acuáticos en los que se han depositado los cuerpos de las víctimas y a evaluar desde una perspectiva científica su potencial de búsqueda y hallazgo.

Es así como el Centro Forense EQUITAS ha liderado desde el año 2017 un macroproyecto de investigación interdisciplinaria e interinstitucional en el que se han vinculado centros de investigación universitarios e independientes, para el desarrollo de metodologías de búsqueda que permitan dar respuesta a los familiares de las víctimas sobre las posibilidades de trabajo en estos escenarios. Este manuscrito presenta los resultados del proceso de investigación adelantado en el marco de las acciones contempladas en la propuesta de Plan regional integral de búsqueda de las personas desaparecidas en la región del Magdalena Caldense (EQUITAS et al., 2020), especialmente en referencia a las desapariciones asociadas al río La Miel en el tramo comprendido entre el sector “la fuga” ubicado aguas abajo de la represa Hidromiel, y la desembocadura de este afluente en el río Magdalena (Figura 1). Su objetivo fue desarrollar una metodología interdisciplinaria y construir herramientas que faciliten el proceso de búsqueda de personas desaparecidas en ríos que puedan ser aplicadas por organismos del orden gubernamental y privado que requieran implementar acciones concretas de búsqueda en lugares en donde haya reportes de personas desaparecidas que fueron arrojadas a ríos.

Figura 1

Mapa del tramo de estudio. Los triángulos indican los límites del transecto ubicados entre el embalse Hidromiel (municipio de Norcasia) y la desembocadura del río La Miel en el río Magdalena (municipios La Dorada-San Miguel)



MÉTODO

Esta investigación se planteó desde una perspectiva experimental que vinculó personal experto en el campo de la investigación forense, hidrodinámica, geográfica y arqueológica, y se desarrolló a través de tres componentes: 1) la consolidación y análisis de información de personas desaparecidas cuyo escenario de disposición fuera el río; 2) la comprensión de las dinámicas físicas del río que contribuyen al transporte y depósito de los cuerpos en áreas a lo largo del cauce; y 3) la valoración de métodos y técnicas de la arqueología subacuática que permiten entender la formación de los sitios de depósito y su consecuente localización por medio de tecnologías de sensoramiento remoto.

Componente 1. Consolidación y análisis de información de personas desaparecidas arrojadas al río

Este componente consistió en la selección, depuración, normalización y codificación de información primaria y secundaria para identificar las desapariciones asociadas a disposición en ríos, así como la información de contexto relevante para la búsqueda. Se consultaron 187 entrevistas antemortem realizadas a familiares de personas desaparecidas¹; talleres de cartografía participativa adelantados con comunidades de donde se obtuvo información sobre sitios de disposición de cuerpos, lugares asociados a la actuación criminal, y características del paisaje; y finalmente, bases de datos del Observatorio de Memoria y Conflicto del Centro Nacional de Memoria Histórica (CNMH) y el Registro de Solicitudes de Búsqueda de la Unidad de Búsqueda de personas dadas por Desaparecidas (UBPD)².

Esta información fue normalizada y codificada en una base de datos geográfica construida bajo un modelo conceptual que incorpora variables específicas de interés para la búsqueda en ríos. En el caso de la información primaria de entrevistas y talleres de cartografía, esta fue revisada manualmente e introducida en el esquema de datos. En el caso de las bases de datos, se realizó una búsqueda automática por palabras clave a través de un algoritmo desarrollado en el programa R (R Core Team, 2018) para identificar los casos posiblemente asociados a una disposición en ríos. Estos casos fueron revisados manualmente con el fin de excluir aquellos que no presentaban ninguna relación con disposición de la víctima en cuerpos de agua. La base de datos geográfica final fue procesada y visualizada con los softwares ArcGIS® y QGIS.

Componente 2. Modelación hidrodinámica, hidrológica y análisis geomorfológico

Este componente inició con la caracterización de unos tramos del río La Miel, de la cual se obtuvieron los insumos para la construcción de un modelo numérico usado para simular la dinámica del agua en dichas secciones. El ejercicio de modelación permitió identificar la distribución de velocidades al interior del río, y por lo tanto, las zonas en donde hay mayor y menor capacidad de arrastre; estas últimas corresponden a las zonas con mayor potencial de acumulación o estancamiento. Este modelo se complementó con un módulo de transporte de objetos flotantes que permitió establecer la trayectoria de los cuerpos o fragmentos de cuerpos, y las zonas con mayor frecuencia de acumulación. Este modelo se complementó con un ejercicio de modelación y análisis hidrológico que permitió construir escenarios en los que un cuerpo pudo ser arrastrado por el río en el pasado.

Para el desarrollo de la caracterización hídrica de los tramos de estudio, se realizó la georreferenciación de los accidentes hidráulicos presentes en el tramo de estudio (remansos, moyas y chorros), se hicieron levantamientos topobatimétricos, aforos de caudal líquido, determinación de la altura y pendiente de la superficie libre del agua, y se realizó una primera jornada de seguimiento de la trayectoria de dummies que representaban el cuerpo de un individuo.

¹ Estas entrevistas fueron realizadas entre 2017 y 2019 en el marco de proyectos adelantados por La Fundación para el desarrollo comunitario de Samaná -FUNDECOS-, el Centro de Estudios sobre Conflicto, Violencia y Convivencia social -CEDAT- y EQUITAS (EQUITAS; FUNDECOS; CEDAT, 2020). Esta información fue aportada por la UBPD bajo estrictos protocolos de anonimización y confidencialidad

² Esta información fue aportada por la UBPD bajo estrictos protocolos de anonimización y confidencialidad.

La georreferenciación de los accidentes hidráulicos realizada en campo se complementó con imágenes satelitales y el conocimiento experto de los habitantes de la zona. Para el levantamiento topobatimétrico, aforos de caudal líquido y altura de la superficie libre del agua, se utilizó una ecosonda monohaz articulada a medidas de precisión topográfica tomadas con un dispositivo GNSS de tipo RTK; un perfilador acústico de corrientes (ADCP); aerofotografías propias tomadas con dron, e imágenes satelitales y aerofotografías históricas obtenidas de portales públicos de información (Figura 2). Adicionalmente se desarrolló un modelo computacional para un análisis no supervisado de imágenes satelitales para establecer el ángulo de deflexión, ancho y abscisado del río a fin de identificar los accidentes hidráulicos previo al desarrollo de las actividades de campo.

El modelo matemático para simular el movimiento del agua en los tramos del río se basó en los principios fundamentales de conservación de masa y de momentum lineal, simplificados en las Ecuaciones de Aguas Someras (Kundu et al., 2016). Estas ecuaciones permiten analizar el flujo en la dimensión horizontal (bidimensional) y resuelven el flujo promediado en la vertical bajo una suposición de presión hidrostática. Para incluir los efectos de la fricción con el lecho del río se utilizó el coeficiente de fricción de Manning (Hervouet, 2007).

Figura 2

Proceso de levantamiento de información batimétrica con ecosonda



Para identificar los patrones de transporte de los cuerpos se implementó la metodología de seguimiento de partículas (particle tracking), que consiste en seguir la trayectoria de un objeto depositado en el agua y registrar las velocidades de transporte y las trayectorias descritas (Hervouet, 2007). Se realizaron ensayos en campo con 2 tipos de modelos físicos, el primero, un maniquí de madera con una longitud aproximada de 1.45 m y un peso seco de 45,57 Kg, y el segundo, un maniquí de salvamento acuático con un peso seco de 40 Kg. Estos modelos se arrojaron en puntos específicos del río asociados a sitios de presunta disposición de cuerpos de personas desaparecidas, y se monitorearon haciendo uso de un navegador GPS y un dron para obtener los datos base para el análisis de velocimetría de imagen de partículas. Estos resultados fueron empleados para verificar que los resultados del modelo representaban correctamente el transporte de objetos en el río.

Por su parte, para la modelación hidrológica se consideraron variables hidroclimatológicas multitemporales disponibles en la Base de datos Hidrometeorológicos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), datos satelitales sobre precipitación, información sobre evotranspiración y condiciones geomorfológicas de las subcuencas asociadas al área de estudio. Esta información permitió establecer la relación entre las medidas de precipitación y el caudal del río, y por lo tanto, aportar información de su comportamiento en épocas anteriores.

Componente 3. Arqueología experimental para el monitoreo de formación de un sitio antrópico sumergido de interés forense

Esta etapa consistió en el desarrollo de un ejercicio experimental que se basó en el reconocimiento de las afectaciones que experimenta el cadáver en las etapas de flotación y re-suspensión, concentrándose en la situación de hundimiento en el medio fluvial y la posible formación de un sitio antrópico.

El experimento consistió en el seguimiento y documentación del proceso de transformación y depósito de 3 biomodelos porcinos (*Sus scrofa*) en diferentes estados de descomposición y con variaciones en la distribución de las lesiones y presencia de artefactos asociados que simularan las condiciones de arrojado de personas al río. Se estableció como supuesto que la manera de muerte fuera violenta-homicida ocurrida en el exterior del medio acuático, por lo que la descomposición y transformación cadavérica inició previo al ingreso al agua, en un marco aproximado de seis horas entre muerte e ingreso al río.

Los biomodelos 1 y 2 fueron un macho y una hembra de un peso aproximado de 40 kg de 5 meses de edad que fueron sometidos a eutanasia previo a la inmersión de acuerdo con lo establecido por la Resolución No. 8430 de 1993. El biomodelo 3 fue obtenido después de su sacrificio y dejado en condiciones ambiente para iniciar su proceso de descomposición en tierra.

Previo al depósito de los biomodelos en el agua se realizó una caracterización subacuática no intrusiva del área de estudio por medio de una Ecosonda Humminbird Side Imaging DualBeam, con el objetivo de determinar las principales características del lecho del río en función de los elementos naturales o antrópicos depositados (troncos, rocas, etc.), la fauna y flora, y las variaciones del fondo acuático. Teniendo en cuenta esta información, se estableció un polígono de estudio en el sector referido, con un área de 10 x 5 mts, con una profundidad máxima de 2 mts. Los límites del polígono fueron demarcados y georreferenciados con 6 lastres de concreto de 50kgs que fueron depositados en el fondo del lecho, y observados en superficie con boyas. Estos bloques sirvieron como puntos de control para triangular las mediciones de los desplazamientos de los biomodelos.

Los tres biomodelos se depositaron de forma controlada dentro del polígono y anclados a los lastres; adicionalmente se dispuso una malla de control sobre la zona para evitar su desplazamiento fuera del área de observación. El seguimiento de los biomodelos sumergidos se realizó durante 27 días durante los cuales se documentaron sus movimientos, transformaciones e interacción con el medio acuático por medio de inmersiones de una cámara de video GoPro y prospecciones subacuáticas por medio de transectos paralelos con la ecosonda, usando frecuencias de 455 y 800 kHz. En algunas ocasiones se realizaron inmersiones de buzos para confirmar la información obtenida por los otros medios. Esta información fue sistematizada en fichas de registro, y la posición de los biomodelos procesada por medio del software SiteRecorder, usado para levantamientos planimétricos subacuáticos. Durante las primeras 48 horas de inmersión este seguimiento se realizó cada 4 a 6 horas.

RESULTADOS

Componente 1

La revisión de fuentes permitió referir 51 personas cuyo relato de desaparición indica que el cuerpo fue dispuesto en los ríos Tenerife, Samaná, Manso y La Miel, todos ubicados en la región de estudio. Para el río La Miel se identificaron 13 casos. La construcción del sistema de información geográfica incluyó la georreferenciación de puntos asociados a la "ruta de desaparición" de las personas. Se obtuvieron coordenadas concretas de 3 lugares disposición, mientras que en 8 casos se aproximó la coordenada de acuerdo con la información contextual recopilada. Esta información fue utilizada para definir el área para la modelación hidrodinámica.

Componente 2

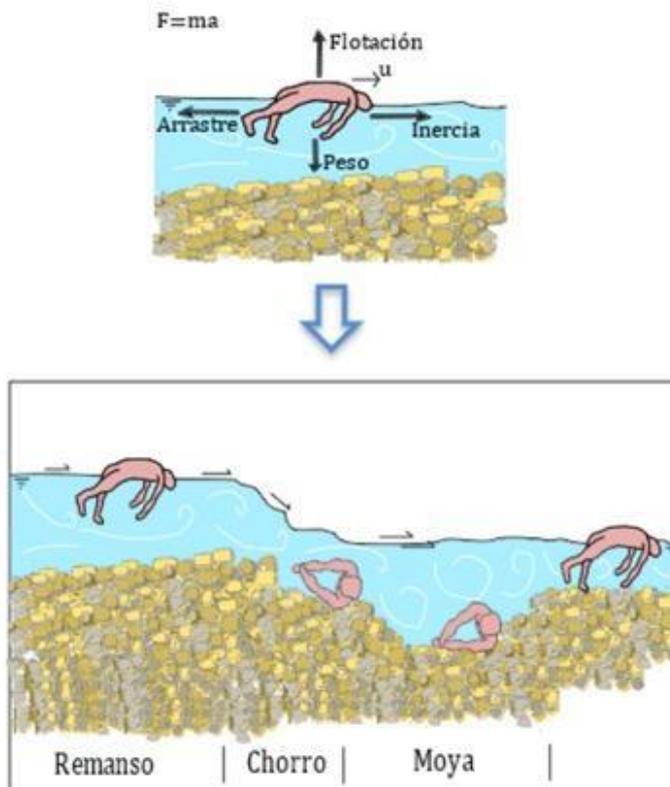
El reconocimiento inicial del río permitió identificar tres tipos de accidentes hidráulicos que obedecen a cambios geomorfológicos asociados al relieve del fondo y bordes del río, que afectan la dirección y velocidad del agua, dando lugar a zonas de depósito o transporte de cuerpos flotantes o sumergidos. Estos accidentes hidráulicos son: remansos que se caracterizan por su baja o nula velocidad asociados a poca pendiente o a la presencia de elementos de control hidráulico; chorros o rápidos en donde hay un aumento de velocidad por cambios en la profundidad, pendiente, ancho o cambios en la dirección o bifurcación del río; y mojas, zonas de recirculación o remolinos, en donde se evidencian vórtices producidos por un cambio en la dirección de la velocidad como resultado de los gradientes de velocidad, y cambios bruscos en el lecho. Tanto las zonas de remanso como las zonas de mojas son aquellas en donde los cuerpos pueden experimentar mayores posibilidades de atrapamiento o disminución de su velocidad, lo que conduciría a su depósito o recuperación por parte de los pobladores de las riberas. Dado que estas áreas se convierten en zonas potenciales de búsqueda, fueron denominadas Unidades Geomorfológicas de Interés Forense (UGIF).

La identificación automática de UGIF se dio a través del análisis de imágenes satelitales disponibles en bases de datos abiertas, mediante el uso de herramientas estadísticas y de inteligencia artificial, que permitieron la correcta clasificación de UGIF y no UGIF. Este ejercicio, que se hizo con de más de 600 secciones del río analizadas, arrojó que en el 88% de los casos el algoritmo acertaba con la clasificación de los accidentes

Para la estimación de trayectorias aproximadas de las partículas en el río (proxy de cuerpos humanos) se consideró el análisis de las fuerzas libres de flotación, peso del objeto, inercia y arrastre observadas en los experimentos en campo que fueron respresentadas en un modelo conceptual (Figura 3). Adicionalmente, se tuvieron en cuenta los datos de caudal, topografía, batimetría y pendiente de la lámina de agua. Esta información fue introducida en un modelo numérico hidrodinámico que fue calibrado para que sus resultados coincidieran con los datos reales medidos en campo. Una vez se calibró el modelo se procedió a activar el módulo de transporte de partículas y se hicieron comparaciones de su trayectoria con respecto a las trayectorias de los dummies observadas en campo. Después de un ejercicio de ajuste, se logró replicar la tendencia de la trayectoria medida con los ejercicios de transporte de partículas, con lo cual se tuvo certeza de que el modelo representaba la tendencia medida.

Figura 3

Modelo conceptual de fuerzas libres que actúan sobre el cuerpo dispuesto del agua y movimientos experimentados por los cuerpos en los diferentes accidentes hidráulicos

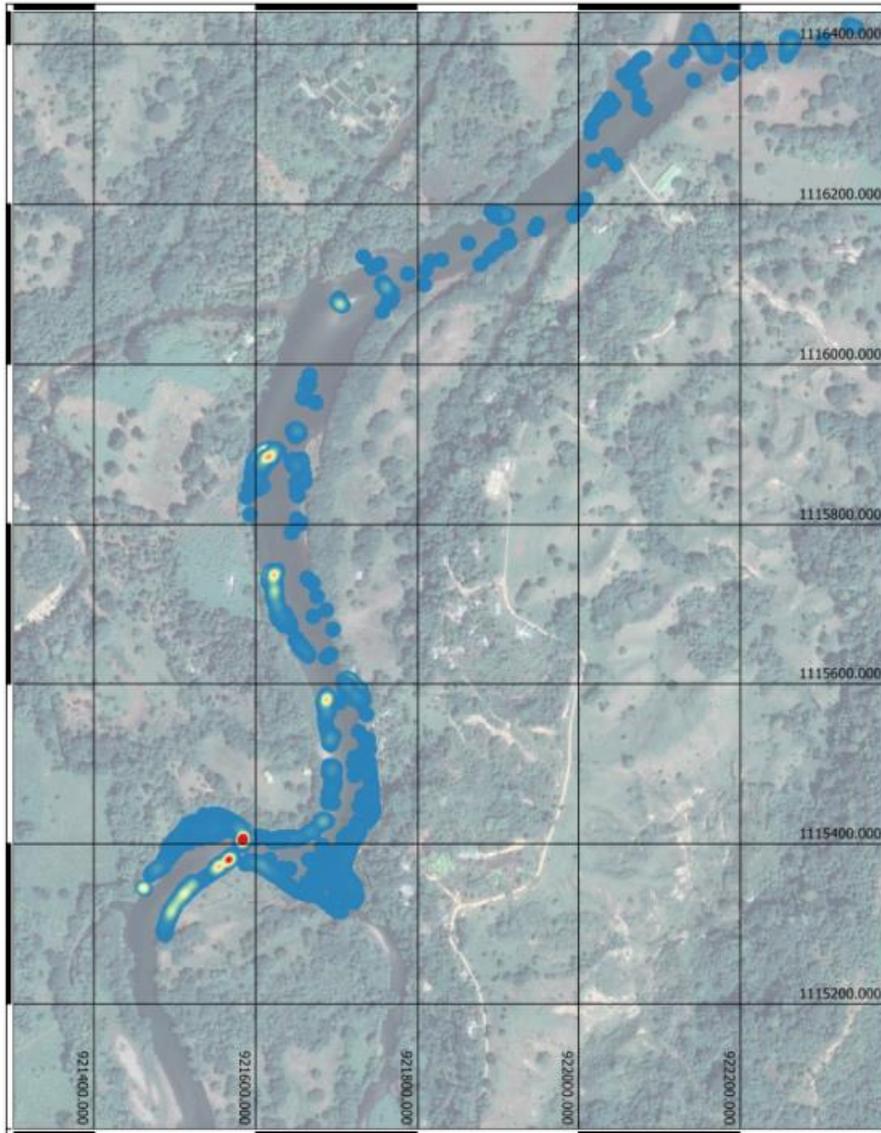


Teniendo en cuenta que las desapariciones de las que se tiene reporte de disposición en el río ocurrieron en el pasado, fue necesario hacer un análisis hidrológico que permitiera saber el régimen y condiciones de caudal y nivel que tuvo el río en el momento de los hechos. Este ejercicio permitió identificar las dinámicas de precipitación intra anuales y sus variaciones asociadas a fenómenos meteorológicos, identificando dos temporadas húmedas y dos épocas de verano en el año. Los análisis permitieron establecer las variaciones asociadas al efecto ENOS (fenómeno de “El Niño”), y la variación en caudales máximo y mínimos en periodos previos y posteriores al momento de construcción de la represa, evidenciando su influencia en la regulación del régimen del caudal.

A partir de estos escenarios hidrológicos se construyeron modelos hidrodinámicos que representaron la dinámica del río en el pasado. Para cada escenario se modeló computacionalmente el transporte de 10.000 partículas en los tramos de río de interés, con el fin de establecer las zonas con mayor frecuencia de atrapamiento. Esto resultó en la construcción de mapas de calor que indican áreas de priorización para la búsqueda (Figura 4)

Figura 4

Mapa de calor para el subsector Moya de Jorge – Moya de Lucrecia. Las áreas azules son las de menor atrapamiento y las zonas amarillas – rojas las de mayor atrapamiento, indicando mayores probabilidades de depósito de cuerpos

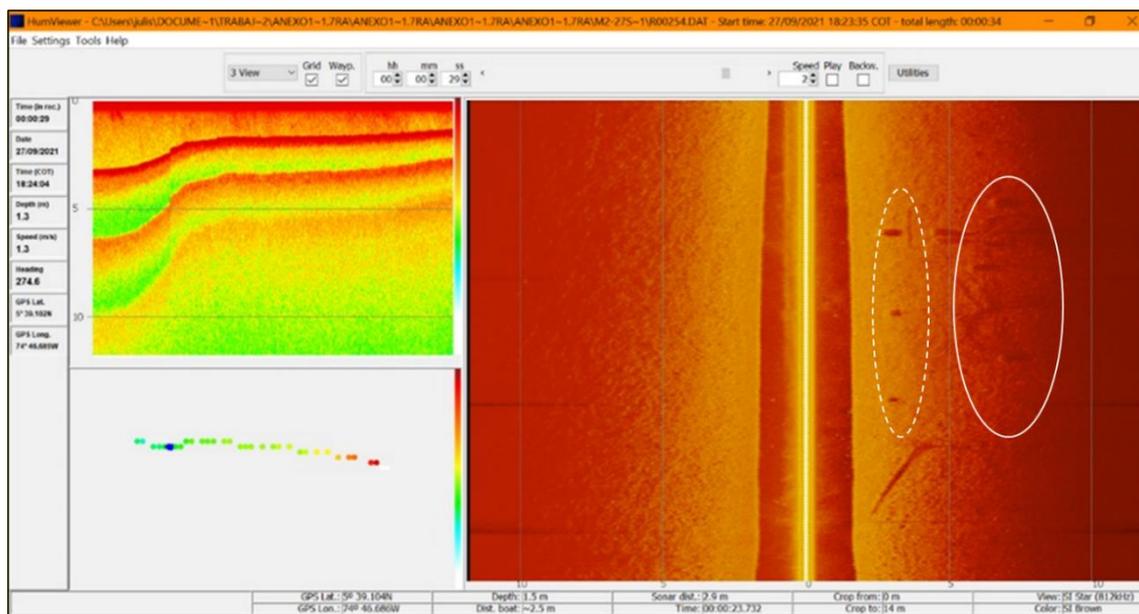


Componente 3

Una vez los 3 biomodelos fueron sumergidos se observaron diferencias sustanciales en su comportamiento. En relación con su ubicación en la columna de agua, el biomodelo 1 y el tronco del biomodelo 2 experimentaron una flotación positiva reforzada por la acumulación de gases intestinales, manteniéndose muy cerca de la superficie del agua, mientras que los fragmentos del biomodelo 3 y fragmentos restantes del biomodelo 2 describieron una flotación negativa, depositándose sobre el lecho. Estas ubicaciones verticales se mantuvieron constantes durante los primeros 15 días de observación. Se evidenció un ataque de fauna acuática (peces) sobre los segmentos descompuestos del biomodelo 3 y las zonas de sangrado de los biomodelos 1 y 2. En el caso de los biomodelos 2 y 3 la presencia de fauna contribuyó sustancialmente al desplazamiento horizontal de los fragmentos, algunos de los cuales fueron transportados fuera de la zona de observación y su destino final no pudo ser determinado. La posición de los fragmentos al interior del área de observación fue establecida por su asociación con anomalías identificadas en las imágenes generadas con el ecosonda, teniendo como puntos de referencia los anclajes en cemento (Figura 5).

Figura 5

Imágenes remotas tomadas con ecosonda Side Imaging. La línea punteada señala la sombra generada por 3 anclajes de cemento previamente georreferenciados. La Línea continua indica las anomalías correspondientes a los biomodelos dispuestos en el área de estudio



Entre los días 1 y 5 del experimento, el biomodelo 1 presentó un proceso de descomposición lento, lo que generó cierta estabilidad del cuerpo en materia de volumen y localización en la columna de agua. Entre los días 6 y 7 se observó un proceso de aceleración de la descomposición que atrajo fauna carroñera, lo que se reflejó en las observaciones con la ecosonda, en donde las anomalías se empezaron a percibir cada vez con menor tamaño y formas más distorsionadas.

El tronco del biomodelo 2 siguió el mismo patrón del biomodelo 1 aunque un poco más acelerado, dado que tenía mayor número de zonas expuestas para el ataque de la fauna local. Una vez agotados los tejidos blandos se inició un periodo de estabilización debido a la falta de interés por parte de fauna local en los restos óseos.

Tras los primeros 15 días se inició la desarticulación del biomodelo 1, iniciando con el desprendimiento de la cabeza; y posteriormente de las extremidades. Una vez estos fragmentos se desarticularon fueron arrastrados por la corriente fuera del área de observación, por lo cual las imágenes con la ecosonda reflejaron sólo la ubicación de los anclajes de cemento. Durante los días posteriores se amplió la zona de barrido a fin de localizar los fragmentos transportados, con resultados negativos. En el caso del biomodelo 3, la ecosonda no logró captar la localización de los fragmentos debido a su tamaño.

Durante toda la temporada de observación se presentaron intensas lluvias, lo que produjo aumentos repentinos y sustanciales del caudal del río, lo que dificultó durante algunos días el seguimiento de los biomodelos dada la imposibilidad de sumergir la cámara y tener una visibilidad adecuada por el aumento de la turbidez del agua, así como hacer inmersiones con buceo. El experimento de campo finalizó una vez todos los biomodelos fueron trasladados fuera del área de estudio y no fue posible su rastreo en el cauce del río.

DISCUSIÓN

Todo proceso de investigación para la búsqueda de personas desaparecidas debe iniciar con el establecimiento de quiénes son las personas buscadas y las circunstancias alrededor de la desaparición (Comisión de búsqueda de personas desaparecidas, 2007). En este sentido, la compilación de información de diferentes fuentes y su transformación en una base de datos geográfica mostró ser de gran utilidad para delimitar tramos de interés para la búsqueda a lo largo del río, establecer el marco temporal de las desapariciones, y tener una línea de base frente a la cantidad de personas desaparecidas; esto permite racionalizar los esfuerzos de búsqueda al orientar el análisis sobre áreas específicas. No obstante, la información registrada en bases de datos aportó pocos datos, por lo que es preciso que las personas que participan de su construcción profundicen en aspectos asociados a la descripción detallada del lugar de los hechos, y que el proceso de documentación se apoye en mapas, bosquejos, y otras ayudas cartográficas que permitan afinar la ubicación de los cuerpos de agua, sectores, referencias del paisaje, puntos de desaparición o de posible destino de las personas desaparecidas.

Los casos en donde no se contó con dicha información se designaron preliminarmente como casos complejos, en donde la estrategia complementaria para el abordaje de estos casos considera la ampliación de documentación, mediante la consulta a casos que puedan compartir elementos del contexto de desaparición asociados a la ruta de desaparición y al modus operandi del presunto perpetrador.

Las modelaciones hidráulica e hidrológica permitieron realizar ejercicios teóricos de simulación de la disposición de una partícula desde cientos o miles de puntos diferentes del río y en diferentes momentos o bajo diferentes escenarios de caudal. Como resultado, se cuenta con un mapa de calor que indica los posibles sitios en donde los cuerpos se estancan o en donde se generan patrones de recirculación, los cuales son puntos de referencia para la definición de áreas de búsqueda que tendrán que ser intervenidas con técnicas arqueológicas subacuáticas como las utilizadas durante el ejercicio experimental de prospección no intrusiva y verificación con buceo.

Por otro lado, si bien los patrones de transporte modelados no reflejan exactamente las trayectorias de los dummies observadas en campo, sí representan las tendencias de transporte. Por tanto, la utilidad de esta aproximación radica en la posibilidad de “arrojar” cuerpos/partículas en el modelo numérico desde cientos o miles de puntos diferentes, en diferentes momentos, o bajo diferentes escenarios de caudal. En consecuencia, la aplicación del modelo permite identificar los posibles sitios en donde los cuerpos se estancan o en donde se generan patrones de recirculación marcados que pueden responder a zonas de interés para la búsqueda.

Por otro lado, la identificación de UGIF de manera automatizada no solo demostró ser una herramienta de apoyo para la definición de áreas sobre las que se pueden priorizar labores de campo para la búsqueda de los cuerpos, sino que se constituye como una herramienta que permite triangular o complementar información testimonial sobre sitios de avistamiento y depósitos de cadáveres a lo largo del río. Además, en ausencia de información testimonial, puede ser una de las pocas fuentes de información para el inicio de labores de búsqueda en sectores específicos.

El ejercicio de arqueología experimental para la identificación de sitios (depósitos) sumergidos de interés forense estuvo marcado por diferentes retos metodológicos vinculados al mantenimiento y adecuación del área de observación, así como a la permanencia de los biomodelos en la zona de observación por factores naturales y antrópicos. No obstante, el comportamiento de los biomodelos que logró ser monitoreado permitió identificar que la formación de un sitio antrópico sumergido en condiciones controladas se desarrolla en varias etapas que inician con los procesos de descomposición, desarticulación y traslado del cuerpo generados por el agua, la fauna y los agentes antrópicos, y que finaliza con el depósito de algunos de los restos óseos en el lecho del río. Así, aunque se produce la formación de un sitio, éste debe entenderse como un contexto residual de carácter temporal. La posibilidad de permanencia del sitio obedecerá a la presencia de obstáculos como empalizadas, rocas de gran tamaño, etc., que actúan como trampas para las estructuras óseas. En el experimento, los restos óseos que alcanzaron la etapa de depósito temporal fueron los huesos largos, el cráneo y la mandíbula, los cuales se ubicaron de diferentes maneras obedeciendo a su morfología, densidad, y al efecto de resistencia asociado con la dirección de la corriente.

La prospección subacuática con sensores remotos permitió la observación de los biomodelos en sus primeras etapas de depósito tal como ha sido evidenciado en ensayos experimentales en otros cuerpos de agua (Healy et al., 2015), pero no fue suficiente para identificar la disposición final de los restos óseos o de sus elementos asociados. Sin embargo, permitió la identificación de zonas de depósito de otros tipos de materiales asociados a áreas de menor velocidad, que pueden constituirse en sitios de atrapamiento de los restos óseos. Estas áreas fueron verificadas de manera preliminar por medio de inmersiones y tendrán que ser abordadas a profundidad en posteriores ejercicios investigativos en los que se cuente con tecnologías que mejoren las condiciones de visibilidad y permitan la observación a mayores profundidades (p.e. ecosondas multihaz, sonares de barrido lateral y drones subacuáticos).

A partir de esta experiencia de investigación, la metodología interdisciplinaria para abordar la búsqueda de personas desaparecidas arrojadas a ríos se resume de la siguiente manera:

1. Definición de áreas preliminares de interés para la búsqueda:
 - a. Análisis de fuentes testimoniales y de archivo, primarias y secundarias, que permitan la identificación de posibles lugares de arrojado, avistamiento y depósito de cuerpos a lo largo de un río, así como de las condiciones de arrojado de los cuerpos al agua (completitud, embalaje, elementos asociados) y las temporalidades de los hechos.
 - b. Identificación de UGIF a partir de análisis automatizado de imágenes de sensores remotos.
 - c. Georreferenciación de sitios, construcción de sistema de información geográfica, y delimitación de áreas preliminares de interés.
 - d. Análisis multitemporal de los cambios en el curso del río, zonas de sedimentación, y cambios en el caudal de las áreas preliminares de interés.
2. Caracterización hídrica de las áreas preliminares de interés:
 - a. Levantamiento de información batimétrica, velocimétrica y topográfica en campo.
 - b. Obtención y análisis de información hidrológica multitemporal.
 - c. Ajuste de los modelos hidrodinámicos e hidrológicos.

3. Modelación del transporte de partículas en escenarios particulares de tiempo y lugar e identificación de zonas de atrapamiento (hotspots – unidades mínimas de búsqueda).
4. Delimitación de unidades mínimas de búsqueda -UMB- (áreas priorizadas):
 - a. Priorización de zonas de acuerdo con la información obtenida en cada una de las etapas anteriores.
 - b. Caracterización de navegabilidad, profundidad, visibilidad y actividad antrópica de las UMB.
 - c. Diseño de operación de prospección subacuática y de ribera, de acuerdo con las UMB.
5. Prospección de UMB:
 - a. Caracterización de condiciones del fondo por medio de sensoramiento geofísico (ecosondas).
 - b. Identificación de anomalías consistentes con zonas de atrapamiento y posible depósito.
 - c. Verificación de anomalías con drones subacuáticos e inmersiones con buceo.

De acuerdo con los resultados que se obtengan del momento 5, se deberán diseñar las operaciones de rescate de los elementos observados teniendo en cuenta sus condiciones de hallazgo y conservación en caso de recuperación, a la vez que se garantiza su integridad para posteriores procesos de análisis de laboratorio. A la fecha de publicación de este artículo el proceso para el río La Miel se encuentra en el momento No. 4.

CONCLUSIONES

La complejidad de la búsqueda de personas desaparecidas en contextos fluviales requiere una aproximación multi e interdisciplinaria que permita la integración de conocimientos y saberes que se encuentran fuera del ámbito estricto de las ciencias forenses, pero que pueden dar una respuesta objetiva a la posibilidad de hallar y recuperar los cuerpos. Esta apuesta requiere del desarrollo de proyectos de investigación y experimentación científica que incorporen métodos y técnicas innovadoras que puedan ser aplicados posteriormente al análisis e intervención de casos reales.

Las aproximaciones metodológicas, los modelos matemáticos y las tecnologías incorporadas en este proyecto de investigación no solo cuentan con un fundamento teórico, sino que fueron probadas con ejercicios experimentales que permitieron la validación de los modelos, así como la aproximación a los desafíos técnicos, antrópicos y ambientales que pueden presentarse en el abordaje de este tipo de entornos. Dado que se plantea una propuesta genérica para diseñar estrategias de búsqueda en ríos, los aprendizajes derivados de esta investigación pueden ser considerados como base para el abordaje de otro tipo de contextos acuáticos de disposición de cuerpos.

En tanto se trata de un ejercicio de investigación que se mantiene activo, el equipo de investigación se encuentra en un constante proceso de actualización para mejorar la sistematización y automatización de los procesos de análisis documental; refinar la comprensión de las dinámicas de transporte de segmentos corporales; caracterizar los procesos de sedimentación en las zonas de interés; e incorporar tecnologías complementarias para la prospección detallada de estos sitios tanto en superficie como bajo el agua.

Estos esfuerzos científicos e investigativos son un trabajo necesario para dar respuesta a las familias que buscan a sus seres queridos desaparecidos que han sido arrojados a los ríos. Si bien no es posible garantizar la posibilidad de su hallazgo, constituyen una alternativa que ha sido poco explorada y que hace parte de la obligación de agotar todos los medios disponibles para la búsqueda.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido desarrollado con el apoyo financiero del Fondo Multidonante de las Naciones Unidas para el Sostenimiento de la Paz y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo -PNUD- en Colombia; el Programa de Fortalecimiento Institucional para las Víctimas de USAID implementado por OIM; Programa para la Consolidación de la Paz en Colombia, ProPaz II, de la Agencia Alemana para la Cooperación Internacional -GIZ; el Fondo Noruego para los Derechos Humanos y la Agencia Catalana de Cooperación para el Desarrollo. Los planteamientos expresados en esta publicación no reflejan la opinión de ninguno de los donantes.

El equipo de investigación debe un especial agradecimiento a las familias buscadoras de la región del Magdalena Caldense y a los propietarios y trabajadores de las Cabañas Sol y Miel en el municipio de Norcasia, Caldas, quienes fueron apoyo fundamental para el desarrollo del trabajo de campo. Sus conocimientos sobre el río y su calidez y comprensión han sido pieza clave para el éxito de la investigación.

Las actividades desarrolladas en el río La Miel contaron la valoración técnica y metodológica de profesionales de la Unidad de Búsqueda de Personas Dadas por Desaparecidas -UBPD.

REFERENCIAS

- Bassett, H. E., & Manhein, M. H. (2002). Fluvial Transport of Human Remains in the Lower Mississippi River. *Journal of Forensic Sciences*, 47(4), 1544-8J. <https://doi.org/10.1520/JFS15448J>
- Behrensmeyer, A. K. (1982). Time resolution in fluvial vertebrate assemblages. *Paleobiology*, 8(03), 211-227. <https://doi.org/10.1017/S0094837300006941>
- Boaz, N. T., & Behrensmeyer, A. K. (1976). Hominid taphonomy: Transport of human skeletal parts in an artificial fluvial environment. *American Journal of Physical Anthropology*, 45(1), 53-60. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330450107>
- Camacho, G., Pérez, L. A., & Arango, D. (2020). Forensic complex scenarios and technological innovation: Brief case report from Colombia. En R. C. Parra, S. C. Zapico, & D. H. Ubelaker (Eds.), *Forensic Science and Humanitarian Action* (1.a ed., pp. 257-271). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119482062.ch18>
- Centro Nacional de Memoria Histórica. (2018). Desaparición forzada: Balance de la contribución del CNMH al esclarecimiento histórico. Centro Nacional de Memoria Histórica. <http://www.centrodememoriahistorica.gov.co/micrositios/balances-jep/descargas/balance-desaparicion-forzada.pdf>
- Comisión de búsqueda de personas desaparecidas [CBPD]. (2007). Plan nacional de búsqueda (5a edición).
- Comisión de la Verdad Colombia. (2022). Hasta la guerra tiene límites: Violaciones de los derechos humanos, infracciones al derecho internacional humanitario y responsabilidades colectivas (Tomo 4; Hay futuro si hay verdad: Informe final de la Comisión para el Esclarecimiento de la Verdad, la Convivencia y la No repetición, p. 1144). Comisión de la Verdad. <https://www.comisiondelaverdad.co/hasta-la-guerra-tiene-limites>
- Dilen, D. R. (1984). The Motion of Floating and Submerged Objects in the Chattahoochee River, Atlanta, GA. *Journal of Forensic Sciences*, 29(4), 1176-9J. <https://doi.org/10.1520/JFS11769J>
- Ebbesmeyer, C. C., & Haglund, W. D. (1994). Drift Trajectories of a Floating Human Body Simulated in a Hydraulic Model of Puget Sound. *Journal of Forensic Sciences*, 39(1), 135-90J. <https://doi.org/10.1520/JFS13590J>
- EQUITAS, FUNDECOS, & CEDAT. (2020). Informe Ejecutivo: Plan regional integral de búsqueda de las personas desaparecidas en la región del Magdalena Caldense. EQUITAS.
- Evans, T. (2021). Fluvial Taphonomy. En *Manual of Forensic Taphonomy* (2.a ed.). CRC Press.
- Guatame-Garcia, A. (2007). Computer Simulation for drift trajectories of objects in the Magdalena River, Colombia [Masters dissertation]. University of Central Lancashire.
- Healy, C., Schultz, J., Parker, K., & Lowers, B. (2015). Detecting submerged bodies: Controlled research using side-scan sonar to detect submerged proxy cadavers. *Journal of Forensic Sciences*, 60(3), 743-752. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12671>
- Hervouet, J.-M. (2007). *Hydrodynamics of Free Surface Flows: Modelling with the Finite Element Method*. John Wiley & Sons, Inc. <https://www.wiley.com/en-us/Hydrodynamics+of+Free+Surface+Flows%3A+Modelling+with+the+Finite+Element+Method-p-9780470035580>
- Kundu, P., Cohen, I., & Dowling, D. (2016). *Fluid Mechanics*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-00611-4>

Lunetta, P., Ebbesmeyer, C., & Molenaar, J. (2014). Behaviour of Dead Bodies in Water. En J. J. L. M. Bierens (Ed.), *Drowning* (pp. 1149-1152). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04253-9_179

Nawrocki, S., Pless, J., Hawley, D., & Wagner, S. (1997). Fluvial transport of human crania. En *Forensic taphonomy: The postmortem fate of human remains* (pp. 529-552). CRC Press.

Pokines, J. T., Faillace, K., Berger, J., Pirtle, D., Sharpe, M., Curtis, A., Lombardi, K., & Admans, J. (2018). The effects of repeated wet-dry cycles as a component of bone weathering. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 17, 433-441. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.11.025>

R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing. <https://www.gbif.org/tool/81287/r-a-language-and-environment-for-statistical-computing>