

TRABAJO ORIGINAL

Validación del uso de instrumentos manuales de detección de metales para la localización y recolección de proyectiles metálicos en necropsias.

Validation of the use of electromagnetic fields for the location and collection of metal projectiles in necropsies.



Carlos Enrique Castro-Osorio ¹: <https://orcid.org/0000-0002-1469-108X>

¹Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, Dirección Regional Suroccidente, Seccional Valle del Cauca, Grupo de Patología Forense; Cali – Colombia

Correspondencia a: carlos.castro@medicinalegal.gov.co

Palabras clave

Autopsia; Medicina legal; Detectores de metales; Campos electromagnéticos; Proyectiles de arma de fuego; Validación de métodos; Sensibilidad y especificidad de un método.

Keywords

Autopsy, Forensic medicine, Metal detectors, Electromagnetic fields, Projectiles, Method validation, Sensitivity and specificity of a method.

Citar como

Castro Osorio CE. Validación del uso de instrumentos manuales de detección de metales para la localización y recolección de proyectiles metálicos en necropsias. Rev. cienc. forenses Honduras. 2025; 11(1): 17-29. Doi:10.5377/rfch.v11i1.20424

Historia del artículo

Recepción: 14 -2- 2025

Aprobación: 01 -09- 2025

Declaración de relaciones actividades financieras y conflictos de interés

Ninguna

Se contó con la autorización institucional para la recolección de la información.

El trabajo no fue sometido al Comité de Bioética.

Agradecimientos

Ver al final del artículo.

RESUMEN

Objetivo: validar el uso de instrumentos comerciales manuales para la detección de metales, en el proceso de búsqueda y recuperación de proyectiles y elementos metálicos durante la necropsia, a fin de ofrecer alternativas de detección inicial, fáciles y económicas, y fortalecer el proceso de búsqueda y recuperación de proyectiles y elementos metálicos en tejidos biológicos, en un modelo de cadáver humano.

Introducción: recuperar evidencias es una actividad crítica durante las necropsias medicolegales; especialmente en las muertes violentas por proyectiles de armas de fuego, en las que los proyectiles y /o elementos metálicos, pueden migrar por cavidades corporales o quedar en vísceras huecas, grandes vasos, prendas, embalaje, entre otros, lo que dificulta su recuperación.

Metodología: se utilizó un dispositivo manual de detección de metales para ubicar proyectiles y elementos metálicos en un cadáver; su embalaje, así como en las prendas de ropa. Se cálculo de la sensibilidad y especificidad, valor predictivo positivo y negativo general y específico por ubicación anatómica.

Resultados: se obtuvo una sensibilidad general del 83.33 % y especificidad del 100 %, Valor predictivo positivo =1, tasa de falsos positivos = 0,00; Valor Predictivo Negativo = 0,60; tasa de falsos negativos = 0,17. Para los objetos más pequeños, iguales o menores a 5 mm de diámetro especificidad = 100% y sensibilidad = 62,5%.

Conclusión: Se encontró que estos dispositivos pueden ser herramientas útiles para la detección de proyectiles metálicos en necropsias, especialmente para objetos metálicos de

metálicos de 7 mm o más. Su aplicación en las áreas rurales o en espacios abiertos donde disponer de un equipo de rayos X no siempre es posible es factible. Para los objetos más pequeños, iguales o menores a 5 mm de diámetro, aunque la especificidad es del 100%, la sensibilidad del 62,5% en algunas áreas anatómicas, sugiere que se requiere más investigación para trabajar en el mejoramiento de la detección de estos objetos presentes en el cadáver.

ABSTRACT

Objective: To validate the use of commercially available handheld metal detectors, routinely used in various settings, for the detection and recovery of projectiles and metallic fragments. The aim is to offer simple and cost-effective initial detection alternatives and to strengthen the process of locating and retrieving metallic elements in biological tissues, using a human cadaver model.

Introduction: Recovering evidence is a critical activity during medicolegal autopsies, especially in cases of violent deaths caused by firearm projectiles. In such cases, projectiles and/or metallic fragments may migrate through body cavities or remain lodged in hollow viscera, large vessels, clothing, packaging, among other locations, making their recovery challenging.

Methodology: A handheld metal detector was used to locate projectiles and metallic objects on a corpse, its packaging, and clothing. Sensitivity, specificity, and overall and specific positive and negative predictive values were calculated for each anatomical location.

Results: An overall sensitivity of 83.33% and specificity of 100% were obtained. Positive predictive value = 1; false positive rate = 0.00; negative predictive value = 0.60; false negative rate = 0.17. For smaller objects, equal to or less than 5 mm in diameter specificity = 100%, sensitivity = 62.5% in certain anatomical regions.

Conclusion: These devices were found to be useful tools for detecting metallic projectiles during autopsies, particularly for objects measuring 7 mm or more, in rural or open areas where access to X-ray equipment is limited. For smaller objects, equal to or less than 5 mm in diameter, although specificity remains at 100%, the sensitivity of 62.5% in certain anatomical regions suggests that further research is needed to improve detection capabilities for these items in cadavers.

INTRODUCCIÓN

Los detectores de metales se diseñaron en principio para su aplicación en los Juegos Olímpicos, pero su uso se ha diversificado en diversas actividades de la vida diaria, mostrando una precisión similar a la de los rayos X en la búsqueda y detección de objetos metálicos ^{1,2}. Vigil, Hazwani, Sashikumar, establecieron que el detector de metales manual identificó con precisión monedas y cuerpos extraños metálicos ingeridos por niños, con más sensibilidad para cuerpos extraños metálicos radiolúcidos como el aluminio que el examen de rayos X convencional³, asimismo, distintos autores reportaron elevados niveles de sensibilidad y especificidad en la identificación y localización de cuerpos metálicos ^{4,5}.

Los detectores de metales presentan ventajas frente a los equipos de rayos X, como; menor costo, facilidad de uso, ausencia de radiación ionizante, bajo mantenimiento y alta sensibilidad, siendo eficaces en la detección de objetos metálicos como monedas o joyas en entornos clínicos, así como en la exploración de restos óseos humanos en contextos antropológicos ^{3,4,8-11}. Su rango de detección depende del tamaño y conductividad del metal, y muchos incluyen un botón para reducir interferencias ^{1,9}. Desde 1881 se emplean en construcción para encontrar clavos u otros desechos metálicos, en medicina en procesos diagnósticos por ingesta de cuerpos extraños y para otros usos prácticos como detectar implantes cardiacos en cadáveres antes de ser incinerados, para evitar su explosión durante ese proceso ^{1,3,9,11-14}.

El principio de funcionamiento de estos dispositivos es simple: Los campos electromagnéticos al ser generados desde una bobina y proyectados sobre un área en la cual se encuentra un metal, responden al campo incidente, lo que conlleva a que el cuerpo metálico incidido (p/e: proyectil, esquirla, etc.) devuelva su propio campo electromagnético hacia la bobina, que lo recibe y genera una señal visual, sonora o vibratoria, esto permite detectar metales tanto férricos o no y magnéticos o no, dependiendo del aparato usado ^{6,7}.

Uno de los objetivos clave de las necropsias medicolegales es recuperar evidencia útil para procesos investigativos y judiciales, especialmente en muertes violentas por proyectiles, explosivos o fragmentos metálicos ^{15,16}. Sin embargo, en la práctica forense diaria, algunos elementos son difíciles de recuperar por su migración a cavidades internas o por la falta de equipos de rayos X y personal capacitado ^{17,18,19}. Aunque los equipos de rayos X permiten localizar objetos radio-opacos ¹⁶, su uso implica exposición a radiación ionizante ²⁰ y se limita su uso por su alto costo e infraestructura requerida, entre otras ⁸.

En esta investigación se denominó, “Dispositivos para Ubicar Proyectiles y Elementos Metálicos en Cadáveres” (DUPEMC) a los detectores de metales manuales que emiten campos electromagnéticos para detectar elementos metálicos, tanto férricos y magnéticos como los no férricos y no magnéticos²¹. La **figura 1** muestra el dispositivo usado, así como las principales características descritas por el fabricante.

Este dispositivo es sumergible en agua y funciona de manera automática, detectando todos los metales incluyendo los ferrosos y no ferrosos. Al detectarse un metal produce alerta auditiva y/o de vibración, la velocidad del audio pulsante y las vibraciones aumentarán en la medida que la punta de detección se acerque a dichos elementos y al estar sobre ellos genera una alerta continua.

El objetivo del estudio fue validar el uso del DUPEMC, para la detección de proyectiles y elementos metálicos en un cadáver, sometido a necropsia medicolegal y en sus prendas de vestir; a fin de validar su aplicación, en especial en zonas donde no se cuenta con equipos de rayos X.

METODOLOGÍA

Investigación de validación, experimental, que usó el DUPEMC; un detector de metales manual, de fácil operación, como fuente de ondas electromagnéticas.

El estudio se realizó en la morgue de la sede de Medicina Legal de la ciudad de Cali – Colombia en dos fases:

- 1.- La primera fase correspondió a un proceso controlado de validación del DUPEMC realizado entre el 18/05/2024 al 28/06/2024, utilizando un cadáver, 10 objetos de prueba (OP), ocho metálicos, dos no metálicos y siete prendas de vestir. Asimismo, se evaluó el embalaje del cadáver.
- 2.- La segunda fase se realizó desde el 15 de junio 2024 hasta el 15 de diciembre de 2024, donde se rastrearon los cadáveres ingresados por muerte violenta por proyectil de arma de fuego o explosivos y se comparó el resultado del rastreo con DUPEMC con lo reportado en la toma de rayos X.

Los criterios de inclusión fueron:

Se seleccionó un cadáver cuya causa de muerte NO estuviese asociada a proyectil de arma de fuego o explosivos y que fuera un cadáver no identificado o no reclamado de los que institucionalmente son clasificados como aptos para



Figura 1: Características de operación, partes y especificaciones del DUPEMC. El Pro-Pointer AT de Garrett® es fabricado en Estados Unidos, modelo: Garrett Pro-Pointer® AT Número de modelo: 1140900, para ver características ingresar a: <https://garrett.com/es/deporte/pro-pointer/pro-pointer-at>

la investigación y docencia.

Como criterios de exclusión se aplicó:

Que el cadáver tuviera o se sospechara tener un artefacto explosivo no detonado (criterio de exclusión temporal) y todo cadáver que el perito responsable del caso no autorizara o estuviera en desacuerdo con la realización de la investigación.

En la primera fase de esta investigación se realizaron 10 mediciones directas en los objetos de prueba (OP) y 100 mediciones de los OP en el cadáver, en el embalaje y en siete prendas de vestir.

Los OP utilizados correspondieron a 10 elementos habitualmente hallados en necropsias, a excepción del OP 7 (esquirla de aluminio de 5mm x 5mm) que se adicionó por ser un OP difícil de ubicar aun por medio de los rayos X, y que puede estar presente en la metralla de las explosiones.

De los OP utilizados, ocho fueron metálicos y dos no metálicos (objetivos 6 y 10) estos últimos, como controles no metálicos en las mismas ubicaciones. La descripción de los OP utilizados se muestra el **cuadro 1**.

Para validar el funcionamiento del DUPEMC, cada objeto de prueba (OP) fue sometido a una exploración inicial utilizando tanto la parte lateral como la punta del dispositivo DUPEMC. Todos los elementos metálicos fueron correctamente detectados y seleccionados para las pruebas. En contraste, los objetos no metálicos de control no generaron señal alguna, por lo que se emplearon como controles negativos.

Cuadro 1. Tipo de objetivo de prueba utilizados

1. Proyectoil de arma de fuego con camisa (calibre 9 mm)
2. Proyectoil de arma de fuego sin camisa (desnudo) (calibre 0.38" SPL)
3. Proyectoil de arma de fuego de largo alcance (blindado) (calibre 5.56)
4. Posta (diámetro 7 mm)
5. Perdigón (diámetro 3 mm)
6. Proyectoil de arma traumática (diámetro 3.3 mm) No metálico.
7. Esquirla de aluminio (5 mm x 5 mm)
8. Esquirla de encamisado proyectoil arma de fuego bronce-latón (5 mm x 5 mm)
9. Esquirla de plomo (5 mm x 5 mm)
10. Plástico (pistón de potencia de Calibre 12). No metálico.



Fuente: Autor

para posteriormente ser rastreados con el DUPEMC in situ:

1. Subcutánea región deltoidea izquierda
2. Lóbulo parietal derecho
3. Región anterior del tórax
4. Ventrículo izquierdo del corazón
5. Lóbulo medio del pulmón derecho
6. Lóbulo hepático derecho
7. Bazo
8. Columna a nivel intervertebral T11-T12
9. Intramedular a nivel de L4-L5

Con el fin de eliminar la interferencia en las mediciones, causada por la parte metálica del soporte usualmente utilizado en las necropsias, se diseñó y creó un soporte alternativo para realizar los rastreos, adaptando una camilla hospitalaria de acero inoxidable con ruedas, ajustándola a una altura de 50 cm desde el suelo. Sobre esta estructura se colocó una base de polipropileno —material no electromagnético— con dimensiones de 180 cm x 80 cm x 40 cm, esta base fue cubierta con un protector de colchón hospitalario, con el fin de facilitar su limpieza y mantenimiento. Sobre este soporte se procedió a la detección de los OP tanto en el cadáver como en las prendas de vestir. Luego el cadáver fue colocado sobre el soporte de polipropileno previamente descrito. Cada uno de los objetos de prueba (OP), fue ubicado individualmente en las regiones anatómicas descritas, para realizar el rastreo mediante el DUPEMC.

Para facilitar su manipulación y recuperación, los OP fueron colocados en bolsas plásticas radiolúcidas, previamente evaluadas con el DUPEMC, confirmando que dichas bolsas no emitían señal alguna antes de su uso y que, al ubicar los OP en su interior, no interferían con la detección de los objetos metálicos ni generaban señal con los OP no metálicos. **Ver figura 2**, que ejemplifica la preparación del OP, previo a su ubicación en el sitio anatómico seleccionado.



Figura 2: Preparación para la ubicación de proyectil de 9 mm blindado en columna a nivel de L4-L5.

Se realizaron exploraciones sobre el cadáver en dirección anterior - posterior, derecha - izquierda y superior - inferior, externa e internamente.

La información de las mediciones se ingresó en una hoja en Excel y se clasificaron los datos de la siguiente manera:

- Los datos Verdaderos Positivos (VP), correspondieron a las detecciones que realizó el DUPEMC en el sitio donde se colocó el OP que fue reconocido en la prueba de detección directa como ferromagnético.
- Los datos Verdaderos Negativos (VN), correspondieron a los elementos usados como OP que siendo ferromagnéticos negativos no produjeron respuesta en el DUPEMC.
- Los datos Falsos Negativos (FN), correspondieron a los elementos usados como OP que siendo ferromagnéticos positivos no produjeron respuesta de detección en el DUPEMC.
- Los datos Falsos Positivos (FP), correspondieron a los elementos usados como OP que siendo ferromagnéticos negativos produjeron respuesta de detección en el DUPEMC.
- Con lo anterior se determinó la sensibilidad y especificidad del DUPEMC, el valor predictivo positivo (VPP), el valor predictivo negativo (VPN), las tasas de falsos positivos y falsos negativos de la siguiente manera:

Para el cálculo de los intervalos de confianza (IC) de estos indicadores, se empleó el método de Clopper-Pearson ²².

Fórmulas

- Sensibilidad = $(VP / VP + FN) = 60/60+12=0.83$
- Especificidad = $(VN / VN + FP) = 18/18+0=1.0$
- Valor predictivo positivo (VPP) = $(VP / VP + FP) = 60/ (60+0) = 1.0$
- Valor predictivo negativo (VPN) = $(FN / FN + VN) = 18/ (18+12) = 0.6$
- Tasa de falsos positivos (TFP) = $(1 - (VN / VN + FP)) = 1-(18/18+0) = 0$
- Tasa de falsos negativos (TFN) = $(1 - (VP / VP + FN)) = 1-(60/ (60+12)) = 0.17$

Asimismo, se realizó el rastreo sistemático de los OP en las prendas de vestir y el embalaje del cadáver.

Para asegurar la precisión del procedimiento, el operador retiró previamente todos los elementos metálicos de su vestimenta y accesorios personales, eliminando así posibles fuentes de interferencia.

Las prendas de vestir analizadas incluyeron:

- 1.-un bóxer,
- 2.-un pantalón tipo jean negro,
- 3.-una camiseta de algodón,
- 4.-dos medias tobilleras y
- 5.-un par de tenis de material sintético.

Durante el proceso de inspección de las prendas de vestir del cadáver, se detectaron señales sonoras asociadas a componentes metálicos como cierres, botones y adornos, propios de las prendas. Cada uno de estos elementos fue inspeccionado visualmente para confirmar su correspondencia con las alertas generadas. En particular, se identificó una señal persistente en uno de los bolsillos del pantalón, donde se halló un objeto cilíndrico metálico de color dorado, con un tornillo en uno de sus extremos.

Una vez verificada la causa de todas las señales detectadas, se determinó que no se detectaron señales sonoras en las áreas donde la prenda no tenía elementos metálicos, por lo que se procedió a ubicar cada uno de los objetos de prueba (OP) en las prendas y el embalaje.

En la segunda fase se registraron 222 cadáveres; sin embargo, debido a limitaciones técnicas, solo fue posible realizar el rastreo y la comparación con radiografías en 11 de ellos. En estos casos, se identificaron proyectiles que coincidían con los observados en las imágenes radiográficas. No obstante, la escasa cantidad de casos evaluados no permitió realizar un análisis de fondo concluyente.

RESULTADOS:

En la primera fase, para los todos los OP rastreados con el DUPEMC la sensibilidad global sin diferenciación por ubicación anatómica fue de 83% (IC del 95%: [72.70– 91.08]) y especificidad 100% (IC del 95%: [81.47 – 100]). El valor predictivo positivo (VPP) de 1 (IC del 95%: [94.04 – 100]), valor predictivo negativo (VPN) de 0.60 (IC del 95%: [40.60 – 77.34]), Tasa de falsos positivos de 0.00 y Tasa de falsos negativos de 0.17.

- Los datos Verdaderos Positivos (VP)= 60, corresponden a las detecciones que realizó el DUPEMC en el sitio donde se colocó el OP que fue reconocido en la prueba de detección directa como ferromagnético.
- Los datos Verdaderos Negativos (VN)= 18, corresponden a los elementos usados como OP que siendo ferromagnéticos negativos no produjeron respuesta en el DUPEMC.

En el **Cuadro 2** se muestran los resultados de las mediciones de los OP con el DUPEMC en diferentes ubicaciones anatómicas. Sensibilidad y especificidad global y por sitio anatómico.

- Los datos Verdaderos Positivos (VP)= 60, corresponden a las detecciones que realizó el DUPEMC en el sitio donde se colocó el OP que fue reconocido en la prueba de detección directa como ferromagnético.
- Los datos Verdaderos Negativos (VN)= 18, corresponden a los elementos usados como OP que siendo ferromagnéticos negativos no produjeron respuesta en el DUPEMC.
- Los datos Falsos Negativos (FN)= 12, corresponden a los elementos usados como OP que siendo ferromagnéticos positivos no produjeron respuesta de detección en el DUPEMC.
- Los datos Falsos Positivos (FP)= 0, corresponden a los elementos usados como OP que siendo ferromagnéticos negativos produjeron respuesta de detección en el DUPEMC.

Con lo anterior se determinó la sensibilidad y especificidad del DUPEMC, el valor predictivo positivo (VPP), el valor predictivo negativo (VPN), las tasas de falsos positivos y falsos negativos de la siguiente manera, expresados en porcentaje, los cálculos se realizaron de manera global, para cada uno de los OP y por región anatómica.

Al hacer el rastreo de las prendas se realizaron 65 mediciones en total, cinco mediciones en cada una de ellas, cuando se detectó un elemento metálico sin colocar un OP se repitió el rastreo y obtuvo la siguiente información: 15 mediciones sin el objeto de prueba y 50 con los OP, encontrándose que únicamente en el pantalón se obtuvieron señales, a pesar que no estaban ubicados los OP, debido a los remaches, botones metálicos y a un objeto metálico en un bolsillo, resultados de los rastreos en las siguientes prendas Bóxer, Pantalón, Camiseta, Medias y Tenis:

- Sensibilidad = $(VP / VP + FN) \times 100 = (40 / 40 + 0) \times 100 = 100\%$ (IC del 95%: [91.2 – 100])
- Especificidad = $(VN / VN + FP) \times 100 = (10 / 10 + 0) \times 100 = 100\%$ (IC del 95%: [69.2 – 100])
- VPP = $(VP / VP + FP) \times 100 = (40 / 40 + 0) \times 100 = 100\%$ (IC del 95%: [91.2 – 100.0])
- VPN = $(VN / VN + FN) \times 100 = (10 / 10 + 0) \times 100 = 100\%$ (IC del 95%: [69.2 – 100])
- Tasa FP = $(1 - (VN / VN + FP)) \times 100 = (1 - (10 / 10 + 0)) \times 100 = 0\%$ (IC del 95%: [0.0 – 30.8])
- Tasa FN = $(1 - (VP / VP + FN)) \times 100 = (1 - (40 / 40 + 0)) \times 100 = 0\%$ (IC del 95%: [0.0 – 8.8])

Cuadro 2: Resultados de las mediciones de los OP con el DUPEMC en diferentes ubicaciones anatómicas, sensibilidad y especificidad global y por sitio anatómico. n=90

Soporte: Base de polipropileno de 80 x 50 x 180 cm sobre soporte de acero inoxidable

Codificación de los objetos de prueba en las ubicaciones.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total Ubicación Anatómica
Prueba de detección y ubicación anatómica del Objeto de Prueba	Valor esperado OP	Subcutánea región deltoidea izquierda	Lóbulo parietal derecho	Región anterior del tórax	Ventrículo izquierdo del corazón	Lóbulo medio del pulmón derecho	Lóbulo hepático derecho	Bazo	Columna a nivel intervertebral T11-T12	Intramedular a nivel de L4	
Objeto de prueba											
1. Proyectoil de arma de fuego con camisa (calibre 9,0 mm)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
2. Proyectoil de arma de fuego sin camisa (desnudo) (calibre 0,38")	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
3. Proyectoil de arma de fuego de largo alcance (blindado) (calibre 5,56)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
4. Posta (diámetro 7,0 mm)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
5. Perdigón (diámetro 3,0 mm)	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	5
6. Proyectoil de arma traumática (diámetro 7,0 mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7. Esquirla de aluminio (5 mm x 5 mm)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
8. Esquirla de encamisado de proyectoil de arma de fuego											
bronce-latón (5 mm x 5 mm)	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	5
9. Esquirla de plomo (5 mm x 5 mm)	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	5
10. Plástico (pistón de potencia de Calibre 12)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Verdaderos Positivos	8 (72)	8	8	5	5	8	8	8	5	5	60
Total Verdaderos Negativos	2 (18)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18
Falsos negativos		0	0	3	3	0	0	0	3	3	12
Falsos Positivos		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
%Sensibilidad por región anatómica		100	100	62,5	62,5	100	100	100	62,5	62,5	
%Especificidad por región anatómica		100	100	100	100	100	100	100	100	100	
% Sensibilidad global	83,33			VPP (%)	60	0	100		Tasa de FP	1-(VN/VN+FP)	0
% Especificidad Global	100			VPN(%)	12	18	60		Tasa de FN	1-(60/60+12)	0,1666667

Código: 1= Detectado, 0= No detectado

DISCUSIÓN

Se determinó una sensibilidad general sin estratificación por sitio anatómico, del 83.3% (IC del 95%: [0.73 -0.91]) y especificidad del 100% (IC del 95%: [0.81-1.00]) Sin embargo, cuando se calculó la sensibilidad y especificidad por sitio anatómico, se encontró una disminución importante en su capacidad de detección (Sensibilidad = 62,5%, aumento de falsos negativos) de los OP iguales o menores a cinco (5) mm de diámetro, en las ubicaciones anatómicas más profundas o con tejidos más gruesos como la región anterior del tórax, ventrículo izquierdo del corazón, ubicaciones intervertebrales e intracanal medular de la columna vertebral, por ejemplo; lo cual es consistente en virtud que la capacidad de detección de los detectores de metales se ve influenciada no solo por el tamaño del objeto metálico, sino también por la profundidad del mismo ^{21,23}.

En este estudio se determinó la eficacia del DUPEMC como un método de tamizaje rápido, barato, especialmente en condiciones de campo o en ambientes donde no se dispone de infraestructura de rayos X para realizar el rastreo, en cadáveres sometidos a necropsia medicolegal.

El valor predictivo negativo VPN es del 60%, lo que indica que en el 60% de los casos un resultado negativo corresponde efectivamente a la ausencia de proyectiles metálicos. Esto es relevante porque sugiere que algunos proyectiles pueden no ser detectados, especialmente en condiciones específicas. La tasa de falsos positivos es del 0%, lo cual es excelente, ya que no se identifican proyectiles donde no los hay. Sin embargo, la tasa de falsos negativos es del 17%, lo que evidencia un margen de mejora en la capacidad de detección. Esta limitación podría estar influenciada por factores como: la posición del objeto metálico respecto al DUPEMC (por ejemplo, si está de frente o de lado respecto al puntero o si tienen un diámetro menor a 7 mm, asociado a una ubicación en tejidos voluminosos y/o su según la profundidad del objeto metálico en el cadáver).

Estos resultados proporcionan una visión clara de la efectividad del DUPEMC en la detección de proyectiles metálicos durante las necropsias medicolegales y subrayan la importancia de considerar las limitaciones del dispositivo en la detección de los proyectiles de 3 mm de diámetro ó 5 x 5 mm en tejidos profundos y para los proyectiles no metálicos.

Los datos recolectados en la segunda fase, aunque son limitados debido al poco número de casos que fueron comparados con la detección con rayos X, evidencian que el uso del DUPEMC resulta útil para la identificación y recuperación de elementos metálicos presentes en los cadáveres, aunque se requiere nuevas investigaciones que permitan estudiar más casos detectados con DUPEMC en relación a la detección con rayos X.

CONCLUSIONES

- Se estableció que el DUPEMC se perfila como una herramienta para la detección de proyectiles metálicos en necropsias, especialmente para objetos de siete (7) mm o más.
- Este estudio contribuye a mejorar el tiempo y éxito en una autopsia medicolegal por causa violenta, siendo un apoyo para el médico forense en la detección y recuperación de proyectiles y elementos metálicos, especialmente en entornos donde no se cuenta con rayos X como los levantamientos de campo en los que se sospecha presencia de explosivos.

Los resultados destacan que los dispositivos manuales de detección de metales se perfilan como un método de tamizaje rápido, barato y seguro para el rastreo de elementos metálicos, en cadáveres sometidos a necropsia medicolegal especialmente en condiciones de campo o en ambientes donde no se dispone de infraestructura de rayos X.

- Los hallazgos respaldan la necesidad de continuar con fases posteriores de investigación que permitan evaluar el rendimiento del DUPEMC en diferentes escenarios anatómicos, profundidades, tipos de proyectiles. Asimismo, realizar estudios comparativos con tecnologías radiológicas para establecer criterios de complementariedad o sustitución.

Agradecimientos

A Eusebia y Juan, por su apoyo y paciencia. Al Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses de Colombia por la autorización para desarrollar la investigación. A los doctores David Henao, Anny Mosquera, Alejandra Hostos, Alexander Fernández, Geovani Benavidez, Albert Betancourt, Hermes Pinzón, Carlos Collazos, Yolibeth Rodríguez, Alejandra Castillo, Edier Castillo, Mario Tapia, Paola Sánchez, Vanessa Cabrera, Martha Isabel Tapia, Frank Rendón, Guety Daza, Andrea Ramírez, Juliana García, Viviana Mallama por su colaboración. A los señores asistentes de morgue Gerardo Jaramillo, Luis Tigreros, Héctor Chavarro, Andrés Zambrano, Jhonier González, Angié Banguero, José Varela, Edward Pinilla y Henar Daza por su ayuda. Al señor Wilson Pasquel por el apoyo para tomar algunas fotografías. A los señores Elías Enríquez y Julio de los Ríos por facilitar los objetivos de prueba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Orcrom Seguridad. Tecnología Garrett, garantía de seguridad en eventos deportivos. [Internet]. Barcelona: Orcrom Seguridad; 2022 [consultado 24 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.orcromseguridad.com/es/tecnologia-garrett-garantia-de-seguridad-en-eventos-deportivos/>
2. Shellock FG, Karacozoff AM. Detection of implants and other objects using a ferromagnetic detection system: implications for patient screening before MRI. *AJR Am J Roentgenol*. 2013; 201(4): 720-725. doi: 10.2214/AJR.12.10332.
3. Hamzah HB, James V, Manickam S, Ganapathy S. Handheld Metal Detector for Metallic Foreign Body Ingestion in Pediatric Emergency. *Indian J Pediatr*. 2018;85:618–24. doi: 10.1007/s12098-017-2552-5.

4. Nation J, Jiang W. The utility of a handheld metal detector in detection and localization of pediatric metallic foreign body ingestion. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2017; 92: 1-6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2016.10.035>.
5. Krencnik T, Jalsovec T, Klemenak M, Riznik P, Dolinsek J. Safety beyond Sight: Handheld Metal Detectors as Diagnostic Allies in the Management of Children Suspected to have Ingested Foreign Bodies. *Diagnostics (Basel).* 2024; 14(4): 356. doi: <https://doi.org/10.3390/diagnostics14040356>.
6. Planas O. Detectores de metales: ¿Cómo funciona un detector de metales?. SI: energia-nuclear.net; 2023 [consultado 20 febrero 2024]. Disponible en: <https://energia-nuclear.net/energia/electromagnetica/detectores-de-metales>
7. Centro de astrobiología (ES). Propiedades de la radiación electromagnética, En: Proyecto PARTNeR [Internet]. Madrid: Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental, LAEFF; 2009- [consultado 10 febrero 2024]. Disponible en: https://partner.cab.inta-csic.es/index.php?Section=Curso_Fundamentos_Capitulo_1
8. Easyweigh-group. X-Ray Inspection vs. Metal Detector: A Comprehensive Analysis. X-ray Inspection system [Internet]. Zhongshan (CN): Easyweigh;2023. [consultado 21 diciembre 2024]. Disponible en: <https://www.easyweigh-group.com/blogs/x-ray-inspection/comprehensive-analysis-between-x-ray-inspection-and-metal-detector/>
9. Connors GP. Diagnostic uses of metal detectors: a review. *Int J Clin Pract.* 2005; 59(8): 946-949. doi: 10.1111/j.1742-1241.2005.00456.x.
10. Seikel K, Primm PA, Elizondo BJ, Remley KL. Handheld metal detector localization of ingested metallic foreign bodies: accurate in any hands? *Arch Pediatr Adolesc Med.* 1999; 153(8): 853-857. doi: 10.1001/archpedi.153.8.853
11. Rodríguez JV. Introducción a la Antropología Forense Análisis e Identificación de Restos Óseos Humanos. Santafé de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Antropología.1994.
12. Lafferty M, Lyttle MD, Mullen N; PERUKI. Ingestion of metallic foreign bodies: A Paediatric Emergency Research in the United Kingdom and Ireland survey of current practice and hand-held metal detector use. *J Paediatr Child Health.* 2021;57(6):867-871.
13. Guanà R, Bianco E, Garofalo S, Castagno E, Cisarò F, Lemini R, Marchese V, Gennari F. Handheld metal detector versus conventional chest and abdominal plain radiography in children with suspected metallic foreign body ingestion:can we safely abandon X-ray? *Minerva Pediatr (Torino).* 2023;75(6):803-807. doi: 10.23736/S2724-5276.20.05674-1.
14. Stone JL, Williams J, Fearn L. Simple hand-held metal detectors are an effective means of detecting cardiac pacemakers in the deceased prior to cremation. *J Clin Pathol* 2010; 63: 463-464. doi: 10.1136/jcp.2009.073684.
15. Colombia. Ministerio de Salud Pública. Decreto 786 de 1990 del 16 de abril de 1990. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título IX de la Ley 09 de 1979, en cuanto a la práctica de autopsias clínicas y médico -legales, así como viscerotomías y se dictan otras disposiciones. *Diario Oficial No. 39.300*[Internet] 17 de abril de 1990. [consultado 21 octubre 2024]. Disponible en: https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/compilacion/docs/decreto_0786_1990.htm
16. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (CO). Guía de procedimientos para la realización de necropsias medicolegales. 2da ed. Bogotá: INMLCF; 2004.
17. Morales Rodríguez ML. Manual para la práctica de autopsias médico-legales. Bogotá: Instituto Nacional

de Medicina Legal y Ciencias Forenses;2000.

18. Sanabria Sierra W. Heridas por proyectil disparado por armas de fuego - Balística de efectos. [Internet].

Pereira(CO): Universidad Libre; 2009. [consultado 10 mayo 2024]. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/28555/CD0130.pdf?sequence=1>

19. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (CO). Puntos de atención patología a nivel nacional, Subdirección de Servicios Forenses. [Internet]. Bogotá (CO): INMLCF;2019. [consultado 21 diciembre 2024]. Disponible en: https://www.medicinalegal.gov.co/documents/2014/3/108228/PuntosAtencionPatologia_2019.pdf/e544751f-9401-d634-3e33-6b1c261c995a

20. Barajas Calderón HI. La intervención de la radiología e imagenología forense en la lesionología por radiación ionizante y no ionizante. Cienc lat. 2022; 6(3): 2954-2973. doi: 10.37811/cl_rcm.v6i3.2431

21. GARRETT. Detectores de metales Garret: Conceptos básicos de la bobina de búsqueda [Internet]. Garland (US): Garrett Metal Detectors; sf. [consultado 24 febrero 2024]. Disponible en: <https://garrett.com/searchcoil-basics>

22. Métodos y fórmulas para 1 proporción: Método del intervalo de confianza exacto de Clopper-Pearson. [Internet]. Pennsylvania (US): Minitab, LLC;2025. [consultado 10 enero 2025]. Disponible en: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/1-proportion/methods-and-formulas/methods-and-formulas/#clopper-pearson-exact-confidence-interval-method>

23. Mi detector de metales.com. ¿Qué Tan Profundo Puede Detectar un Detector de Metales? Guía Completa y Consejos. [Internet]. Alcora (ES): midetectordemetales.com; [consultado 24 febrero 2024]. Disponible en: <https://midetectordemetales.com/que-tan-profundo-puede-detectar-un-detector-de-metales/>
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/1001/28555/CD0130.pdf?sequence=1>

conflicto de interés:
La obtención del consentimiento de experimentación se realizó con base a lo establecido en la normativa institucional donde se realizó la experimentación* y se contó con el aval institucional.

*Ley la ley Colombiana N° 2287 del 13 de enero de 2023, Título II, Capítulo I, sobre la obtención de muestras y consentimiento informado, en su artículo 10. Consentimiento informado, disponible en: [https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30045186#:~:text=\(enero%2013\),Por%20medio%20de%20la%20cual%20se%20crea%20el%20Sistema%20Nacional,y%20se%20dictan%20otras%20disposiciones](https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30045186#:~:text=(enero%2013),Por%20medio%20de%20la%20cual%20se%20crea%20el%20Sistema%20Nacional,y%20se%20dictan%20otras%20disposiciones).