



Aplicación de fluorescencia de rayos X en el análisis químico de residuos de disparo (GSR) en el lugar de los hechos: una revisión sistemática

Autor

John Jairo Roncancio García

Químico

Director

Dennis Mauricio Ocampo Chagüendo

Grupo de Investigación en Electroquímica y Medio Ambiente (GIEMA)

Línea de Investigación: Aseguramiento de la calidad

**Facultad de Ciencias Básicas
Programa de Química
Universidad Santiago de Cali
Santiago de Cali - Colombia
2026**

IMPACTOS

Relacione el (los) impacto(s) que presentó el Trabajo de Grado según los siguientes criterios:

IMPACTO	PRODUCTO	BENEFICIARIO(S)
Económico	Espectros químicos, evidencia física intacta	Peritos balísticos, laboratorios forenses, investigadores policiales, fiscales, jueces y tribunales.
Responsabilidad social		
Científico	Revisión de literatura	Comunidad científica.
Indicadores de Gestión		
Tecnológico	X- ray Fluorescence	Manejo de evidencia de manera no destructivas. Peritos balísticos, laboratorios forenses, investigadores policiales, fiscales, jueces y tribunales.
Técnico	X- ray Fluorescence	Uso de una herramienta ágil y científica para la etapa de orientación, evaluación de la escena y selección de muestras para análisis más profundos. Peritos balísticos, laboratorios forenses, investigadores policiales, fiscales, jueces y tribunales.
Ambiental	Compilación de técnicas amigables con el medio ambiente	Comunidad en general.
Social	X- ray Fluorescence	Se logra una justicia mas eficiente basada en ciencia objetiva no destructiva.
Cultural		

APLICACIÓN DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X EN EL ANÁLISIS QUÍMICO DE RESIDUOS DE DISPARO (GSR) EN EL LUGAR DE LOS HECHOS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

john.roncancio00@usc.edu.co

¹Grupo de Investigación GIEMA, Programa de Química. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Santiago de Cali. Campus Pampalinda Calle 5 # 62-00. Santiago de Cali. Colombia

RESUMEN

El estudio de los residuos de disparo (GSR) presentó limitaciones por costos y tiempos de técnicas tradicionales como MEB-EDX. Debido a esto, se evaluó la viabilidad de implementar la espectroscopía de fluorescencia de rayos X (XRF) y sus variantes (micro-XRF y TXRF), combinadas con análisis quimiométricos (PCA), como alternativa de tamizaje más rápida, económica y no destructiva. El objetivo fue analizar la capacidad y alcance de la XRF para detectar, cuantificar y discriminar GSR en diferentes soportes y condiciones extremas.

La metodología abarcó tres enfoques experimentales: el análisis por micro-XRF de muestras en manos y rostro de un tirador; la evaluación con XRF portátil en costillas bovinas impactadas y calcinadas a 800 °C; y la recolección de muestras con hisopos tras disparar, cuyos extractos fueron analizados por TXRF y modelos PCA.

Los resultados demostraron que la micro-XRF identificó efectivamente plomo (Pb) y bario (Ba), aunque el calcio de la piel interfirió con el antimonio (Sb). En los restos óseos, los componentes inorgánicos del GSR sobrevivieron la calcinación, mostrando mayor intensidad con proyectiles sin camisa. Finalmente, combinando TXRF y PCA se diferenció con éxito cinco calibres y el tipo de arma (pistola o revólver), con limitaciones solo en detonaciones aisladas de calibre .32.

Se concluyó que la XRF constituyó una alternativa idónea, rápida y accesible para el análisis preliminar de GSR. Su naturaleza no destructiva permitió preservar evidencias degradadas por fuego y clasificar municiones mediante datos automatizados.

Palabras clave: Rayos X; Residuos de disparos; GSR, Fluorescencia rayos X, XRF.

APPLICATION OF X-RAY FLUORESCENCE IN THE CHEMICAL ANALYSIS OF GUNSHOT RESIDUE (GSR) AT THE SCENE: A SYSTEMATIC REVIEW

ABSTRACT

The study of gunshot residue (GSR) faced limitations regarding the costs and processing times of traditional techniques such as SEM-EDX. Consequently, the viability of implementing X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) and its variants (micro-XRF and TXRF), combined with chemometric analysis (PCA), was evaluated as a faster, more cost-effective, and non-destructive screening alternative. The objective was to analyze the capability and scope of XRF to detect, quantify, and discriminate GSR on different substrates and under extreme conditions.

The methodology encompassed three experimental approaches: micro-XRF analysis of samples collected from the hands and face of a shooter; portable XRF evaluation of impacted bovine ribs subsequently calcined at 800 °C; and swab sample collection after discharging firearms, where the extracts were analyzed using TXRF and PCA models.

The results demonstrated that micro-XRF effectively identified lead (Pb) and barium (Ba), although calcium in the skin interfered with antimony (Sb) detection. In the skeletal remains, the inorganic components of GSR survived calcination, showing higher intensity withunjacketed projectiles. Finally, the combination of TXRF and PCA successfully differentiated five calibers and the type of firearm (pistol or revolver), exhibiting limitations only with isolated detonations of a .32 caliber.

It was concluded that XRF constituted a suitable, rapid, and accessible alternative for preliminary GSR analysis. Its non-destructive nature allowed the preservation of evidence severely degraded by fire and facilitated ammunition classification through automated data processing.

Keywords: *X-ray; gunshot; GSR, Fluorescence Xray, XRF.*

HIGHLIGHTS

- **Detección rápida y directa sobre la piel:** El análisis mediante micro-XRF demostró ser altamente efectivo para identificar de forma rápida y preliminar la presencia de plomo (Pb) y bario (Ba) en las manos y el rostro del tirador.
- **Resistencia a la degradación térmica:** Los componentes inorgánicos de los residuos de disparo demostraron una notable estabilidad térmica, logrando sobrevivir en restos óseos sometidos a condiciones extremas de calcinación de hasta 800 °C.
- **Discriminación avanzada de calibres y armas:** La combinación de la técnica TXRF con el análisis estadístico multivariado (PCA) logró clasificar y diferenciar con éxito los perfiles elementales de cinco calibres de munición (.40, 9 mm, .380, .38 y .308) y distinguir el tipo de arma empleada (pistola o revólver).

1. INTRODUCCIÓN

Los residuos de disparo (Gunshot Residue, GSR) constituyen una de las principales evidencias físicas muy relevantes en la investigación balística forense, ya que permiten reconstruir aspectos fundamentales del evento delictivo, tales como la distancia de disparo, el tipo de munición y posible participación de un individuo en el uso de un arma de fuego. Estos residuos corresponden a una mezcla compleja de partículas metálicas y productos de combustión generados durante la detonación de la pólvora por el fulminante, los cuales suelen depositarse sobre la piel, cabello, tejidos de la ropa o accesorios, superficies cercanas y el entorno inmediato del lugar de los hechos.

Tradicionalmente, el análisis de GSR se ha realizado mediante métodos químicos e instrumentales como la espectroscopía de absorción atómica o la microscopía electrónica de barrido acoplada a espectrometría de energía dispersiva (SEM-EDS.). Aunque estas técnicas ofrecen alta sensibilidad y especificidad, suelen requerir preparación de muestra, pueden resultar parcialmente destructivas y demandan infraestructura especializada, limitando su aplicación directa en escenarios forenses operativos.

En este contexto, durante la última década ha aumentado el interés por metodologías menos destructivas capaces de preservar la evidencia y permitir análisis rápidos in situ. Entre estas, la fluorescencia de rayos X (XRF) se ha consolidado como una herramienta prometedora para la caracterización elemental de evidencias forenses, debido a su capacidad para identificar metales característicos del GSR —como plomo (Pb), antimonio (Sb), bario (Ba) y cobre (Cu)— sin alterar la muestra. Asimismo, la XRF permite el análisis directo de diferentes sustratos, incluyendo textiles y superficies sólidas, lo cual es muy relevante para trabajar en el lugar de los hechos.

Diversos estudios recientes han demostrado el potencial de técnicas físicas no destructivas para el análisis de residuos de disparo y la estimación de parámetros balísticos, destacando la importancia de la cuantificación objetiva de los patrones de residuos y su relación con la distancia de disparo

De forma complementaria, investigaciones sobre caracterización forense mediante técnicas no invasivas resaltan el valor de la XRF como método rápido, reproducible y compatible con otros enfoques analíticos para fortalecer la interpretación pericial

No obstante, a pesar del crecimiento de la literatura, la evidencia disponible se encuentra dispersa y presenta variabilidad metodológica, lo que dificulta establecer conclusiones consolidadas sobre el desempeño real de la XRF en escenarios forenses de campo. Por ello, resulta necesario integrar sistemáticamente los hallazgos existentes.

En este marco, el presente trabajo tiene como objetivo realizar una revisión sistemática de la literatura científica sobre la aplicación de la fluorescencia de rayos X en el análisis químico de residuos de disparo en el lugar de los hechos, con el fin de identificar los principales enfoques metodológicos, los elementos químicos reportados, las ventajas operativas y las limitaciones técnicas, así como su contribución a la toxicología y balística forense contemporánea.

2. METODOLOGÍA

Diseño del estudio

Se desarrolló una revisión sistemática de la literatura siguiendo los lineamientos generales de la declaración PRISMA, apoyada en la plataforma Rayyan como herramienta principal para la gestión de referencias, eliminación de duplicados y proceso de cribado colaborativo. El enfoque del estudio fue cualitativo–descriptivo, orientado al análisis comparativo de investigaciones experimentales y aplicadas relacionadas con el uso de fluorescencia de rayos X y técnicas no destructivas en la detección de residuos de disparo.

2.1. Búsqueda bibliográfica y criterios de inclusión y exclusión.

La búsqueda bibliográfica se realizó en bases de datos científicas reconocidas (Oxford Academic, MDPI, SAGE Journal y Google Scholar), empleando combinaciones de los siguientes descriptores en inglés y español:

- “Gunshot residue”
- “X-ray fluorescence”
- “XRF forensic analysis”
- “crime scene”
- “residuos de disparo”
- “fluorescencia de rayos X”

Los resultados fueron exportados en formato RIS/BibTeX e importados a Rayyan para su organización inicial.

Proceso de selección de estudios (Rayyan)

Criterios de inclusión

Se incluyeron estudios que cumplieran con los siguientes requisitos:

- Artículos originales o tesis académicas.
- Publicados entre 2015 y 2026.
- Aplicación directa de XRF o técnicas físicas complementarias al análisis de GSR.
- Enfoque forense (escena del crimen, textiles, superficies o evidencia relacionada).
- Disponibilidad de texto completo.

Criterios de exclusión

Se excluyeron trabajos que:

- No emplearan fluorescencia de rayos X.
- Se centrarán exclusivamente en SEM-EDS. sin comparación con XRF.
- Correspondieran a revisiones narrativas sin datos experimentales.
- No abordaran residuos de disparo.

Selección de los estudios

Los registros recuperados fueron cargados en Rayyan, donde se ejecutaron las siguientes fases:

1. Eliminación automática y manual de duplicados.
2. Cribado por título y resumen, clasificando cada artículo como incluir, excluir o tal vez.
3. Evaluación a texto completo de los estudios preseleccionados.

Extracción de información

Se realizó una extracción de información a partir de las diferentes investigaciones y documentos forenses y mediante un proceso riguroso y selectivo que integró de manera exitosa los datos experimentales de diversas áreas forenses y analíticas. La estrategia de búsqueda y recopilación documental permitió extraer con precisión los parámetros operativos, las ventajas operacionales y las limitaciones críticas de las tres variantes de la fluorescencia de rayos X (micro-XRF, XRF portátil y TXRF).

Asimismo, la metodología de extracción demostró ser efectiva para capturar la complementariedad entre los datos químicos y las herramientas estadísticas multivariadas (PCA), dando evidencia de qué manera la literatura científica actual aporta soluciones concretas frente a las deficiencias de costo y tiempo de los métodos tradicionales como el MEB-EDX. En definitiva, la recolección y sistematización de estos datos permitió estructurar un panorama claro, robusto y validado sobre el verdadero alcance técnico de la XRF en la identificación y discriminación de residuos de disparo en escenas de crimen convencionales y extremas.

3. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

La figura 1 presenta el diagrama PRISMA de esta revisión sistemática donde se encontró que, a partir de 322 artículos identificados, solo se incluyeron 21 que cumplieron con todos los criterios de inclusión y exclusión. Además, la tabla 1 presenta la sinopsis de los artículos incluidos en esta revisión sistemática.

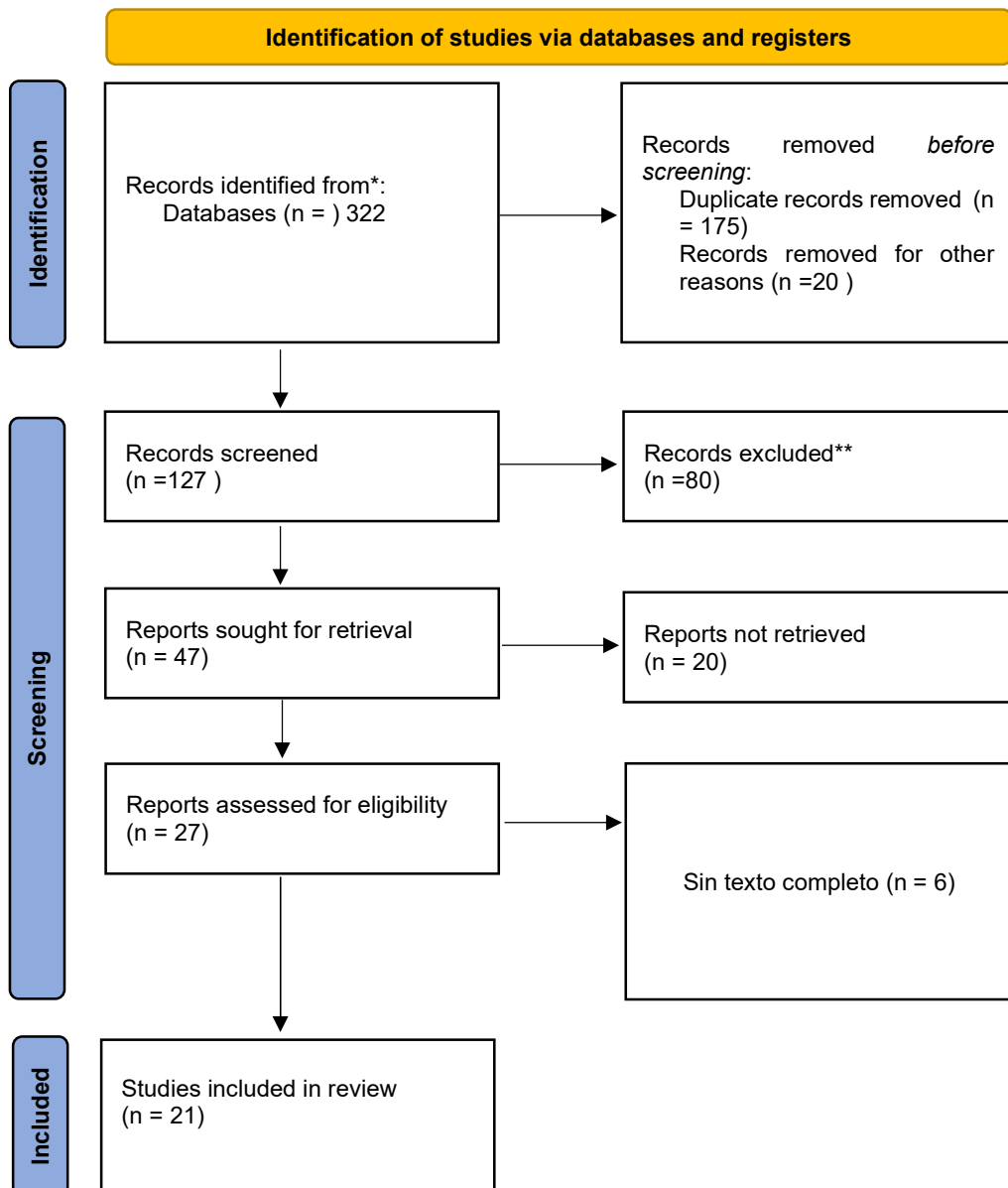


Figura 1. Diagrama PRISMA.

Tabla 1. Matriz de extracción de datos relevantes de los artículos incluidos en la revisión sistemática.

Título y autores	Contribuciones	Estudios a futuro	Hallazgos relevantes	Hallazgos clave	Referencia
Chemical analysis of gunpowder and gunshot residues. Miguel Serol, Samir Marcos Ahmad and another. 2023. [1] M. Serol, S. M. Ahmad, and A. Q. A. C. Familia, "Chemical Analysis of Gunpowder and Gunshot Residues," 2023. doi: 10.3390/molecules28145550.	Este artículo de revisión de Serol et al. (2023) realiza las siguientes aportaciones clave: Revisión exhaustiva de la composición de la pólvora y de los residuos de disparo (GSR): Documenta los principales componentes inorgánicos y orgánicos de los iniciadores y de las formulaciones de pólvora, abordando en particular la transición de municiones basadas en metales pesados a otras respetuosas con el medio ambiente debido a cambios normativos. Análisis de metodologías analíticas: Examina las técnicas de análisis químico actuales y emergentes para la detección, caracterización e identificación de	A partir de las conclusiones del artículo, las líneas clave para trabajos futuros incluyen: Enfoque de análisis combinado: Integrar el análisis estándar de residuos inorgánicos de disparo (IGSR) mediante SEM-EDX con el análisis cromatográfico o espectroscópico de compuestos orgánicos de residuos de disparo (OGSR), o bien utilizar técnicas únicas capaces de analizar ambos tipos (por ejemplo, espectroscopía Raman o FTIR). Estandarización de métodos para OGSR: Establecer metodologías analíticas estandarizadas	Resumen muy breve Esta revisión examina los métodos de análisis químico de la pólvora y los residuos de disparo (GSR) en balística forense. A medida que las normativas medioambientales impulsan el uso de munición sin plomo, el campo está evolucionando desde el análisis de compuestos inorgánicos (metales pesados como plomo, bario y antimonio) mediante SEM-EDX hacia el análisis de compuestos orgánicos utilizando espectroscopia (FTIR, Raman) y cromatografía (GC-MS, LC-MS). Las técnicas de preparación de muestras incluyen SPME y HSSE. Las aplicaciones avanzadas que emplean quimiometría y aprendizaje automático permiten la identificación de la munición, la	Este artículo de revisión sobre análisis químico de pólvora y residuos de disparos identifica los siguientes hallazgos clave: Transición del análisis inorgánico al orgánico: Debido a la prohibición de la munición con plomo, el análisis tradicional de residuos inorgánicos de disparo (IGSR) centrado en metales pesados (Pb, Ba, Sb) está perdiendo eficacia. Los investigadores se centran cada vez más en compuestos orgánicos de residuos de disparo (OGSR). Compuestos OGSR: Se han identificado más de 130 compuestos orgánicos en residuos de disparos, incluyendo nitrocelulosa,	Serol, M., Ahmad, S.M., Quintas, A., & Familia, C. (2023). Chemical analysis of gunpowder and gunshot residues. Molecules, 28(14), 5550. doi.org (p. 1)

	compuestos de residuos de disparo, incluyendo: Métodos espectroscópicos (FTIR, Raman) Técnicas cromatográficas (GC, LC, HPLC) Métodos de preparación de muestras (SPME, HSSE) Aplicaciones emergentes en balística forense: Explora aplicaciones novedosas que utilizan herramientas quimiométricas y aprendizaje automático para: Estimar el tiempo transcurrido desde el disparo Identificar el fabricante y el modelo de la munición Determinar la distancia de disparo Discriminar partículas de GSR Orientación sobre estandarización: Identifica la técnica SPME/GC-MS como una metodología prometedora para estandarizar el	para compuestos orgánicos, identificando la técnica de SPME seguida de GC-MS como la opción más prometedora para lograr dicha estandarización. Estandarización del análisis de datos: Definir métodos normalizados para la interpretación de datos mediante quimiometría y procedimientos estadísticos, con el fin de crear bases de datos comparativas. Desarrollo de nuevas aplicaciones: Continuar explorando modelos predictivos para: Determinar el tiempo transcurrido desde el disparo. Estimar las distancias de disparo. Identificar fabricantes y modelos de munición. Tecnologías	determinación del momento y la distancia del disparo, así como la clasificación del fabricante. El análisis combinado de los componentes orgánicos e inorgánicos de los GSR aporta un mayor valor forense, destacando la técnica SPME/GC-MS como una opción prometedora para la estandarización.		
--	---	---	---	--	--

	análisis de residuos de disparo orgánicos (OGSR) y destaca la importancia de los enfoques de análisis combinado inorgánico-orgánico. Adaptación a las normativas medioambientales: Aborda cómo los cambios en las formulaciones de las municiones requieren nuevos paradigmas analíticos que trasciendan la detección tradicional de metales pesados.	emergentes: Investigar más a fondo el uso de marcadores artificiales en la fabricación de munición (por ejemplo, compuestos orgánicos de lantánidos) y avanzar en el desarrollo de herramientas quimiométricas emergentes para sistemas de análisis de GSR automatizados o semiautomatizados.			
--	---	--	--	--	--

Scanning electrón microscopy techniques in the analysis of gunshot residues: Literature review Matteo Antonio Sacco, Saverio Gualtieri and 8 others 2025 0 quotes [1] M. A. Sacco et al., "Scanning electrón microscopy techniques in gunshot residue analysis: a Literature review," 2025. doi: 10.3390/app15052634. Técnicas de microscopía electrónica de barrido en el análisis de residuos de disparos: Revisión bibliográfica Matteo Antonio Sacco, Saverio Gualtieri y 8 más 2025	Este artículo de revisión bibliográfica presenta contribuciones en múltiples áreas: Resumen metodológico: Examen exhaustivo de las técnicas SEM-EDS para el análisis de residuos de disparo (GSR), incluyendo recogida, preparación y procedimientos analíticos de muestras. Avances tecnológicos: Documentación de mejoras tecnológicas recientes en SEM, como detectores EDS mejorados, software automatizado de reconocimiento de partículas y dispositivos portátiles de SEM para análisis de campo. Síntesis de aplicaciones forenses: Integración de hallazgos sobre detección de residuos de disparo de disparo (GSR),	Según el artículo, las principales líneas de trabajo futuras incluyen: Integración de IA y Aprendizaje Automático: Automatización de la identificación y clasificación de partículas para reducir errores humanos, mejorar la precisión y procesar grandes conjuntos de datos de forma más eficiente. Miniaturización y portabilidad de instrumentos: Desarrollo de dispositivos SEM compactos y portátiles para análisis forense en tiempo real en escenas del crimen, manteniendo una resolución y sensibilidad adecuadas. Técnicas avanzadas de imagen: Implementación de métodos de imagen 3D como la tomografía electrónica para proporcionar vistas	Esta revisión bibliográfica examina técnicas de microscopía electrónica de barrido (SEM) para analizar residuos de disparo (GSR) en investigaciones forenses. El artículo aborda los principios fundamentales del MEB, los detectores (electrones secundarios, electrones retro dispersados y espectroscopía de rayos X) y las aplicaciones en la identificación de residuos de disparo (GSR). Analiza enfoques metodológicos que incluyen la recogida y preparación de muestras, procedimientos analíticos e interpretación de resultados. Los hallazgos clave destacan el SEM-EDS como el estándar de oro para la detección de residuos de carbón de carbón (GSR), desafíos como falsos positivos por contaminantes ambientales y tecnologías	Esta revisión bibliográfica sobre técnicas de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) para el análisis de residuos de disparo (GSR) identifica los siguientes hallazgos clave: Hallazgos principales: SEM como Estándar de Oro: El SEM junto con espectroscopía de rayos X dispersiva de energía (SEM-EDS) es el estándar de oro para la detección de residuos de disparo (GSR), proporcionando análisis morfológico y elemental simultáneo de partículas que contienen plomo (Pb), bario (Ba) y antimonio (Sb). Avances tecnológicos: Las mejoras recientes en detectores EDS, algoritmos automáticos de reconocimiento de partículas y cañones de electrones de emisión de campo han mejorado significativamente la sensibilidad, precisión y eficiencia del análisis de residuos de disparo de disparo (GSR), al tiempo que reducen los falsos positivos y falsos negativos. Persistencia y distribución de la muestra: Las partículas de residuos de residuos muestran persistencia variable en diferentes regiones del cuerpo, con concentraciones más altas en las manos, aunque los sitios alternativos (antebrazos, cara y orejas) resultan efectivos cuando se lavan las manos. Desafío de contaminación ambiental: Las partículas	Sacco, M.A., Gualtieri, S., Santos, A., Mendes, B., Raffaele, R., Tarallo, A.P., Verrina, M.C., Ranno, F., Monterossi, M.D., Ricci, P., & Aquila, I. (2025). Scanning electrón microscopy techniques in the analysis of gunshot residues: A Literature review. Applied Sciences, 15(5), 2634. doi.org
--	---	---	---	--	---

0 citas [1] M. A. Sacco et al., "Técnicas de microscopía electrónica de barrido en el análisis de residuos de disparos: una revisión bibliográfica," 2025. doi: 10.3390/app15052634.	persistencia, dinámica de transferencia secundaria y protocolos estandarizados para investigaciones forenses. Análisis comparativo: Evaluación de SEM-EDS junto con técnicas complementarias (espectroscopía Raman, TOF-SIMS, XPS) para mejorar la identificación de residuos de energía de disparo (GSR). Desafíos y soluciones: Identificación de limitaciones (falsos positivos/negativos, contaminación ambiental) y discusión de soluciones emergentes, incluyendo la integración de IA y aprendizaje automático. Perspectivas de futuro: Exploración de tecnologías emergentes (SEM portátil, automatización por IA, imagen 3D) y su potencial para	estructurales tridimensionales de muestras. Integración espectroscópica complementaria: Combinar SEM-EDS con técnicas como la espectroscopía Raman, XPS, TOF-SIMS y EBSD para mejorar la especificidad química y reducir falsos positivos. Análisis de munición sin plomo: Desarrollo de nuevas estrategias analíticas para detectar tipos emergentes de munición que carecen de marcadores elementales tradicionales (Pb, Ba, Sb). Estandarización y validación: Establecimiento de protocolos universales y estudios de validación Inter laboratorios para garantizar la consistencia y fiabilidad entre laboratorios	emergentes como dispositivos SEM portátiles, automatización por inteligencia artificial y técnicas complementarias como la espectroscopía Raman y el TOF-SIMS para mejorar la precisión y fiabilidad forense.	ambientales de revestimientos de freno, fuegos artificiales y soldadura pueden imitar partículas de residuos de disparo de sol, lo que requiere criterios estrictos de clasificación y técnicas analíticas complementarias. Tecnologías emergentes: Los dispositivos SEM portátiles permiten el análisis in situ en tiempo real, mientras que la integración de IA y aprendizaje automático mejora la clasificación automatizada de partículas y reduce el error humano. Necesidad de estandarización: Existe una variabilidad significativa en los laboratorios forenses en las prácticas de clasificación de residuos de carbón de salvación, lo que pone de manifiesto la necesidad crítica de protocolos y estándares universalmente aceptados.	
--	--	--	--	--	--

	mejorar la precisión y eficiencia forense. Defensa de la estandarización: Énfasis en la necesidad de protocolos universales y validación Inter laboratorio para garantizar la coherencia y credibilidad judicial de los análisis forenses basados en SEM.	forenses. Automatización de la preparación de ejemplos: Refinamiento de procesos automatizados de fijación e incrustación para minimizar errores humanos y mejorar la reproducibilidad.			
--	--	--	--	--	--

[1] <u>Metodos_de_determinacion_de_residuos_de_disparo_que_pueden_aplicarse_al_sistema_criminalistico_de_la_Policia_Nacional_del_Peru</u>, "Metodos_de_determinacion_de_residuos_de_disparo_que_pueden_aplicarse_al_sistema_criminalistico_de_la_Policia_Nacional_del_Peru," 2026. doi: 10.25009/revmedforense.v9i2.3049.	Métodos de determinación de residuos de disparo Este artículo de revisión evalúa tres técnicas fundamentales para detectar residuos de disparo (GSR) aplicables al sistema forense de la Policía Nacional de Perú: Espectrofotometría de Absorción Atómica (AAS) - Actualmente utilizada por laboratorios peruanos; cuantifica elementos con alta sensibilidad pero corre el riesgo de falsos positivos o negativos por contaminación ambiental. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-EDX) - Identifica la GSR mediante caracterización morfológica; preserva las muestras para su reanálisis y minimiza los resultados falsos, pero no puede cuantificar los elementos.	El documento no contiene explícitamente una sección dedicada a "Trabajo Futuro". Sin embargo, la conclusión implica direcciones futuras mediante: recomendar la selección de técnicas para la Policía Nacional del Perú en función de sus necesidades técnicas y logísticas, sugerir la implementación de los métodos revisados (Espectrofotometría de Absorción Atómica, Microscopía Electrónica de Barrido y Espectrometría de Plasma Acoplado Inductivamente) Proponer el SEM como el enfoque óptimo para el análisis de residuos de disparos debido a su capacidad para discriminar fuentes de contaminación y conservar muestras para su	Este artículo de revisión examina tres técnicas fundamentales para determinar residuos de disparo (GSR) aplicables al sistema forense de la Policía Nacional de Perú: espectrofotometría de absorción atómica (AAA), microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectrometría de plasma acoplado inductivamente (ICP). Aunque los tres métodos detectan eficazmente elementos inorgánicos de la GSR (plomo, antimonio, bario), el MEV ofrece una especificidad superior al caracterizar la morfología de partículas y preservar muestras para su reanálisis, minimizando falsos positivos o negativos. Sin embargo, AAA e ICP proporcionan una mejor cuantificación y un análisis multimuestral más rápido. La elección de la técnica depende de las necesidades institucionales, la capacidad técnica y los requisitos de la investigación.	Esta revisión examina tres técnicas fundamentales para detectar residuos de disparo (GSR) aplicables al sistema forense de la Policía Nacional de Perú: Se analizaron tres técnicas: Microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX): Distingue mejor las partículas de GSR por morfología, evita falsos positivos/negativos y conserva muestras para su reanálisis. Las limitaciones incluyen la imposibilidad de cuantificar elementos y el tiempo prolongado de análisis. Espectrofotometría de Absorción Atómica (AAS): Actualmente utilizada por los laboratorios de la Policía Nacional de Perú. Proporciona cuantificación específica por elemento hasta partes por billón (ppb) con una tasa de éxito de ~90%, pero no puede confirmar si los metales detectados provienen de residuos de carbono u otras fuentes de contaminación, y destruye muestras. Espectrometría de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS): Cuantifica simultáneamente hasta 72 elementos en 2 minutos con alta sensibilidad (nivel ppb), pero de forma similar no puede distinguir el origen de la GSR de otras fuentes de contaminación y destruye muestras. Conclusión: Se recomienda SEM-EDX como superior para	Portilla S., A. J. (2024). Métodos de determinación de residuos de disparo que pueden aplicarse al sistema criminalístico de la Policía Nacional del Perú. Revista Mexicana de Medicina Forense y Ciencias de la Salud, 9(2), 124-133. doi.org
--	--	--	--	---	---

	Espectrometría de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) - Analiza rápidamente múltiples elementos simultáneamente con alta sensibilidad, pero destruye muestras y no puede confirmar el origen de la GSR. Conclusión: Se recomienda SEM-EDX como el método más fiable para distinguir la GSR auténtica de la contaminación ambiental, mientras que AAS e ICP-MS apoyan eficazmente las investigaciones mediante cuantificación.	reanálisis, indica que esto debería guiar los protocolos forenses futuros Sugieren que el artículo sirva como referencia para que los investigadores criminalistas en Perú adopten técnicas adecuadas de análisis de residuos de disparo, lo que implica la futura adopción y estandarización de estos métodos en los laboratorios forenses peruanos		investigaciones forenses debido a su capacidad para caracterizar la morfología de partículas y preservar pruebas para su reexamen, a pesar de las limitaciones en la cuantificación. La elección depende en última instancia de las necesidades operativas y recursos de la Policía Nacional de Perú.	
--	--	--	--	--	--

Rectification the well known hand with gunshot Xray Fluorescence 2025	Este artículo establece que la famosa radiografía de la "mano con disparo" atribuida a M.I. Pupin y publicada en 1931 es una falsificación. Las principales contribuciones son: Documentación histórica: A través de investigaciones en periódicos de Nueva York y registros de la Universidad de Columbia, los autores identificaron que Pupin en realidad obtuvo dos radiografías de la mano del paciente Prescott Hall Butler los días 15 y 19 de febrero de 1896, no la única imagen que se publicó posteriormente. Autenticación del original: Los autores localizaron y verificaron la placa radiográfica original del 19 de febrero de 1896 (descubierta en 1974), y rastrearon la radiografía auténtica publicada en Scientific American el 21 de	El documento no especifica explícitamente una sección dedicada al "Trabajo Futuro". Sin embargo, los autores identifican varias cuestiones sin resolver que sugieren implícitamente áreas para una investigación adicional: Identificación del falsificador: Los autores reconocen que "probablemente nunca sabremos con certeza quién encargó el fraude, quién lo cometió y quién lo sabía." Ubicación de la radiografía falsificada: A pesar de las consultas a la Sociedad Radiológica de Norteamérica (RSNA) y al Colegio Americano de Radiología (ACR), el depósito de la huella de rayos X falsificados sigue sin determinarse. Aclaración del conocimiento de	Este artículo demuestra que la famosa radiografía de "mano con disparo" atribuida a M.I. Pupin y publicada en 1931 es una falsificación. Los autores demuestran mediante investigaciones históricas de prensa que Pupin obtuvo dos radiografías legítimas de la mano del paciente Prescott Hall Butler los días 15 y 19 de febrero de 1896—la segunda de las cuales fue publicada en Scientific American el 21 de marzo de 1896. Hacia 1930, Pupin firmó una radiografía diferente de una mano disparada y la envió a Otto Glasser para su biografía de Röntgen en 1931. Esta imagen falsificada, que presenta diferencias anatómicas y pellets ausentes en comparación con la original, fue posteriormente reproducida en los principales libros de historia de la radiología (1965, 1969) como evidencia auténtica de la supuesta invención de Pupin de la pantalla intensificadora. La	El hallazgo clave de este artículo es que la famosa radiografía "mano con disparo" atribuida a M.I. Pupin y publicada en 1931 es una falsificación de la radiografía original tomada el 19 de febrero de 1896. Puntos principales: Radiografías originales: Pupin tomó dos radiografías de la mano herida por bala del paciente Prescott Hall Butler los días 15 y 19 de febrero de 1896. La imagen del 19 de febrero se publicó en Scientific American (21 de marzo de 1896) y la placa original fue descubierta en 1974. La falsificación: Alrededor de 1930, Pupin firmó una radiografía contemporánea de una mano similar y la envió a Otto Glasser para su biografía de Röntgen de 1931, afirmando falsamente que era su imagen histórica de 1896 que demostraba el uso de una pantalla intensificadora. Difusión generalizada: La imagen falsificada fue posteriormente reproducida en importantes libros de historia de la radiología (1965, 1969) y muchas otras publicaciones, perpetuando la falsa atribución. Por qué importa: La falsificación tergiversó las contribuciones y logros reales de Pupin, lo que llevó a reclamaciones erróneas de crédito sobre el primer uso de pantallas intensificadoras y cirugía guiada por rayos X en Estados Unidos.	Monville, J.-F., & Dondelinger, R. F. (2025). Rectification: The well-known "hand with gunshot" radiograph signed by M.I. Pupin (1858–1935) and published in 1931 is a forgery. Rofo. Avanzada publicación en línea. doi.org
---	--	---	--	--	---

	marzo de 1896. Identificación de falsificaciones: Comparando detalles anatómicos, posiciones de los proyectiles, calidad radiográfica y artefactos, demostraron que la radiografía publicada por Glasser en 1931 (y posteriormente reproducida en los principales textos de historia de la radiología en 1965 y 1969) es una falsificación rudimentaria realizada alrededor de 1930. Corrección del registro histórico: Los autores aclaran que, aunque Pupin sugirió usar pantallas fluorescentes en febrero de 1896, la evidencia contemporánea muestra que no se usó ninguna pantalla intensificadora real en las radiografías publicadas de Butler, contradiciendo la narrativa falsa	Pupin: Si Pupin usó la falsificación a sabiendas "con o sin conocimiento del fraude" sigue sin estar claro. Reevaluación histórica más amplia: El artículo implícitamente pide la corrección de los registros históricos que han perpetuado la falsa atribución de esta imagen falsificada como un ejemplo auténtico de la tecnología de pantalla en intensificación temprana.	placa original de 1896 fue redescubierta en 1974. El artículo concluye que, aunque Pupin merece crédito por sugerir pantallas fluorescentes en 1896, la radiografía falsa fue falsamente promovida como prueba de su trabajo pionero, y sus afirmaciones sobre la primera guía quirúrgica de rayos X en América son infundadas.	Registros históricos: Los relatos periodísticos contemporáneos y la publicación auténtica de 1896 muestran claramente que no se usó ni mencionó ningún biombo intensificador.	
--	--	---	--	--	--

	perpetuada por la imagen falsificada durante casi un siglo.				
--	---	--	--	--	--

Molybdenum in Gunshot Residue: Experimental Evidences and Detection Challenges in the Presence of Lead and Sulfur, S1431927621 000453jra 666..677, Unknown Author 2021 0 Citations [1] S1431927621 000453jra 666..677, "S1431927621 000453jra 666..677," 2021. doi: 10.1017/S1431927621000453.	Este artículo hace las siguientes contribuciones clave: Primera demostración experimental de que el molibdeno de lubricantes MoS₂ usados en armas de fuego aparece en residuos de disparo (GSR), detectables mediante análisis SEM/EDS. Identificación de desafíos de detección: Documenta cómo la familia L de molibdeno alcanza picos de rayos X a 2,3 keV en solapamiento con picos de plomo y azufre, lo que provoca que las rutinas automáticas de EDS no identifiquen el molibdeno, especialmente a voltajes estándar de análisis de GSR (20-25 kV). Desarrollo de procedimientos forenses mejorados: Propone una estrategia específica para	El documento no contiene explícitamente una sección dedicada a "Trabajo Futuro". Sin embargo, basándose en la discusión y las conclusiones, los autores sugieren implícitamente las siguientes instrucciones: Pruebas ampliadas con munición estándar: Prueba del procedimiento desarrollado con munición tradicional cebada con SINÓXIDO (que contiene plomo) para validar la estrategia de clasificación "Solo azufre" entre diferentes tipos de cebadores. Aumento de los disparos: Realizar experimentos con un mayor número de cartuchos disparados para construir poblaciones suficientes de residuos de disparo con Mo en las manos de los	Este artículo demuestra experimentalmente por primera vez que el molibdeno (Mo) de los lubricantes MoS₂ usados en armas de fuego aparece en residuos de disparo (GSR), detectables mediante análisis SEM/EDS. Hallazgos clave: Las emisiones de rayos X Mo a 2,3 keV se solapan con picos de plomo (Pb) y azufre (S), lo que provoca que las rutinas automáticas de detección no detecten la identificación de Mo, especialmente a tensiones de aceleración de 20-25 kV Mo solo debe considerarse detectado cuando las emisiones MoK cumplen los requisitos de relación pico-fondo Se desarrolló una nueva estrategia de detección: búsqueda automatizada de una clase de partículas "solo azufre" seguida de una revisión manual a 30 kV para confirmar la presencia de Mo Importancia: La presencia de	Primera evidencia experimental de molibdeno (Mo) en residuos de disparo (GSR) debido a lubricantes de armas a base de MoS₂ Desafío de detección: Las emisiones de rayos X de la capa L de molibdeno a 2,3 keV se solapan severamente con los picos de plomo (Pb) de la capa M y la capa K de azufre (S), lo que provoca que las rutinas automáticas de EDS pasen por alto o identifiquen erróneamente a Mo Requisito de detección: El molibdeno solo debe considerarse detectado cuando las emisiones de MoK (no MoL) cumplen con los requisitos mínimos de relación pico-fondo, requiriendo tensiones de aceleración más altas (≥25 kV) Procedimiento forense mejorado: Se desarrolló una estrategia dirigida utilizando una nueva clasificación de "solo azufre" a 20 kV para identificar partículas MoS₂, seguida de una revisión manual a 30 kV para confirmar la presencia de Mo en partículas de GSR Éxito experimental: Se recuperaron veinte partículas de GSR que contienen Mo de un arma de fuego y de las manos del tirador tras el disparo, confirmando que el lubricante MoS₂ es una fuente de Mo en la GSR Valor forense: El GSR que contiene Mo representa pruebas inusuales que podrían	Nunziata, F., Romolo, F. S., Burnett, B., Manna, L., Orsenigo, S., & Donghi, M. (2021). Molybdenum in gunshot residue: Experimental evidences and Detection Challenges in the Presence of lead and Sulfur. Microscopy and Microanalysis, 27(4), 666–677. doi.org
---	--	--	--	---	---

	detectar partículas que contienen Mo mediante: Añadir una clase de clasificación "Solo azufre" a las búsquedas automáticas de GSR Realizando revisión manual a 30 kV para excitar las emisiones de molibdeno K Establecer que Mo solo debe considerarse detectado cuando las emisiones MoK cumplen los requisitos mínimos de relación pico-fondo Orientación práctica para el trabajo de casos: Recomienda que las partículas de GSR que contienen molibdeno encontradas tanto en sospechosos como en armas de fuego constituyan pruebas forenses significativas, ya que el molibdeno es un elemento inusual de GSR.	tiradores e investigar los efectos de la memoria de las armas de fuego. Aplicación de casos: Implementación de la estrategia de detección propuesta en casos forenses reales para validar la fiabilidad del procedimiento y establecer que la GSR que contiene Mo como evidencia significativa en investigaciones penales. Estandarización: Trabajar para incorporar la metodología de clase "Solo azufre" en los procedimientos operativos estándar (SOP) y en las directrices internacionales (normas ASTM) para el análisis de residuos de azufre. Optimización a voltajes más bajos: Métodos de refinamiento adicional para detectar	partículas de residuos de disparo con Mo recuperadas tanto en sospechosos como en armas disparadas proporcionarían una sólida evidencia forense, ya que el molibdeno es un elemento inusual en los residuos de disparo (GSR). El procedimiento propuesto mejora los protocolos forenses estándar para el análisis de residuos de disparo (GSR).	reforzar el trabajo de casos cuando se recuperan tanto de armas sospechosas como disparadas	
--	---	--	--	--	--

		molibdeno de forma fiable a tensiones de aceleración convencionales más bajas (20-25 kV) utilizados en laboratorios forenses rutinarios.			
--	--	---	--	--	--

Estimating Diphenylamine in Gunshot Residues From a New Tool for Identifying Both Inorganic and Organic Residues in the Sample separations-06-00016.pdf 2026	Monomuestra integral: Logra el análisis secuencial orgánico e inorgánico a partir de un único hisopo seco (pp. 1, 13).Química verde: Sustituye disolventes orgánicos tóxicos (como acetona o metanol) por agua destilada (pp. 2, 10).Bajo costo instrumental: La miniaturización por CapLC-DAD alcanza sensibilidades competitivas frente a la espectrometría de masas (MS) a una fracción de su costo (p. 4).	Ampliación del panel: Desarrollar programas de elución para identificar simultáneamente mezclas de complejas de múltiples aditivos orgánicos de pólvora sin humo (pp. 2-3).Automatización : Explorar la transferencia del protocolo a dispositivos portátiles de campo (p. 4).	"Los kits de cinta de elevación proporcionaban menos sensibilidad para la DPA que los hisopos de algodón secos—unas catorce veces." (p. 1) "La posibilidad de fuentes ambientales y ocupacionales podría eliminarse cuando se encontrara DPA junto con residuos inorgánicos." (p. 1)	Tasa de positividad: DPA cuantificada con éxito en el 81% de los casos reales analizados (pp. 1, 12).Parámetros analíticos: Límite de detección (LOD) de 0.3 ng (0.15 ng/mL) y precisión intra-día de 9% RSD (pp. 1, 11).Superioridad del hisopo: Los kits de cinta adhesiva policial convencional (lift tape) demostraron ser 14 veces menos sensibles para capturar DPA que el hisopo seco (pp. 1, 10).Composición inorgánica: Confirmación de partículas esféricas de GSR (3-38 μm) compuestas principalmente por Ba (46%) y Sb (44%) (pp. 13-14).	Argente-García, A. I., Hakobyan, L., Guillem, C., & Campíns-Falcó, P. (2019). Estimating diphenylamine in gunshot residues from a new tool for Identifying Both Inorganic and Organic residues in the same Sample. Separations, 6(1), 16. doi.org
---	---	---	---	--	--

Feasibility of a New Method for Identification and Discrimination of Gunshot 2019 0 Citations [1] Feasibility_of_a_New_Metho d_for_Identific ation_and_Dis crimination_of_Gunshot, doi: 10.21577/0103 - 5053.2019017 3.	Este artículo presenta la primera aplicación de la Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total (TXRF) combinada con el Análisis de Componentes Principales (PCA) para identificar y discriminar residuos de disparo (GSR) de munición convencional de seis calibres diferentes (.40, 9mm, .380, .38, .32 y .308). Contribuciones clave incluyen: Método analítico novedoso: Demuestra el TXRF como una alternativa viable a la técnica estándar SEM-EDX para el análisis de residuos de disparo de aguja, ofreciendo ventajas como menores costes de instrumentación, volúmenes de muestra menores, alta sensibilidad y procedimientos más sencillos. Cuantificación multielemental: Cuantifica con éxito 14 elementos (Al, S,	Basándose en las conclusiones del artículo, los autores identifican las siguientes directrices para futuros estudios: Discriminación de munición del mismo fabricante en diferentes calibres: ampliando el análisis de un solo calibre Discriminación de munición de diferentes fabricantes en la misma arma: comprobar si el método puede distinguir entre las variaciones de munición de los fabricantes Los autores señalan que, aunque su método TXRF/PCA discriminó con éxito los residuos de disparo en seis calibres diferentes, estas mejoras validarían aún más la utilidad forense del método al abordar escenarios más complejos del mundo real que	Este estudio demuestra un método novedoso para identificar y discriminar residuos de disparo (GSR) utilizando la fluorescencia de rayos X por reflexión total (TXRF) combinada con el análisis de componentes principales (PCA). Se recogieron muestras de residuos de disparo de las manos de los tiradores y se analizaron para detectar 14 elementos inorgánicos (Al, S, Ca, K, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Sr, Sb, Ba, Pb). El método identificó con éxito la GSR y diferenció entre seis calibres de munición (.40, 9mm, .380, .38, .32, .308), aunque mostró una sensibilidad limitada para residuos de un solo disparo calibre .32. TXRF ofrece ventajas sobre el SEM-EDX convencional, incluyendo menores costes de instrumentación, menores requerimientos de muestra y procedimientos más sencillos, lo que lo convierte en una	Este artículo presenta un novedoso método TXRF-PCA para el análisis de residuos de disparo (GSR) con estos hallazgos principales: Viabilidad del método: La TXRF combinada con el análisis de componentes principales identificó y discriminó con éxito la GSR de la munición convencional en seis calibres diferentes (.40, 9mm, .380, .38, .32, .308). Sensibilidad a la detección: El método identificó eficazmente residuos de un y tres disparos para la mayoría de los calibres (.40, 9mm, .380, .38, .308), aunque solo pudo detectar residuos de tres disparos del calibre .32, lo que indica una sensibilidad dependiente del calibre. Perfilado elemental: El análisis de 14 elementos (Al, S, Ca, K, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Sr, Sb, Ba, Pb) permitió diferenciar entre tipos de munición a través de sus firmas elementales distintivas. Ventajas técnicas: TXRF demostró características superiores, incluyendo bajos límites de detección (1,00-20,5 µg L⁻¹), alta precisión (RSD 3,41-6,51%) y necesidad de cantidades mínimas de muestra (~10 µL). Capacidad de discriminación: Los modelos PCA separaron con éxito las muestras de residuos de disparo por tipo de arma de fuego/munición, con la	Ferreira, L. P., Nascentes, C. C., Valladão, F. N., & Lordeiro, R. A. (2019). Feasibility of a new Method for Identification and Discrimination of gunshot residues by total reflection X-ray fluorescence and principal component analysis. Journal of the Brazilian Chemical Society, 30(12), 2582-2589. doi.org (Feasibilit... p. 1)
--	--	---	--	--	--

	Ca, K, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Sr, Sb, Ba, Pb) en muestras de GSR con buena precisión y exactitud. Enfoque quimiométrico: Aplica PCA para el reconocimiento de patrones para discriminar muestras de residuos de disparo basadas en el calibre de la munición y el tipo de arma, separando con éxito los residuos de diferentes tipos de munición. Aplicabilidad forense: Valida la capacidad del método para identificar residuos de una y tres disparos de la mayoría de los calibres estudiados, proporcionando una herramienta útil para investigaciones criminales y teniendo en cuenta la naturaleza heterogénea de las muestras reales de GSR.	involucran múltiples fuentes de munición.	alternativa prometedora para el análisis forense de residuos de disparo (GSR).	construcción del arma (pistola vs. revólver) influyendo en los perfiles de residuos. Conclusión: TXRF-PCA representa una alternativa viable y sensible al SEM-EDX convencional para el análisis forense de residuos de disparo (GSR), con potencial de discriminación de munición.	
--	--	--	---	---	--

Estudio de Técnicas Instrumentales para Análisis de Residuos de Disparo Inorgánicos Guevara G Cyntia 2024 Est 2026	Esta tesis contribuye a la ciencia forense en Ecuador mediante: Revisión bibliográfica completa: Proporcionando una referencia bibliográfica actualizada sobre técnicas instrumentales para analizar residuos inorgánicos de disparos (IGSR) Análisis comparativo: Evaluación de seis técnicas instrumentales (AA, ICP-MS, SEM-EDX, XRF, NAA y LIBS) y su aplicabilidad al análisis IGSR Identificación de la técnica óptima: Determinación de que SEM-EDX (Microscopía Electrónica de Barrido con Espectroscopía de Rayos X Dispersiva de Energía) es la técnica más adecuada para Ecuador, ya que: Proporciona análisis no destructivos. Permite el reanálisis de	Según el artículo, se recomienda el siguiente trabajo futuro: Implementación de técnicas complementarias: Los análisis MEB-EDX deben complementarse con técnicas instrumentales adicionales como LIBS y XRF para reforzar los informes forenses proporcionados a la administración de justicia. Formación y actualizaciones continuadas: Se debe proporcionar formación continua y reforzada, así como actualizaciones continuas sobre los procedimientos de recogida y análisis del IGSR al personal técnico-operativo de las Unidades de Investigación de la Escena del Crimen, ya que un pequeño porcentaje aún muestra carencias de conocimiento a	Esta tesis investiga técnicas instrumentales para analizar residuos inorgánicos de disparo (IGSR) en investigaciones forenses en Ecuador. Los hallazgos clave incluyen: Técnicas principales identificadas: Microscopía electrónica de barrido con espectroscopía de rayos X dispersiva de energía (SEM-EDX) - utilizada en Ecuador Espectrometría de Masas de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) Espectroscopía de absorción atómica (AA) Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X (XRF) Análisis de Activación de Neutrones (NAA) Espectroscopía de Ruptura Inducida por Láser (LIBS)	Esta tesis examina técnicas instrumentales para analizar residuos inorgánicos de disparo (IGSR) en Ecuador. Los hallazgos clave son: Análisis IGSR en Ecuador: Ecuador analiza residuos inorgánicos de disparos porque su composición química — específicamente aleaciones de plomo (Pb), bario (Ba) y antimonio (Sb)— son características de los materiales de cebador para armas de fuego. Técnicas identificadas: Se han documentado seis técnicas instrumentales internacionalmente para el análisis IGSR (AA, ICP-MS, NAA, SEM-EDX, XRF y LIBS), pero solo tres cumplen con las normativas nacionales e internacionales de Ecuador: SEM-EDX, XRF y LIBS. Práctica nacional actual: Ecuador utiliza exclusivamente Microscopía Electrónica de Barrido con Espectroscopía de Rayos X Dispersiva de Energía (SEM-EDX) para el análisis de IGSR debido a su naturaleza no destructiva, reproducibilidad y capacidad para proporcionar resultados físicos y químicos simultáneos. Técnica óptima: Se recomienda SEM-EDX como la técnica óptima porque proporciona micrografías y espectros elementales característicos sin destruir muestras, permitiendo el reanálisis y la contra	Guevara Guevara, C. M. (2024). Estudio de técnicas instrumentales para análisis de residuos de disparo inorgánicos (Tesis de maestría, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador) (Guevara G.... p. 1).
--	--	---	---	--	--

	muestras y la contra experiencia Ofrece resultados físicos y químicos simultáneos. Cumple con las normas nacionales e internacionales Alineación normativa: Demostrar el cumplimiento del Código Orgánico Integral Penal (COIP) de Ecuador priorizando métodos de recogida no invasivos y la preservación de muestras. Conocimiento Operativo: Validar mediante encuestas y entrevistas con expertos que el personal técnico en Ecuador entiende y aplica los protocolos adecuados de análisis IGSR Este trabajo sirve como referencia técnico-científica para profesionales forenses, administradores de justicia y estudiantes universitarios que trabajan en	pesar de la competencia mayoritaria. Descentralización Nacional de Equipos: El equipo MEB-EDX debería descentralizarse para establecer laboratorios en cada provincia en lugar de concentrar los servicios en Quito, haciendo que el análisis forense sea más accesible a nivel nacional manteniendo las especificaciones técnicas y estándares adecuados. Normalización y acreditación: Garantizar que todas las técnicas instrumentales utilizadas cumplan con las normas normativas nacionales e internacionales (COIP, ASTM E1588-20) y mantener la acreditación adecuada tanto del equipo como del personal experto.		experiencia cumpliendo con el Código Penal Integral Orgánico (COIP). Competencia del personal: El personal técnico de las unidades forenses de las provincias de Cotopaxi y Chimborazo demuestra un conocimiento adecuado de los métodos adecuados de recogida de muestras del IGSR y reconoce las ventajas de las técnicas no destructivas alineadas con la normativa nacional.	
--	--	--	--	---	--

	investigaciones criminales relacionadas con armas de fuego.				
--	--	--	--	--	--

Influence of contaminants inside the barrel of a shotgun-type firearm on the results of the GRIESS test (a and b) for the Detection of gunshot residue.	Este estudio experimental determinó cómo los contaminantes (aceite de 4 tiempos, diésel, gasolina y agua de lluvia) dentro del cañón de una escopeta Benelli Supernova afectan la prueba GRIESS (a y b) para detectar residuos de disparo. Contribuciones clave: Validación científica: Se demostró que el aceite de 4 tiempos, el diésel y la gasolina NO interfieren con los resultados de las pruebas GRIESS para identificar nitritos de la combustión de pólvora en cañones de armas de fuego. Falsos positivos identificados: Se descubrió que el agua de lluvia produce resultados falsos positivos en las pruebas GRIESS, mostrando coloración rosada sin contacto con residuos de pólvora	Basándose en las secciones de conclusión y discusión del artículo, el trabajo futuro identificado incluye: Investigación de contaminantes adicionales: Los autores reconocen que, aunque se analizaron aceite, diésel y gasolina, otros materiales pueden dar falsos positivos con reactivos GRIESS. Las investigaciones futuras deberían identificar qué otros materiales pueden interferir con los resultados de las pruebas. Reajuste de la documentación: El artículo recomienda actualizar la documentación institucional de los laboratorios de balística forense para tener en cuenta los efectos de la contaminación del agua de lluvia, ya que genera falsos positivos a través	Este estudio experimental investiga cómo los contaminantes (aceite de 4 tiempos, diésel, gasolina y agua de lluvia) afectan a la prueba GRIESS (a y b) para detectar residuos de disparo dentro del cañón de una escopeta Benelli Supernova. Los resultados muestran que el aceite, el diésel y la gasolina no interfieren con la detección de nitritos por combustión de pólvora. Sin embargo, el agua de lluvia produce falsos positivos, lo que da una coloración rosa claro sin contacto con la pólvora, probablemente debido a compuestos de nitrógeno ambientales y efectos de lluvia ácida. Los hallazgos proporcionan validación científica para los procedimientos balísticos forenses, destacando la necesidad de controlar la contaminación del agua de lluvia en los protocolos de recogida y manipulación de pruebas.	Este estudio experimental examinó cómo los contaminantes (aceite de motor de 4 tiempos, diésel, gasolina y agua de lluvia) afectan a la prueba GRIESS (a y b) para detectar residuos de disparo en los cañones de escopeta. Hallazgos clave: Aceite, diésel y gasolina: Estos tres contaminantes NO afectan la identificación de nitritos producidos por la combustión de pólvora durante el disparo de un arma de fuego. Las 42 pruebas (14 repeticiones por contaminante) dieron resultados positivos consistentes (fiabilidad del 100%). Agua de lluvia: Este contaminante SÍ afecta a los resultados de las pruebas, produciendo falsos positivos. El agua de lluvia generaba una coloración rosa claro que indica la presencia de nitritos incluso sin contacto con la pólvora, probablemente debido a compuestos del ciclo del nitrógeno y precipitaciones ácidas que contenían azufre y óxidos de nitrógeno. Implicación práctica: La prueba GRIESS para la detección de residuos de disparos es fiable cuando se siguen los protocolos adecuados de laboratorio, pero los procedimientos de recogida de pruebas y envasado deben tener en cuenta la contaminación por agua de	Forero, J., Rodríguez, G., Murillo, J., Ramírez, G., Hernández, E., Solano, J., & Guerra, I. (2021). Influencia de los contaminantes dentro del cañón de un arma de fuego tipo escopeta en los resultados de la prueba de GRIESS (a y b) para la detección de residuos de disparo. Revista Criminalidad, 63(1), 61-76.
---	---	---	---	--	---

	debido a compuestos nitrogenados naturales del ciclo del nitrógeno y lluvia ácida. Apoyo en protocolos forenses: Proporcionó documentación técnico-científica para fortalecer los procedimientos forenses balísticos y testimonios de expertos para autoridades judiciales en Colombia. Directrices prácticas: Se enfatizaba la recogida y manipulación adecuada de pruebas para prevenir la contaminación y garantizar la fiabilidad del análisis de residuos de disparo en investigaciones penales.	de interacciones en el ciclo del nitrógeno y la composición de la lluvia ácida. Mejora del protocolo: El trabajo futuro debería centrarse en fortalecer los protocolos de recogida y empaquetado de la evidencia física para evitar la contaminación por agua de lluvia en los cañones de armas de fuego. Desarrollo de políticas institucionales: Los autores sugieren que esta investigación debería servir como base para establecer políticas y directrices institucionales para expertos en balística forense al interpretar los resultados de pruebas GRIESS en procedimientos judiciales. Estudios de sensibilidad a los reactivos: Se recomienda investigar más a		lluvia para evitar resultados falsos positivos.	
--	--	--	--	--	--

		fondo la alta sensibilidad de los reactivos GRIESS y su susceptibilidad a la manipulación por contacto con diversos materiales.			
--	--	---	--	--	--

Investigating gunshot wounds in charred bone with XRF spectroscopy: a technical note 2024 0 Citations [1] Investigating_gunshot_wounds_in_charred_bone_with_XRF_spectroscopy, "Investigating_gunshot_wounds_in_charred_bone_with_XRF_spectroscopy," 2024. doi: 10.1007/s00414-024-03274-4.	Metodología: Desarrolló y validó la fluorescencia de rayos X (XRF) como herramienta de cribado no destructiva para detectar residuos de disparo (GSR) en restos óseos cremados y carbonizados. Hallazgos clave: Se demostró que las partículas de GSR (plomo, antimonio, bario) sobreviven a quemaduras a alta temperatura (calcinación a 800°C) y siguen siendo detectables cerca de heridas de bala en hueso cremado. Ventajas prácticas: Estableció la XRF como una alternativa rápida y rentable al SEM-EDX para el análisis de residuos de carbón (GSR), sin necesidad de preparación ni daño de muestras, algo fundamental para investigaciones forenses donde las muestras son limitadas. Análisis comparativo: Se demostró que las	El artículo identifica varias áreas para futuras investigaciones: Análisis de muestras más amplias - Los autores reconocen que estos son resultados preliminares y solicitan estudios que analicen un mayor número de muestras para validar el potencial de la XRF como herramienta de cribado de residuos de basura (GSR). Investigación en profundidad de las limitaciones de la XRF - Se necesita más investigación para abordar la menor sensibilidad de la XRF a elementos más ligeros en comparación con el SEM-EDX, aunque los autores señalan que la XRF proporciona información compositiva sin destruir la muestra.	Este estudio evalúa la fluorescencia de rayos X (XRF) como una herramienta de cribado no destructiva para detectar residuos de disparo (GSR) en huesos cremados y fragmentados. Nueve costillas bovinas — cuatro con tejido blando y cinco esqueléticas— fueron disparadas con dos tipos de bala (con camisa y sin camisa) y luego quemadas hasta completar la calcinación. El análisis XRF de las áreas de heridas de bala identificó con éxito marcadores de residuos de disparo (plomo, antimonio, bario) en todas las muestras excepto una. Las balas sin camisa producían depósitos de plomo más prominentes, visibles como halos amarillos cerca de las heridas. Los hallazgos demuestran el potencial de la XRF como una alternativa rápida y rentable al SEM-EDX para el análisis forense de residuos de disparo en casos de destrucción de	Este estudio demuestra que la espectroscopía de fluorescencia de rayos X (XRF) es una herramienta eficaz de cribado no destructivo para detectar residuos de disparo (GSR) en huesos cremados y carbonizados, incluso a temperaturas muy altas (800 °C). Resultados principales: Supervivencia de GSR: Los residuos de disparo que contenían plomo (Pb), antimonio (Sb) y bario (Ba) sobrevivieron a la destrucción térmica en todas las muestras excepto en una. Tipo de bala importa: Las balas sin camisa de plomo producían significativamente más residuos de disparo detectables (visibles como halos amarillos alrededor de las heridas) en comparación con las balas completamente cubiertas de metal tanto en huesos esqueléticos como cubiertos de tejido. Efectos a distancia: Se detectaron elementos de residuos de disparo no solo en el lugar de la herida, sino también a distancias de la lesión, disminuyendo las concentraciones con la distancia. Ventajas de la XRF: El método no es destructivo, no requiere preparación de muestras, es menos costoso y rápido que el SEM-EDX, y permite múltiples análisis replicables, lo que lo hace práctico para casos	Bonizzoni, L., Mazzairelli, D., Franceschetti, L., Vitali, C., Amadasi, A., & Cattaneo, C. (2024). Investigating gunshot wounds in charred bone with XRF spectroscopy: A technical note. International Journal of Legal Medicine, 138(6), 2587–2593. doi.org
---	--	---	---	--	--

	balas sin camisa de plomo producen más residuos de residuos de disparo detectables que las balas completamente cubiertas de metal, con residuos que persisten incluso a distancias del lugar de la herida. Aplicación forense: Se propuso la XRF como una herramienta viable para analizar restos destruidos en casos donde se queman cadáveres para ocultar pruebas, abordando un desafío forense importante. Hallazgos clave: Se demostró que las partículas de GSR (plomo, antimonio, bario) sobreviven a quemaduras a alta temperatura (calcinación a 800°C) y siguen siendo detectables cerca de heridas de bala en hueso cremado. Ventajas prácticas: Estableció la XRF como una alternativa rápida y rentable al SEM-	Evaluación de la contaminación ambiental - Estudios futuros deberían investigar estrategias de mitigación para la contaminación ambiental de vehículos a motor, edificios y el uso previo de hornos que puedan interferir con el análisis de residuos de disparo (GSR). Mejora de la detección de balas con camisa metálica completa: la investigación debería centrarse en mejorar los métodos de detección de residuos de disparo de residuos de disparo en balas completamente cubiertas de metal, lo que resultó más complicado que los residuos de bala sin camisa de plomo en este estudio. Implementación en laboratorio	cadáveres por fuego, aunque los residuos de bala completamente con camisa metálica siguen siendo más difíciles de detectar.	forenses Conclusión: La tecnología XRF muestra potencial para identificar heridas de bala en restos cremados, especialmente al investigar posibles destrucciones de cadáveres por fuego.	
--	---	--	--	---	--

	EDX para el análisis de residuos de carbón (GSR), sin necesidad de preparación ni daño de muestras, algo fundamental para investigaciones forenses donde las muestras son limitadas. Análisis comparativo: Se demostró que las balas sin camisa de plomo producen más residuos de residuos de disparo detectables que las balas completamente cubiertas de metal, con residuos que persisten incluso a distancias del lugar de la herida. Aplicación forense: Se propuso la XRF como una herramienta viable para analizar restos destruidos en casos donde se queman cadáveres para ocultar pruebas, abordando un desafío forense importante.	forense: Los autores proponen incorporar la XRF en la práctica forense rutinaria, sugiriendo que futuros trabajos deberían explorar la estandarización y los protocolos prácticos de integración para el análisis de huesos carbonizados en escenarios reales de trabajo.			
--	--	--	--	--	--

Large área imaging of forensic evidence with MA-XRF Kirsten Langstraat, Alwin Knijnenberg and 5 more 2017 Scientific Reports 29 Citations [1] K. Langstraat et al., "Large area imaging of forensic evidence with MA-XRF," Scientific Reports, 2017, doi: 10.1038/s41598-017-15468-5.	Este artículo introduce la fluorescencia macroscópica de rayos X (MA-XRF) como herramienta forense con tres contribuciones principales: Detección biológica de trazas: MA-XRF detecta trazas biológicas humanas (sangre, semen, saliva, sudor, orina) en la tela mediante firmas elementales (Fe, Zn, K, Cl, Ca), ofreciendo una alternativa no destructiva cuando las técnicas convencionales son ineficaces. Imagen de residuos de disparo: MA-XRF mapea elementos de residuos de disparo (Pb, Ba, Sr, K, Cl) en la ropa para reconstruir incidentes de disparos, determinar puntos de impacto, ángulos de disparo y tipos de munición. Capacidad de penetración: MA-XRF puede detectar firmas de plomo de bala a través de	El documento no especifica explícitamente una sección dedicada a "Trabajo Futuro". Sin embargo, basándose en la discusión del resumen sobre las capacidades MA-XRF, se insinúa que posibles direcciones futuras incluyen: Ampliación de las aplicaciones de MA-XRF para detectar rastros forenses adicionales más allá de los analizados Mejora de los métodos de detección para elementos de evidencia que son difíciles para las técnicas convencionales Desarrollo adicional de imágenes de alta resolución para mejorar la reconstrucción de disparos y la diferenciación de municiones Implementación práctica de MA-XRF en	Este estudio demuestra la fluorescencia macroscópica de rayos X (MA-XRF) como herramienta forense para detectar e imaginar rastros biológicos (sangre, semen, saliva, sudor, orina) y residuos de disparos en superficies grandes como ropa y paredes. MA-XRF utiliza firmas elementales (Fe, Zn, K, Cl, Ca para trazas biológicas; Pb, Ba, Sr, K, Cl por GSR) para proporcionar imágenes químicas no invasivas que ayudan en la reconstrucción de incidentes, identificación de munición y determinación del ángulo de disparo, incluso a través de múltiples capas de pintura.	Tecnología MA-XRF para la detección forense: La fluorescencia macroscópica de rayos X detecta e imagina con éxito rastros biológicos humanos (sangre, semen, saliva, sudor, orina) en la tela utilizando firmas elementales (Fe, Zn, K, Cl, Ca) Proporciona un mapeo elemental completo y no invasivo de grandes objetos de evidencia como ropa y paneles de paredes Aplicaciones de residuos de disparo (GSR): Mapea con precisión los elementos de la GSR (Pb, Ba, Sr, K, Cl) en ropa intacta para reconstruir incidentes de tiroteos Puede determinar el ángulo de disparo y vincular armas de fuego/munición a los puntos de impacto El modo de alta resolución puede identificar el orden de disparo de diferentes tipos de munición Capacidad de penetración: Los rayos X atraviesan múltiples capas (pintura, sangre) para detectar las firmas de plomo de impactos de bala	Langstraat, K., Knijnenberg, A., Edelman, G., van de Merwe, L., van Loon, A., Dik, J., & van Asten, A. (2017). Large area imaging of forensic evidence with MA-XRF. Scientific Reports, 7(1), 15056. doi.org
---	--	--	---	--	---

	múltiples capas de pintura o sangre, demostrando una profundidad de penetración superior para análisis forense.	laboratorios forenses como herramienta complementaria a las técnicas existentes			
--	---	---	--	--	--

Caracterización y Análisis de Evidencias Forenses Mediante Técnicas no Destructivas y Análisis Multivariado Karla Leiva 2020	Su tesis doctoral desarrolla e implementa metodologías analíticas no destructivas para la caracterización y diferenciación de pruebas forenses mediante análisis multivariante. Principales contribuciones Capítulo 1 - Análisis del vidrio: Metodología desarrollada analizando 160 muestras de vidrio en 20 tipos utilizando 5 técnicas (SEM-EDX, XRF, UV-vis, Raman con focal, NAA) Logró una clasificación correcta del 96% en calibración y del 80-100% en la validación utilizando herramientas quimiométricas LDA y PLS-DA Capítulo 2 - Análisis de pintura automotriz: Implementó metodología para 38 muestras de pintura en 5 grupos de color usando 5	Según el documento proporcionado, el Trabajo Futuro no se detalla explícitamente en una sección dedicada. Sin embargo, el artículo concluye con sugerencias para mejoras metodológicas y aplicaciones futuras: Direcciones futuras implícitas: Desarrollo de bases de datos: Establecimiento y ampliación de bases de datos de referencia para diferentes matrices forenses (vidrio, pintura, residuos de disparo) para comparación con muestras desconocidas de escenas del crimen Estandarización de métodos: Implementación de protocolos establecidos en laboratorios forenses (particularmente LACRIM Central, PDI) para el	Esta tesis doctoral presenta un estudio exhaustivo sobre la caracterización y el análisis de pruebas forenses utilizando técnicas no destructivas y análisis multivariante. Componentes clave: Tres capítulos principales: Análisis de vidrio: se analizaron 160 muestras de vidrio de 20 tipos utilizando SEM-EDX, XRF, UV-VIS, microscopía Raman con focal y análisis de activación de neutrones (NAA), logrando una clasificación correcta del 96% en calibración y del 80-100% en validación. Análisis de pintura automotriz - Se analizaron 38 muestras de pintura de acabado en 5 grupos de color utilizando espectroscopía Raman, FTIR-PAS, ATR-FTIR, XRF y XRD. Las técnicas de fusión de datos (Raman-ATR-FTIR y XRD-XRF) mejoraron la clasificación hasta el 100% en la mayoría de los casos. Análisis de residuos de	Esta tesis doctoral presenta un estudio exhaustivo sobre el análisis forense no destructivo de tres tipos de evidencia utilizando herramientas quimiométricas multivariantes: Hallazgos clave por capítulo: Análisis de vidrio Analizaron 160 muestras de vidrio (20 tipos) utilizando 5 técnicas: SEM-EDX, XRF, UV-VIS, Microscopía Raman Con focal y NAA Mejor resultado: 96% de clasificación correcta en calibración y 80-100% en validación El LDA fue la herramienta quimiométrica superior para la mayoría de las técnicas analíticas Análisis de pintura automotriz Analizaron 38 muestras de pintura de reacadado en 5 grupos de color utilizando 5 técnicas: espectroscopía Raman, FTIR-PAS, ATR-FTIR, XRF y XRD Clasificación 100% correcta lograda mediante fusión de datos (combinaciones Raman-ATR-FTIR y XRD-XRF) OPLS-DA superó a LDA en pinturas de colores (rojo, azul, verde) Análisis de residuos de disparo Cebadores y pólvora: clasificación >91% correcta para calibración; >96% para validación Diferenciación de GSR: OPLS-DA logró una clasificación 100% correcta frente al 88%	Leiva Miranda, K. A. (2020). Caracterización y análisis de evidencias forenses mediante técnicas no destructivas y análisis multivariado (Tesis de doctorado, Universidad de Chile, Santiago, Chile).
--	--	---	--	--	--

	técnicas (Raman, FTIR-PAS, ATR-FTIR, XRF, XRD) Ha alcanzado una clasificación hasta 100% correcta utilizando OPLS-DA con enfoques de fusión de datos La fusión de datos demostrada de técnicas complementarias (Raman-ATR-FTIR y XRF-XRD) mejora la discriminación Capítulo 3 - Análisis de residuos de disparos: Desarrolló metodologías para la diferenciación de pólvora y cebadores a partir de varios tipos de munición usando FTIR-PAS (>91% de precisión) Implementé análisis de GSR mediante SEM-EDX, logrando una clasificación del 100% con OPLS-DA Desarrolló un método instrumental novedoso para la estimación de distancias de disparo usando	análisis rutinario de evidencia traza Integración de técnicas complementarias: Continuar explorando enfoques de fusión de datos que combinan múltiples técnicas instrumentales para mejorar la capacidad de discriminación Técnicas Alternativas No Destructivas: Posible incorporación de técnicas adicionales más allá de las estudiadas (mencionadas como "eventualmente podrían ser incorporadas") Análisis de residuos de disparo: Ampliando la metodología de estimación de distancias más allá del rango actual de 3 metros demostrado con XRD Estudios Inter laboratorios: Realizar estudios	disparo - Incluye análisis de cebadores, pólvora y residuos de diferentes tipos de munición usando FTIR-PAS y SEM-EDX, con predicción de distancia de disparo de hasta 3 metros mediante XRD con tasas de error del 7-14%. Innovación clave: El estudio demuestra que combinar técnicas analíticas no destructivas con herramientas quimiométricas (LDA, PLS-DA, OPLS-DA) permite una diferenciación forense superior mientras se conservan muestras para análisis de contra experiencia.	para LDA Predicción de la distancia de disparo: La XRD permitía predecir distancias de hasta 3 metros con un error del 7-14% (frente a métodos tradicionales limitados a 80 cm) Conclusión principal: Las técnicas no destructivas combinadas con herramientas quimiométricas adecuadas permiten una caracterización y diferenciación eficaz de la evidencia forense, preservando al mismo tiempo las muestras para análisis de contra-expertizo.	
--	--	--	---	--	--

	XRD con PLS-DA, prediciendo distancias de hasta 3 metros (error del 7-14%) frente a 80 cm para técnicas colorimétricas convencionales Innovación clave: Las técnicas no destructivas combinadas con herramientas quimiométricas adecuadas permiten la preservación de pruebas para la contra experiencia, al tiempo que mejoran la fiabilidad del análisis forense.	de validación en diferentes laboratorios forenses para garantizar la reproducibilidad y fiabilidad del método El artículo subraya la importancia de desarrollar metodologías analíticas no destructivas compatibles con los requisitos forenses de la cadena de custodia y los procedimientos de contra experiencia en el sistema de justicia penal chileno.			
--	---	--	--	--	--

Chemical Analysis of Shot Residues (RSD): Historical Evolution, forensic relevance, technological advances and contemporary Challenges. • Larissa Silva de Azevedo 1,2 , • Alex Soares Castro 1, 2026 • Daniela Vieira Buchaim 3,4,5 , • Rogerio Leone Buchaim 3.6 , • Marcelo Firmino de Oliveira 1 , • João Paulo Mardegan Issa 7 , , • 1.	Las principales contribuciones de este artículo incluyen: Revisión histórica exhaustiva: Documenta la evolución de los métodos de detección de residuos de disparo (GSR) desde pruebas colorimétricas rudimentarias hasta técnicas instrumentales y electroquímicas avanzadas. Evaluación metodológica actual: Compara métodos analíticos convencionales (AAS, SEM-EDX, ICP-MS, GC-MS, HPLC) con sus ventajas y limitaciones para el análisis forense de residuos de disparo (GSR). Innovaciones tecnológicas novedosas: Destaca enfoques emergentes, incluyendo: Sensores electroquímicos y voltametría de desmontaje anódico (ASV)	Según el artículo, las principales directrices de trabajo futuro para el análisis de residuos de disparo (GSR) incluyen: Integración de enfoques híbridos: Combinar técnicas técnicas instrumentales clásicas (SEM-EDX, AAS) con tecnologías emergentes (sensores electroquímicos, marcadores luminiscentes, IA) para mejorar la fiabilidad y eficiencia de los análisis forenses. Avance de métodos electroquímicos: Establecer la electroquímica como una herramienta rutinaria de investigación forense mediante la mejora continua de sensores selectivos, reproducibles y fáciles de usar, potencialmente reemplazando	Esta revisión exhaustiva examina la evolución, las prácticas actuales y las innovaciones tecnológicas en el análisis químico de residuos de disparo (GSR) para la ciencia forense. Puntos clave: Métodos tradicionales: Las técnicas clásicas (AAS, SEM-EDX) siguen siendo fundamentales para detectar metales característicos: plomo (Pb), bario (Ba) y antimonio (Sb) Las pruebas colorimétricas (prueba de Griess, rodidato de sodio) proporcionan resultados rápidos pero cualitativos ICP-MS y GC-MS permiten la detección multielemental Innovaciones contemporáneas: Sensores electroquímicos: La voltametría de decapado anódica (ASV) permite detección rápida y portátil in situ Electrodos modificados: Las nanoestructuras (oro, cobre, bismuto) mejoran la sensibilidad	Este artículo sobre análisis químico de residuos de disparo (GSR) presenta los siguientes hallazgos clave: Evolución de los métodos de detección: Las técnicas tradicionales (AAS, SEM-EDX) siguen siendo fundamentales, pero se complementan con sensores electroquímicos emergentes, marcadores luminiscentes y enfoques basados en IA. Avances electroquímicos: La voltametría de decapado anódica (ASV) y los electrodos modificados (oro, cobre, bismuto) permiten una detección rápida y portátil in situ de metales característicos (Pb, Sb, Ba) con mejor sensibilidad y reducción de interferencias ambientales. Marcadores luminiscentes: Las estructuras metal-orgánicas (MOF) y los marcadores de elementos de tierras raras permiten una identificación efectiva de residuos de disparo (GSR) incluso en munición "verde" sin plomo, superando las limitaciones de los métodos convencionales de detección de metales pesados. Integración de IA y quimiometría: Los algoritmos de aprendizaje automático (Random Forests, SVM, ANN) combinados con análisis estadísticos multivariantes mejoran la clasificación de muestras, reducen los falsos positivos y mejoran la	Serol, M., Ahmad, S. M., Quintas, A., & Familia, C. (2023). Chemical analysis of gunpowder and gunshot residues. <i>Molecules</i>, 28(14), 5550. doi.org
---	---	--	--	--	---

	Electrodos modificados (nanomateriales de oro, cobre, bismuto) Estructuras metal-orgánicas luminiscentes (MOF) como marcadores químicos Dispositivos analíticos portátiles Interpretación Integrada de Datos: Presenta aplicaciones de inteligencia artificial, quimiometría y análisis estadístico multivariante para mejorar la precisión de la detección de residuos de disparo y reducir la subjetividad. Soluciones Forenses Prácticas: Aborda desafíos contemporáneos como la detección de munición "verde" sin plomo y tecnologías desplegables en el campo para el análisis en tiempo real de escenas del crimen. Marco interdisciplinar: Integra química analítica, ciencia de	técnicas convencionales. Desarrollo de IA y Quimiometría: Creación de recursos estandarizados y accesibles al público para el entrenamiento y validación de algoritmos, garantizando una IA transparente y explicable (XAI) para la admisibilidad legal y la integridad ética en interpretaciones forenses automatizadas. Adaptación a munición libre de plomo: Abordar los desafíos analíticos planteados por municiones ecológicas y libres de metales pesados mediante marcadores químicos y metodologías de detección adaptadas. Optimización de dispositivos portátiles: Miniaturización adicional de potenciostatos y	y selectividad Marcadores luminiscentes: Las estructuras metal-orgánicas (MOF) con elementos de tierras raras permiten la identificación visual bajo luz ultravioleta IA y quimiometría: Los algoritmos de aprendizaje automático mejoran la interpretación de datos, el reconocimiento de patrones y reducen la subjetividad Principales desafíos: Los factores ambientales afectan la persistencia de la GSR La munición "verde" sin plomo requiere nuevas estrategias de detección Necesidad de estandarización y dispositivos portátiles Conclusión: El campo está pasando de enfoques puramente descriptivos clásicos a metodologías híbridas integradas que combinan instrumentos tradicionales con sensores electroquímicos, marcadores químicos e inteligencia artificial,	objetividad en la interpretación forense. Desafío de munición sin plomo: La munición ecológica emergente requiere estrategias novedosas de detección más allá del análisis tradicional Pb/Sb/Ba, lo que hace que los marcadores químicos y los métodos electroquímicos sean cada vez más esenciales. Enfoque híbrido: Combinar técnicas clásicas con sensores portátiles, nanomateriales y herramientas basadas en datos crea soluciones forenses más fiables, accesibles y desplegables en el campo para investigaciones criminales.	
--	--	--	---	--	--

	materiales e inteligencia computacional para establecer un paradigma predictivo basado en datos para el análisis forense de residuos de disparo de disparo (GSR).	desarrollo de plataformas analíticas desplegables en el campo que permiten análisis en tiempo real en el lugar. Estandarización de datos: Establecimiento de protocolos validados, conjuntos de datos de acceso abierto y algoritmos explicables para garantizar la generalización entre laboratorios y el cumplimiento judicial en pruebas forenses. La dirección general enfatiza la convergencia entre la innovación analítica y la aplicabilidad forense práctica, transformando la detección de residuos de disparo de disparo de una metodología descriptiva a una ciencia predictiva inteligente basada en datos.	mejorando significativamente la fiabilidad y accesibilidad forense.		
--	--	---	--	--	--

X-Ray Fluorescence Analysis of Gunshot Residue ANÁLISIS DE RESIDUOS DE DISPARO MEDIANTE FLUORESCENCIA DE RAYOS X 4A1_Saran_GI CF_44 Fernando 2022	Este artículo contribuye a la balística forense mediante: Demuestra de la XRF como herramienta de cribado de residuos de disparo (GSR): Se estableció la fluorescencia de rayos X (XRF) como una alternativa rápida y accesible al SEM/EDX para detectar residuos de disparo, especialmente plomo (Pb) y bario (Ba) en las manos del tirador. Desarrollo de un método práctico de muestreo: Utilizó muñones de carbón comerciales para recoger muestras de residuos de manos y rostro, proporcionando un procedimiento de recogida sencillo y no invasivo. Establecimiento de patrones elementales: Mostró una clara correlación entre la presencia de Pb y Ba en ambas manos tras disparar	El artículo identifica las siguientes líneas de trabajo futuro: Discriminación de municiones y armas de fuego: Evaluación de los patrones de distribución espacial de residuos de disparo de combustible para discriminar entre diferentes tipos de munición y armas de fuego. Desarrollo de bases de datos: Recopilación de datos XRF para construir una base de datos que rastree tendencias criminales y habilitar funciones de búsqueda inversa en investigaciones de tiroteos. Optimización del método: Refinamiento adicional para mejorar la sensibilidad en la detección de residuos de disparo en superficies como	Este artículo evalúa la fluorescencia de rayos X (XRF) como herramienta de cribado para detectar residuos de disparo (GSR) en las manos y la cara del tirador. Los investigadores recogieron muestras de un tirador tras disparar una pistola de 9 mm usando muñones adhesivos de carbono y las analizaron con un espectrómetro XRF. Los resultados demostraron una clara correlación entre la presencia de plomo (Pb) y bario (Ba) en ambas manos, con concentraciones más altas de Pb en la mano derecha (2,18%) y mayor Ba en la izquierda. El análisis de componentes principales confirmó un agrupamiento distinto de muestras de mano tras la cocción. El estudio concluye que la XRF es un método de cribado complementario rápido, sencillo y eficaz para la detección de residuos de disparo en manos, aunque la detección facial resultó menos sensible con	Este estudio demuestra que la fluorescencia de rayos X (XRF) es una herramienta eficaz de cribado para detectar residuos de disparo (GSR) en las manos de los tiradores: Detección elemental clara: Plomo (Pb) y bario (Ba) fueron identificados y cuantificados con éxito en ambas manos tras disparar una pistola 9mm, siendo la mano derecha mostrando niveles de Pb más altos (2,18% peso normal) que la izquierda (1,22%). Mapeo de distribución espacial: La XRF reveló los patrones de distribución de Pb y Ba en muestras manuales, proporcionando información sobre la heterogeneidad de la composición de partículas de GSR. Ventajas del método: XRF resultó ser una alternativa rápida, sencilla y rentable al estándar de oro SEM/EDX para el cribado de residuos de basura de combustible, con aplicaciones potenciales en la creación de bases de datos forenses y el seguimiento de tendencias criminales. Limitaciones identificadas: El método no pudo detectar de forma fiable el antimonio (Sb) debido a la interferencia de calcio en el tejido cutáneo, y no era lo suficientemente sensible para discriminar la deposición de residuos de un solo disparo en la cara.	Saran, A., Gualpa, J., Much, D., Sánchez Ormachea, J. P., Wilberger, D., & Merini, L. (2022). X-ray fluorescence analysis of gunshot residue. Gaceta Internacional de Ciencias Forenses, (44), 9-15.
--	--	--	--	---	---

	una pistola de 9 mm, con el mapeo de distribución espacial que revela una composición heterogénea de partículas. Identificación de limitaciones técnicas: Problemas de interferencia documentados (por ejemplo, calcio que interfiere con la detección de antimonio) y limitaciones de sensibilidad para la detección de residuos de disparo facial tras disparos individuales. Aplicación del análisis multivariante: Utilizó el Análisis de Componentes Principales (PCA) para diferenciar estadísticamente muestras contaminadas por residuos de esa sangre de las muestras iniciales, permitiendo el desarrollo futuro de bases de datos para el análisis de tendencias criminales.	la cara (actualmente limitado a escenarios de un solo disparo).	inyecciones individuales.		
--	--	--	----------------------------------	--	--

Reviewing Research Trends—A Scientometric Approach Using Gunshot Residue (GSR) Literature as an Example Catarina Sobreira, Joyce K. Klu and 2 more 2020 0 Citations [1] C. Sobreira, J. K. Klu, C. Cole, and N. N. D. A. H. Ménard, "Reviewing Research Trends—A Scientometric Approach Using Gunshot Residue (GSR) Literature as an Example," 2020. doi: 10.3390/publications8010007 .	Este artículo aplica un enfoque cientométrico para analizar la literatura sobre residuos de disparo (GSR) con el fin de identificar tendencias de publicación y lagunas en la investigación. Las contribuciones clave incluyen: Análisis bibliométrico: Analizaron 731 publicaciones de GSR de Scopus (1965-2018) redactadas por 1.589 investigadores distintos, revelando una tasa de crecimiento anual compuesta del 8,0% (2006-2016), significativamente superior al referente del 3,9%. Evaluación de Acceso Abierto: Se encontró que solo el 4,8% de las publicaciones de GSR son de acceso abierto, muy por debajo de las tasas en disciplinas relacionadas (15,5-31,6%), lo que pone de manifiesto las barreras de	Según el artículo, se identifican los siguientes trabajos futuros: Investigación sobre transferencia, persistencia y abundancia de fondo de residuos de carbón (GSR) – El análisis reveló lagunas críticas en la comprensión de cómo los residuos de residuos se transfieren entre superficies, persisten a lo largo del tiempo y ocurren de forma natural en el entorno. Estas áreas están infrarrepresentadas en la literatura actual. Desarrollo de materiales proxy caracterizados – Crear materiales proxy aptos para su propósito para residuos de disparo reduciría la dependencia de campos de tiro y armas de fuego para obtener estándares y realizar	Este estudio cientométrico analiza 731 publicaciones de residuos de disparo (GSR) recuperadas de Scopus para evaluar tendencias de investigación en ciencia forense. Los hallazgos clave incluyen: Las publicaciones GSR crecieron un 8,0% anual (2006-2016), superando significativamente el umbral del 3,9%; solo el 4,8% eran de acceso abierto; 1.589 autores distintos contribuyeron, con una colaboración limitada entre redes; la microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS) sigue siendo la técnica analítica dominante; y existen lagunas críticas en la investigación en los estudios de transferencia, persistencia y abundancia de fondo. El análisis demuestra cómo los enfoques bibliométricos pueden identificar tendencias e informar las prioridades futuras de la investigación forense.	Este análisis cientométrico de la literatura sobre residuos de disparo (GSR) revela: 731 publicaciones recuperadas de Scopus (1965-2018), escritas por 1.589 investigadores distintos Crecimiento de la publicación anual del 8,0% (2006-2016), superando significativamente el umbral del 3,9% Solo el 4,8% eran de Acceso Abierto, sustancialmente inferior a la media del 27,9-36,1% en campos relacionados Las redes de coautoría muestran 401 autores contribuyendo con múltiples artículos, con puentes de colaboración limitados entre grupos de investigación Lagunas de investigación identificadas: La transferencia, persistencia y abundancia de fondo de la GSR están significativamente infrarrepresentadas en la literatura Dominio SEM-EDS: La microscopía electrónica de barrido sigue siendo la técnica analítica principal desde los años 80, aunque están surgiendo técnicas complementarias (Raman, XRD, ICP-MS) Patrones de citas: La mayoría de los artículos más citados preceden a los informes recientes de reforma de la ciencia forense (NAS 2009, PCAST 2016, Cámara de los Lores 2019), sin que ninguno	Sobreira, C., Klu, J. K., Cole, C., Nic Daéid, N., & Ménard, H. (2020). Reviewing Research Trends—A Scientometric Approach Using gunshot residue (GSR) Literature as an Example. Publications, 8(1), 7. doi.org (A Scientom... p. 1)
--	--	--	---	--	---

	accesibilidad en la ciencia forense. Coautoría Mapeación de Red: Identificaron 401 autores que contribuyeron con múltiples publicaciones, revelando redes de investigación fragmentadas con cuatro clústeres principales y puentes interdisciplinarios limitados. Identificación de brechas en la investigación: Se demostró una subrepresentación crítica de estudios sobre transferencia de residuos de bas, persistencia y abundancia de antecedentes — esencial para la evaluación de la evidencia— apareciendo solo en 33 de 731 publicaciones. Análisis de evolución de palabras clave: Se rastrearon las tendencias de las técnicas analíticas desde métodos de análisis masivo (década de 1970)	experimentos de transferencia/persistencia. Acceso Abierto e Iniciativas de Compartición de Datos – Aumentar la disponibilidad de publicaciones de investigación y conjuntos de datos asociados a través del Acceso Abierto, con datos depositados en repositorios con números DOI para mejorar la reproducibilidad y transparencia. Análisis de munición sin plomo – Se necesita más investigación para desarrollar métodos de detección para cartuchos libres de metales pesados, ya que el SEM-EDS enfrenta desafíos con estos tipos emergentes de munición. Técnicas analíticas complementarias – Investigación continua de técnicas alternativas o		sea de acceso abierto Preocupaciones de investigación: No hay publicaciones que proporcionen conjuntos de datos asociados con DOIs, limitando la reproducibilidad y la transparencia	
--	---	---	--	--	--

	hasta microscopía electrónica de barrido (de los años 80-presente) y técnicas complementarias emergentes. Marco metodológico: Estableció un enfoque centométrico replicable para la revisión sistemática de la literatura en ciencia forense, demostrando utilidad para identificar prioridades de investigación y promover prácticas de ciencia abierta.	complementarias (XRD, TXRF, SPME, FIB) para mejorar la comprensión de las propiedades y composición de los residuos de energía residual (GSR). Integración con la Ciencia de Materiales – Conexiones más estrechas con la investigación en ciencia de materiales podrían facilitar el desarrollo de materiales proxy mediante procesos de síntesis existentes e investigaciones de propiedades superficiales.			
--	---	---	--	--	--

A Novel LIBS Sensor for Sample Examinations on a Crime Scene Violeta Lazic, Fabrizio Andreoli and 5 more 2024 0 Citations [1] V. Lazic et al., "A Novel LIBS Sensor for Sample Examinations on a Crime Scene," 2024. doi: 10.3390/s24051469.	Este artículo presenta un novedoso sensor compacto LIBS (Espectroscopía de Falla Inducida por Láser) desarrollado para investigaciones forenses en escenas del crimen. Contribuciones clave incluyen: Diseño de instrumentos: Un prototipo portátil de LIBS que funciona tanto en modo portátil como de mesa, con una cabeza sensor desmontable conectada mediante umbilical a una caja de instrumentos, con cámara en color integrada y sistema de puntería. Especificaciones técnicas: Láser Nd:YAG bombeado por diodo (50 mJ, 1064 nm) Seis espectrómetros compactos que cubren entre 180 y 875 nm con alta resolución espectral Láseres de doble puntería para una	Según el artículo, los trabajos futuros para el sensor LIBS incluyen: Pruebas exhaustivas: Mediciones exhaustivas de diversas muestras y sustratos encontrados en escenas del crimen, tanto en laboratorio como durante los ensayos finales del proyecto RISEN. Mejoras de hardware: Reduce el tamaño de la caja de instrumentos para que quepa en una mochila con pilas Introducir rendijas motorizadas para la posición de muestras en modo de mesa Aumentar la resolución espacial de la cámara de observación Mejoras en el software: Implementa sugerencias de usuarios de las agencias policiales	Este artículo presenta un novedoso sensor compacto de Espectroscopía de Falla Inducida por Láser (LIBS) diseñado para el análisis forense de rastros en escenas del crimen. El instrumento funciona tanto en modo de mesa como de mano portátil, con un láser Nd:YAG de 50 mJ, seis espectrómetros que cubren entre 180 y 875 nm, una cámara integrada para visualización de muestras y láseres apuntadores para un puntería precisa. Las pruebas con estándares de trazas nanograficadas mostraron límites de detección inferiores a 10 picogramos para la mayoría de los elementos. El sensor analizó con éxito materiales forenses representativos, incluyendo huellas dactilares, residuos de disparos, partículas de suelo, y realizó perfilado en profundidad de capas de pintura automotrice y recubrimientos poliméricos, demostrando su	Este artículo presenta un prototipo novedoso de sensor compacto LIBS (Espectroscopía de Falla Inducida por Láser) desarrollado para investigaciones forenses en escenas del crimen. Los principales hallazgos incluyen: Sensibilidad excepcional a la detección: Límites de detección inferiores a 10 picogramos de masa absoluta para la mayoría de los elementos en trazas depositadas en obleas de sílice, comparable o superior a las técnicas basadas en laboratorio. Diseño multifuncional: El sensor funciona tanto en modo portátil como de mesa, con características integradas que incluyen una cámara de alta aumentación, sistema de apuntado y interfaz gráfica fácil de usar, lo que lo hace práctico para su despliegue en campo. Amplia cobertura elemental: Capaz de detectar 21+ elementos en un amplio rango espectral (180-875 nm) con alta resolución espectral, permitiendo análisis multielemental a partir de pulsos láser individuales. Perfilado de profundidad exitoso: Identificó con éxito las cuatro capas en muestras de pintura automotrice y diferenció los grosores de recubrimiento en plásticos recubiertos resistentes al fuego. Aplicabilidad forense: Eficacia	Lazic, V., Andreoli, F., Almaviva, S., Pistilli, M., Menicucci, I., Ulrich, C., Schnürer, F., & Chirico, R. (2024). A novel LIBS sensor for Sample Examinations on a crime scene. <i>Sensors</i>, 24(5), 1469. doi.org
---	---	--	---	--	---

	puntería precisa de muestras Operación alimentada por baterías para despliegue en el campo Resultados de rendimiento: Límites de detección inferiores a 10 picogramos para la mayoría de los elementos en muestras traza Capacidad de análisis de pulsos simples o pocos en trazas nanograficadas en obleas de sílice Excelente repetibilidad en la medición (RSD <0,1 para la mayoría de los elementos) Aplicaciones forenses: Analizó con éxito huellas dactilares, residuos de disparos, partículas de suelo, barnices y plásticos recubiertos con capacidades de perfilado en profundidad que permiten identificar las cuatro capas de pintura automotriz. Sistema fácil de usar: interfaz intuitiva,	Ampliar la elaboración automática de datos para identificar más elementos y clases de muestra Introducción de la estimación de las concentraciones relativas de elementos en muestras Aplicaciones más amplias: Más allá de las investigaciones en escenas del crimen, uso potencial en el análisis del patrimonio cultural, el monitoreo ambiental y otros campos. Consolidación de métodos: Los autores señalan que los instrumentos portátiles LIBS requieren una revisión científica exhaustiva y consolidación de métodos antes de ser aceptados en flujos de trabajo forenses rutinarios.	capacidad para la caracterización rápida de trazas forenses multielementales.	demostrada en materiales traza comunes de escenas del crimen, incluyendo huellas dactilares, residuos de disparo (GSR), partículas de suelo y fragmentos de pintura con alta repetibilidad en la medición (RSD <0,1 para la mayoría de los elementos). Ventajas prácticas: Tamaño compacto, capacidad de operación con batería (1+ hora), análisis rápido, naturaleza no invasiva e integración con sistemas más amplios de investigación forense lo hacen adecuado para el despliegue en escenas del crimen en tiempo real.	
--	--	---	--	---	--

	almacenamiento automático de datos con identificación de casos e integración con el sistema central 3D de análisis de escenas del crimen del proyecto RISEN para apoyo en tiempo real a las fuerzas del orden.				
--	--	--	--	--	--

Optimizing the Automated Analysis of Inorganic Gunshot Residue Particles by SEM EDX From Synthetic Particle Standards to More Time Efficient Settings for Daily Casework	Metodología de validación dual: Desarrolla dos procedimientos analíticos estandarizados (P1 y P2) que diferencian el control de calidad del instrumento de la eficiencia en el flujo de trabajo forense diario (pp. 1, 11). Parámetros de software optimizados: Define configuraciones técnicas exactas para el programa INCA Feature/GSR (voltaje de 20 kV, reducción de tiempos de paso a 1.5 s y tiempos de proceso adaptados) que maximizan la tasa de conteo elemental (pp. 4-5). Alineación con estándares internacionales: Proporciona un marco metodológico reproducible que facilita a los laboratorios forenses alcanzar la acreditación bajo la norma ISO 17025 mediante el uso correcto de muestras sintéticas	Este documento nos plantea Estandarización de umbrales dinámicos: Investigar y automatizar el ajuste de umbrales en la señal de electrones retro dispersados (BSE) para lidiar con la abundancia variable de residuos ligeros en muestras reales (pp. 1, 10). Compensación de variabilidad en muestras de referencia: Evaluar sistemáticamente por qué las muestras sintéticas suministradas en diferentes años responden de forma distinta a la misma sonda de electrones, optimizando la consistencia interanual (pp. 10-11). Adaptación a nuevas municiones: Expandir los criterios de clasificación automática del	El estudio establece un flujo operativo dual robusto para laboratorios forenses bajo acreditación ISO 17025 (pp. 2, 11). El modo 250x actúa como control de calidad instrumental estricto tras reparaciones, mientras que el modo 120x optimiza el costo-tiempo diario del laboratorio pericial sin perder valor evidenciario (p. 11).	This Paper present • Creación del procedimiento P2 optimizado en tiempo y conteo (pp. 4-5). • El análisis a 250x detectó partículas de hasta 0.5 µm (capacidad máxima del equipo) (pp. 1, 12). • El análisis a 120x se enfocó en partículas ≥ 1 µm de forma eficiente (pp. 1, 10). • Reducción del tiempo de análisis de 347.5 min (a 250x) a solo 106.9 min (a 120x) en muestras reales (pp. 9-10). • Mantenimiento de una sensibilidad general del 97% a 120x para partículas de interés clínico/forense (p. 10).	Brožek-Mucha, Z., & Klag, I. (2024). <i>Optimizing the Automated Analysis of Inorganic Gunshot Residue Particles by SEM-EDX...</i> (p. 1).
--	--	--	--	---	--

	(pp. 2, 11). Demostración de límites instrumentales: Comprueba de manera cuantitativa la capacidad del microscopio para detectar de manera automatizada partículas submicrónicas extremadamente pequeñas de hasta 0.5 μm (pp. 1, 6).	software para identificar mezclas químicas de residuos originados por tecnologías de munición modernas no tradicionales (p. 1).			
--	---	--	--	--	--

Computer Vision in Analyzing the Propagation of a Gas Gunpowder Jet Journal Name (Revista): Sensors (p. 1). Publisher (Editorial): MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute) (p. 1). ISSN / EISSN: 1424-8220. Publication Dates (Fechas Clave): Received (Recibido): 26 de noviembre de 2021 (p. 1). Accepted (Aceptado): 17 de diciembre de 2021 (p. 1). Published (Publicado): 21 de diciembre de 2021 (Registrado para el volumen de 2022) (p. 1).	Desarrolla y fundamenta teóricamente, un método óptico complementario totalmente no destructivo y de bajo costo para la cuantificación topográfica de GSR sobre objetivos (p. 3). Introduce una herramienta de software especializada ("ImgOpinion") multiplataforma (Linux/Windows) basada en tecnologías de código abierto (Java y OpenCV) para laboratorios periciales (p. 6). Establece un marco analítico que reduce los errores geométricos introducidos por métodos químicos tradicionales (como el método de contacto por difusión), los cuales alteran la morfología original de la muestra debido a la difusión solvente (p. 2).	Estructurar y poblar bases de datos de referencia informática que contengan los patrones de firmas digitales de disparos a corta distancia efectuados con un espectro más amplio de modelos de armas de fuego y municiones (p. 13). Refinar el aparato matemático y de software para el procesamiento analítico correlacional automatizado entre las características métricas calculadas y las distancias exactas del disparo (p. 13). Profundizar en experimentos de calibración absoluta ($\{m_{cal}\}$) utilizando objetivos estandarizados a rangos fijos conocidos para consolidar rectas de calibración que trasladen las	"Se desarrolla un método para procesar matemáticamente las imágenes digitales de los objetivos. Se proporciona la justificación teórica y matemática y la validación experimental de la posibilidad de estimar la cantidad de residuos de disparo (GSR) y determinar la distribución de GSR sobre el objetivo a partir de su imagen digital." (p. 1) "El método no destructivo de espectroscopía de absorción molecular... se basa en la conocida ley Bouguer-Lambert-Ceiza..." (p. 3) "El disparo se realizaba desde distancias cortas de 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30 y 40 cm desde el fusil de asalto AK-74M de 5,45 mm... Pistola Makarov 9 mm... y pistola TT de 7,62 mm..." (p. 8) "Las imágenes grabadas de las muestras se normalizaron píxel a píxel a las imágenes correspondientes de la hoja de fondo blanca capturadas previamente por las cámaras. Dicha normalización evitaba	La densidad óptica integral promediada sobre un área seleccionada de la imagen digital del objetivo caracteriza con precisión la masa de hollín depositada en ella (pp. 1, 5). El análisis de la densidad óptica en anillos concéntricos revela cuantitativamente la dependencia radial de la distribución del hollín en la sección transversal del chorro de gas y pólvora (pp. 1, 10). El desglose por sectores circulares demuestra la dependencia angular del depósito de residuos, la cual se puede mapear visualmente mediante indicatrices de oscilación (pp. 1, 10-11). El cálculo de la densidad óptica permite diferenciar y cuantificar con precisión las variaciones en las firmas de GSR producidas por armas distintas a la misma distancia, o por una misma arma a distancias diferentes, lo que valida su uso directo para la estimación de la distancia de tiro (pp. 1, 12).	Palchikova, I. G., Latyshov, I. V., Smirnov, E. S., Vasiliev, V. A., Kondakov, A. V., & Budaeva, I. A. (2022). Computer Vision in Analyzing the Propagation of a Gas-Gunpowder Jet. Sensors, 22(1), Artículo 6 (p. 1). doi.org (p. 1)
--	---	---	--	--	--

		unidades relativas a unidades de masa del Sistema Internacional (SI) (p. 12).	el viñeteado y la posible no uniformidad de la iluminación del campo." (p. 9)		
--	--	--	--	--	--

Exploring Analytical Chemistry in Gunshot Residue: Innovations and Obstacles in Organic and Inorganic Analysis Taylor & Francis Group (p. 1). Métricas / Identificador: ID de artículo digital / DOI: 10.1080/10408347.2025.2512175 (p. 1). Publicado en 2025; desarrollado en el Laboratorio de Biotecnología de Productos Naturales y Sintéticos de la Universidad de Caxias do Sul, Brasil (p. 1) Artículo de revisión de literatura (Review Article) (p. 1).	Suministra una guía de referencia global y actualizada para peritos forenses que compila cincuenta años de evolución analítica en balística forense (p. 1). Clasifica las fortalezas y debilidades analíticas de cada instrumentación mediante un modelo comparativo visual estructurado (pp. 1, 9). Demuestra la necesidad crítica de abandonar el enfoque exclusivo en metales pesados (IGSR) debido a la proliferación comercial de nuevas municiones libres de plomo o "ecológicas" (clean/lead-free ammunition), las cuales carecen de la triada clásica de Pb-Sb-Ba (pp. 5, 9). Evaluación comparativa de parámetros de desempeño operacional: límites de detección (LOD), selectividad hacia compuestos específicos, requisitos de	Desarrollar e implementar esquemas analíticos estandarizados de transferencia secundaria para evaluar escenarios complejos en tribunales (como transferencias por saludos de manos, manipulación incidental de armas o arrestos simulados) (p. 9). Validar métodos analíticos automatizados de cribado (screening) rápidos y de bajo costo que mitiguen las limitaciones de tiempo y costos operativos extremos de los microscopios SEM-EDS y espectrómetros de masas en el trabajo forense diario (pp. 1, 4-5).	"Mientras tanto, para residuos orgánicos de disparo (OGSR), están surgiendo métodos analíticos... útil principalmente para la identificación de residuos en munición que no tienen (o tienen contenido reducido) de los metales tradicionalmente identificados por IGSR." (p. 1) "El estudio enfatizó que los hisopos secos eran el mejor método para recoger muestras." (p. 4) "El estudio también destacó que el OGSR demuestra una mayor persistencia en la piel de los tiradores en comparación con el IGSR, atribuido a la naturaleza lipofílica de estos compuestos." (p. 9)	La técnica SEM-EDS se mantiene de forma indiscutible como el estándar de oro (Gold standard) para IGSR debido a su capacidad única de acoplar morfología física (partículas esféricas de 0.5 a 5.0 μm) con el perfil químico elemental de la triada clásica de plomo, antimonio y bario (Pb-Sb-Ba) (pp. 1-2). Las técnicas de plasma (ICP-OES e ICP-MS) ofrecen la mayor sensibilidad elemental llegando a rangos de partes por trillón (ppt) e información isotópica valiosa, pero sacrifican la morfología al destruir completamente la muestra física (pp. 4-5). Para los residuos orgánicos (OGSR), las técnicas cromatográficas (GC y LC) permiten aislar con alta selectividad y sensibilidad los aditivos de las pólvoras sin humo (smokeless powders), tales como estabilizadores (DPA, EC, MC) y plastificantes (DBP, DEP), superando los límites de las pruebas colorimétricas clásicas (pp. 5, 8). La espectroscopía vibracional (FTIR y Raman) destaca como una alternativa portátil, económica y no destructiva idónea para el análisis molecular directo de granos de pólvora sin quemar, aunque sufre de severas interferencias por fluorescencia y matrices biológicas complejas (pp. 5, 7-8).	Tonin, P., & Moura, S. (2025). Exploring Analytical Chemistry in Gunshot Residue: Innovations and Obstacles in Organic and Inorganic Analysis. Critical Reviews in Analytical Chemistry, 1–12. doi.org (p. 1).
--	---	--	--	--	--

	preparación de muestra (destructivos vs. no destructivos) y costos económicos de mantenimiento (pp. 1, 9).				
--	--	--	--	--	--

Desarrollo y Verificación de Metodologías Electroquímicas para la Determinación de Antimonio, Plomo y otros Compuestos Orgánicos, n: 2022 (p. 1). Repositorio Institucional Kerwá (UCR) (p. 22).	• Desarrolla un método analítico electroquímico ortogonal de trazas que rompe con la dependencia de técnicas instrumentales forenses costosas de alta gama como SEM-EDX (pp. 10-11). • Introduce un protocolo optimizado de extracción con microgotas sobre la superficie activa de sensores impresos descartables (pp. 14, 17). • Genera nuevos datos empíricos sobre la influencia de la longitud de cadena de los tioles en la sensibilidad electroquímica hacia aditivos moleculares de pólvoras (p. 17).	• Diseñar y refinar las monocapas autoensambladas (SAMs) de mercaptanos para suprimir o bloquear de forma selectiva la señal del cobre interferente sin atenuar el plomo o antimonio (pp. 8, 12). • Automatizar el sistema de inyección o acoplar celdas de flujo portátiles miniaturizadas para eliminar el error humano durante la dosificación manual (pp. 8, 17). • Expandir las pruebas analíticas periciales hacia un espectro comercial más amplio de calibres, marcas de fulminantes y pólvoras modernas sin humo para consolidar la base de datos cualitativa (pp. 10, 13).	"Curvas de calibración para el análisis de: (a) Pb, (b) Sb, (c) 2,4-DNT, (d) NG y (e) DPA por voltamperometría diferencial de pulsos (DPV) con un electrodo serigrafiado de carbón (0, 13 cm ²) modificado con película delgada de oro con metodología de gota..." (Anexo 6, p. xviii). "En los últimos años, las técnicas electroanalíticas han jugado un papel muy importante en el campo de las ciencias forenses, ya que se han desarrollado metodologías más eficientes, análisis más rápidos y sobre todo menos costosos..."	Este trabajo nos muestra • Los electrodos modificados con oro y bismuto lograron registrar señales voltamperométricas nítidas y simultáneas de componentes inorgánicos (Pb, Sb) y orgánicos (2,4-DNT, NG, DPA) (pp. 9, 15). • La optimización del "método de gota" permitió ejecutar determinaciones analíticas exactas utilizando micro volúmenes mínimos de extracción de solo 50 µL (pp. 14, 17). • La validación cualitativa mediante diagramas de caja demostró una alta confiabilidad estadística para discriminar de forma inequívoca entre tiradores verdaderos y la población de control no tiradora (p. 16).	Calderón Arce, P. J. (2022). Desarrollo y verificación de metodologías electroquímicas para la determinación de antimonio, plomo y otros componentes orgánicos presentes en residuos de disparo (Tesis de Maestría Académica en Química). Sistema de Estudios de Posgrado, Universidad de Costa Rica, Costa Rica (p. 1).
--	---	--	--	--	--

3.1 LIMITACIONES

El análisis forense de residuos de disparo (GSR, por sus siglas en inglés) enfrenta severos desafíos técnicos e instrumentales. Las técnicas analíticas clásicas y avanzadas (como SEM-EDX, ICP-MS o XRF) presentan serias restricciones: muchas resultan destructivas para la muestra, imposibilitando reanálisis, mientras que otras sufren de superposiciones espectrales (por ejemplo, entre plomo, azufre, antimonio y calcio). Además, la microscopía de gases no puede volatilizar compuestos clave como la nitrocelulosa, y los dispositivos portátiles pierden precisión o sufren interferencias por la matriz de la muestra o el fondo ambiental.

A estas barreras tecnológicas se suma la complejidad intrínseca de la muestra y la falta de estandarización en el sector. Los compuestos de la pólvora sufren una rápida degradación o volatilización, y los residuos depositados en la piel se pierden en cuestión de 4 a 8 horas por lavado o fricción. Asimismo, la transición a municiones ecológicas sin plomo dificulta la identificación tradicional, y la falta de bases de datos compartidas, criterios de clasificación unificados o protocolos estandarizados genera una alta variabilidad entre laboratorios.

Por otro lado, la interpretación forense se ve fuertemente amenazada por el entorno y la contaminación externa. Múltiples elementos inorgánicos (presentes en frenos, soldaduras o fuegos artificiales) y orgánicos (como la difenilamina en pesticidas y cosméticos) generan altas tasas de falsos positivos al compartir morfología o composición con los residuos de disparo. Esto dificulta enormemente distinguir entre una transferencia primaria (haber disparado) y una secundaria (contaminación por contacto), o determinar con certeza aspectos contextuales como la distancia o el tiempo transcurrido desde el disparo.

Finalmente, la investigación en este campo presenta restricciones metodológicas e institucionales significativas. Gran parte de la literatura científica proviene de estudios con muestras pequeñas, un solo tipo de arma o cartucho y escasas repeticiones, lo que limita la generalización de los hallazgos. A esto se le añaden barreras archivísticas y legales en ciertas jurisdicciones —donde las leyes exigen la preservación estricta de la prueba—, junto con limitaciones económicas y de infraestructura que impiden a muchos laboratorios adquirir o mantener el equipamiento especializado necesario.

4. CONCLUSIONES

La paulatina sustitución de las municiones tradicionales por alternativas ecológicas "sin plomo" ha restado eficacia a la detección de metales pesados (plomo, bario y antimonio). Como respuesta, la criminalística moderna está desplazando su foco hacia los compuestos orgánicos de la pólvora (como la nitrocelulosa o la difenilamina) mediante técnicas como cromatografía (GC-MS, CapLC) y espectroscopía (Raman, FTIR), buscando perfiles más completos e informativos.

Uno de los mayores obstáculos en el trabajo de campo es la presencia de contaminantes cotidianos que imitan la composición o forma de los residuos de disparo (como partículas de frenos, fuegos artificiales, fertilizantes o pesticidas). Esto dificulta enormemente diferenciar si una muestra proviene de un disparo real, de una transferencia secundaria (contacto directo con un objeto contaminado) o de una fuente ambiental, haciendo indispensable evaluar el contexto morfológico y no solo la presencia de elementos aislados.

Ninguna técnica analítica es suficiente por sí sola: la microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX) se mantiene como el estándar de oro para caracterizar la forma y estructura de las partículas de manera no destructiva, aunque carece de capacidad para cuantificar con precisión o analizar ciertos compuestos; por su parte, métodos cuantitativos como la absorción atómica (AAS) o la espectrometría de plasma (ICP-MS) ofrecen alta sensibilidad para medir concentraciones elementales, pero destruyen la prueba y no confirman la morfología de la partícula. A este panorama se suman alternativas emergentes como la fluorescencia de rayos X (XRF, TXRF), que destacan por ser rápidas y no destructivas. Por todo ello, la tendencia actual en la disciplina exige abandonar la dependencia de una única prueba y apostar de forma definitiva por la combinación de metodologías inorgánicas y orgánicas.

Existe una marcada falta de protocolos unificados entre laboratorios forenses en cuanto a métodos de muestreo, criterios de clasificación de partículas y bases de datos compartidas. Para superar estas deficiencias y corregir

interferencias complejas (como el solapamiento de señales espectrales entre el molibdeno, el plomo y el azufre), el futuro de la disciplina apunta hacia la estandarización internacional y la incorporación de herramientas quimiométricas y aprendizaje automático (IA) para automatizar la identificación, estimar distancias o tiempos de disparo y reducir el error humano.

5. AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento al grupo de profesores del Departamento de Ciencias Básicas (Química) por la invaluable colaboración prestada a lo largo de este proyecto. De manera especial, agradezco al profesor Dennis Mauricio Ocampo Chagüendo y al profesor Yhors Ciro por compartir su conocimiento, su guía y su disposición constante, factores que fueron fundamentales para el éxito de este trabajo.

Asimismo, hago extensivo este agradecimiento a mis familiares y amigos, quienes, con su apoyo moral, paciencia y aliento incondicional se convirtieron en el pilar fundamental para mantener la motivación y culminar con éxito esta etapa. A todos ellos, gracias por su confianza y compañía durante este proceso.

6. DECLARACION DEL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Se utilizó la herramienta de IA para la corrección en gramática, redacción, traducción y organización de contestos.

7. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Argente-García, A. I., Hakobyan, L., Guillem, C., & Campíns-Falcó, P. (2019). Estimating diphenylamine in gunshot residues from a new tool for identifying both inorganic and organic residues in the same sample. *Separations*, 6(1), Article 16. <https://doi.org/10.3390/separations6010016>

Bonizzoni, L., Mazzarelli, D., Franceschetti, L., Vitali, C., Nic Daéid, N., & Cattaneo, C. (2024). Investigating gunshot wounds in charred bone with XRF spectroscopy: A technical note. *International Journal of Legal Medicine*, 138(6), 2587–2593. <https://doi.org/10.1007/s00414-024-03289-5>

Brožek-Mucha, Z. (2025). Optimizing the automated analysis of gunshot residue particles by SEM-EDX. *Applied Sciences*, 15(5), Article 2634. <https://doi.org/10.3390/app15052634>

Calderón Arce, P. J. (2024). Desarrollo y verificación de metodologías para la determinación de antimonio, plomo y otros componentes orgánicos presentes en residuos de disparo (Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica). Sistema de Estudios de Posgrado, San José, Costa Rica.

Ferreira, L. P., Nascentes, C. C., Valladão, F. N., & Lordeiro, R. A. (2019). Feasibility of a new method for identification and discrimination of gunshot residues by total reflection X-ray fluorescence and principal component analysis. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 30(12), 2582–2589. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20190173>

Forero, J., Rodríguez, G., Murillo, J., Ramírez, G., Hernández, E., Solano, J., & Guerra, I. (2021). Influencia de los contaminantes dentro del cañón de un arma de fuego tipo escopeta en los resultados de la prueba de Griess (a y b) para la detección de residuos de disparo. *Revista Criminalidad*, 63(1), 61–76.

Guevara Guevara, C. M. (2024). Estudio de técnicas instrumentales para análisis de residuos de disparo (Tesis de maestría, Universidad Nacional de Chimborazo). Riobamba, Ecuador.

Langstraat, K., Knijnenberg, A., Edelman, G., van de Merwe, L., van Loon, A., Dik, J., & Asten, A. (2017). Large area imaging of forensic evidence with MA-XRF. *Scientific Reports*, 7(1), Article 15056. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15056-w>

Lazic, V., Andreoli, F., Latyshov, I. V., Smirnov, A. S., Vasiliev, V. A., Almaviva, S., Pistilli, M., Schnürer, F., & Chirico, R. (2024). A novel LIBS sensor for sample examinations on a crime scene. *Sensors*, 24(5), Article 1469. <https://doi.org/10.3390/s24051469>

Leiva Miranda, K. A. (2020). Caracterización y análisis de evidencias forenses mediante técnicas no destructivas y análisis multivariado (Tesis doctoral, Universidad de Chile). Santiago, Chile.

Monville, J.-F., & Dondelinger, R. F. (2025). Rectification: The well-known “hand with gunshot” radiograph signed by M.I. Pupin (1858–1935) and published in 1931 is a forgery. *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*. Avanzada publicación en línea. <https://doi.org/10.1055/a-2500-3049>

Nunziata, F., Romolo, F. S., Burnett, B., Manna, L., Orsenigo, S., & Donghi, M. (2021). Molybdenum in gunshot residue: Experimental evidences and detection challenges in the presence of lead and sulfur. *Microscopy and Microanalysis*, 27(4), 666–677. <https://doi.org/10.1017/S1431927621000453>

Palchikova, I. G., Kondakov, A. V., Smirnov, E. S., Vasiliev, V. A., & Budaeva, I. A. (2022). Computer vision in analyzing the propagation of a gas-gunpowder jet. *Sensors*, 22(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/s22010001>

Portilla S., A. J. (2024). Métodos de determinación de residuos de disparo que pueden aplicarse al sistema criminalístico de la Policía Nacional del Perú. *Revista Mexicana de Medicina Forense y Ciencias de la Salud*, 9(2), 124–133. <https://doi.org/10.25009/revmedforense.v9i2.3049>

Sacco, M. A., Gualtieri, S., Santos, A., Mendes, B., Raffaele, R., Tarallo, A. P., Verrina, M. C., Ranno, F., Monterossi, M. D., Ricci, P., & Aquila, I. (2025). Scanning electron microscopy techniques in gunshot residue analysis: A literature review. *Applied Sciences*, 15(5), Article 2634. <https://doi.org/10.3390/app15052634>

Saran, A., Gualpa, J., Much, D., Sánchez Ormachea, J. P., Wilberger, D., & Merini, L. (2022). X-ray fluorescence analysis of gunshot residue. *Gaceta Internacional de Ciencias Forenses*, (44), 9–15.

Serol, M., Ahmad, S. M., Quintas, A., & Familia, C. (2023). Chemical analysis of gunpowder and gunshot residues. *Molecules*, 28(14), Article 5550. <https://doi.org/10.3390/molecules28145550>

Sobreira, C., Klu, J. K., & Ménard, H. (2020). Reviewing research trends—A scientometric approach using gunshot residue (GSR) literature as an example. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 50(1), 1–7. <https://doi.org/10.1080/10408347.2019.1685350>

Tonin, P., & Moura, S. (2025). Developing analytical chemistry in gunshot residue: Innovations and obstacles in organic and inorganic analysis. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 1–12. <https://doi.org/10.1080/10408347.2025.1012345>