



**Somos calidad,  
somos USC**

## **Análisis instrumental de residuos de disparo orgánicos e inorgánicos: Una revisión sistemática**

**Autor**

**William Camilo Rios Beltran**

**Químico Farmacéutico**

**Director**

**Dennis Mauricio Ocampo**

**GIEMA Grupo de Investigación en Electroquímica y Medio Ambiente**

**Alimentos y fármacos**

**Facultad de Ciencias Básicas  
Química Farmacéutica  
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:

<b>IMPACTO</b>	<b>PRODUCTO</b>	<b>BENEFICIARIO(S)</b>
<b>Económico</b>	N/A	N/A
<b>Responsabilidad social</b>	N/A	N/A
<b>Científico</b>	Revisión sistemática para residuos de disparo armas de fuego	Comunidad científica e investigadores del área forense, además de la comunidad estudiantil.
<b>Indicadores de Gestión</b>	N/A	N/A
<b>Tecnológico</b>	Técnicas nuevas o innovadoras aplicables para la investigación campo forense	Comunidad científica e investigadores del área forense, junto con el área de producción de equipos instrumentales
<b>Técnico</b>	Técnicas nuevas o innovadoras aplicables para la investigación campo forense	Debido a la gran cantidad de técnicas y métodos encontrados en la revisión sistemática, sirve como base en el ámbito estudiantil.
<b>Ambiental</b>	N/A	N/A
<b>Social</b>	N/A	N/A
<b>Cultural</b>	N/A	N/A

# ANÁLISIS INSTRUMENTAL DE RESIDUOS DE DISPARO ORGÁNICOS E INORGÁNICOS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

William Camilo Rios Beltran<sup>1</sup> (william.rios00@usc.edu.co)

<sup>1</sup>GIEMA, Diplomado de Química Forense, Programa de Química farmacéutica. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Santiago de Cali. Campus Pampalinda Calle 5 # 62-00. Santiago de Cali. Colombia

## RESUMEN

Cuando se detona un arma de fuego, se liberan una serie de residuos llamados residuos de disparo por arma de fuego (GSR), los cuales debido a su composición química pueden ser objetos de investigación para el análisis forense. Esta revisión sistemática tomó 27 artículos recientes con el fin de entender desde cómo se detectan este tipo de compuestos, hasta el momento donde se obtienen resultados de análisis instrumentales y la manera como el perito puede utilizar esta información para llegar a conclusiones en la investigación forense. A pesar que la herramienta más común para identificar este tipo de compuestos es SEM-EDS, esta destaca que la variable tiempo sería la mayor limitante para la obtención de resultados, lo anterior junto con innovaciones en el tipo de munición (sin plomo, sin metales pesados), donde se encuentran compuestos diferentes a los de las naciones comunes, conlleva a que se mencionen una serie de metodologías como alternativa, que solas o complementadas entre ellas y otras técnicas o análisis quimiométricos, pueden ser una opción viable para el análisis de estos nuevos componentes. Se concluyó que a pesar que las técnicas modernas ofrecen soluciones prometedoras, se deben afinar una serie de desafíos de los GSR, incluyendo la disminución exponencial de residuos de la muestra durante las primeras horas después del disparo, así como la armonización entre laboratorios y la estandarización para recolección de muestras.

**Palabras clave:** *Análisis forense, espectrometría de masas, residuos inorgánicos de disparo, residuos orgánicos de disparo, muestreo forense*

## **INSTRUMENTAL ANALYSIS OF ORGANIC AND INORGANIC SHOT RESIDUES: A SYSTEMATIC REVIEW**

### **ABSTRACT**

When a firearm is detonated, a series of residues called gunshot residue (GSR) are released, which due to their chemical composition can be objects of investigation for forensic analysis. This systematic review took 27 recent articles in order to understand how these types of compounds are detected, until instrumental analysis results are obtained and how the expert can use this information to reach conclusions in the forensic investigation. Although the most common tool for identifying this type of compound is SEM-EDS, it emphasizes that the time variable would be the biggest constraint for obtaining results, along with innovations in the type of ammunition (lead-free, heavy metal-free), where compounds other than those of common nations are found, leads to the mention of a series of methodologies as alternatives, which alone or complemented between them and other chemometric techniques or analysis, may be a viable option for the analysis of these new components. It was concluded that although modern techniques offer promising solutions, a number of GSR challenges must be fine-tuned, including the exponential decrease of sample residues during the first hours after firing, as well as harmonization between laboratories and standardization for sample collection.

**Keywords:** *Forensic analysis, mass spectrometry, inorganic firing waste, organic firing waste, forensic sampling*

## HIGHLIGHTS

1. Se hace evidente que los GSR sufren una pérdida de concentración exponencial a través del tiempo, por lo que es indispensable que el muestreo sea lo más pronto posible y que se realice en condiciones óptimas, donde la muestra puede ser conservada durante el mayor tiempo posible. Así mismo se identificó que actividades como correr, caminar, tocar superficies, e incluso el lavado o desinfección de manos, puede alterar completamente los datos que se obtienen del análisis del GSR.
2. A pesar que la microscopia electrónica de barrido acoplada a rayos x (SEM-EDS) continúa siendo el estándar para la investigación forense, presenta limitaciones como cualquier otra técnica, en este caso sería el tiempo de análisis requerido y puede representar un cuello botella en caso que manejar un volumen de muestras amplio.
3. Las técnicas emergentes parece que pueden ofrecer soluciones prometedoras, este se debe que por medio de la integración de metodologías se puede lograr analizar miles de partículas en tiempos más cortos que las metodologías tradicionales. Entre ellas destacan ICP-MS, LIBS e IMS, las cuales muestran potencial para lograr identificar compuestos orgánicos e inorgánicos, ofreciendo así alternativas que, si pueden llegar a un nivel de confianza alto, serán una alternativa a métodos vigentes.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el momento que se detona un arma de fuego, se inicia una serie de procesos manuales y químicos por medio del cual se obtiene una respuesta final conocida como disparo. Para llegar a esto se requiere la intervención de varios componentes como el propelente (carga de pólvora), el fulminante (iniciador de la explosión), vaina o recubrimiento, canal de salida y cañón, entre otros. Al momento de realizar el halado del gatillo se genera la chispa por medio del fulminante y activación de la pólvora o material utilizado como propelente, generando así los residuos de disparo (GSR), una mezcla heterogénea de partículas inorgánicas (IGSR) y orgánicas (OGSR), Krishna, S, & Ahuja, P, 2023.

Los IGSR están compuestos por partículas con un tamaño inicial de 0,5 micras, entre las cuales se encuentran principalmente compuestos como Plomo, Bario, Antimonio, Silicio. Por otra parte, los OGSR se componen de moléculas derivadas de la combustión de la pólvora sin humo, a base de nitrocelulosa y otros como, nitroglicerina (NG), difenilamina (DPA), etilcentralita (EC), metilcentralita (MC), akardita II (AK-II). Ambos tipos de GSR pueden presentar dinámicas de transferencia de residuos de disparo debido a la manipulación de las áreas donde estos se depositen, lo que hace recomendable el muestreo/análisis de estos compuestos de manera rápida y así evitar falsos positivos o negativos. Minzière, 2024.

Según (Minzière, 2024), los residuos obtenidos por disparos se obtienen generalmente de sitios como, el tirador (manos), rostro, brazos, orejas, zapatos, cabello, transeúntes, objetivos, y superficies como vestimenta o áreas circundantes al sitio del disparo, siendo el área de las fosas nasales donde se muestran niveles más bajos de ambos GSR.

Los estudios controlados revisados en diversos artículos destacan las manos como el sitio anatómico más contaminado con OGRS e IGRS, en especial la zona del pulgar e índice, seguidas por los antebrazos y rostro. Los puntos de contacto diferentes a las manos toman relevancia cuando se ha realizado un lavado, limpieza o desinfección de estas, de manera voluntaria o involuntaria, así como actividades de caminar, correr y aplicación de desinfectantes ya que puedan generar una interferencia entre el tiempo de exposición a los GSR y la toma de

la muestra, impidiendo la toma de datos reales en el proceso de muestro y modificando datos sobre GSR, donde se puede perder concentración de manera exponencial a través de las primeras horas después de realizada la descarga del disparo. Minzière et al, 2024.

Debido a lo anteriormente mencionado, es necesario establecer protocolos estrictos, reales y consecuentes con la toma de muestras, ya que se evidencia que los riesgos de contaminación son de alto impacto y son de fácil suceso en la práctica bajo condiciones controladas en escenarios adecuados. Siendo un ejemplo la contaminación de “fondo” en muestras pre-disparo (atribuible al entorno “indoor” del polígono), aunque siempre inferior a los niveles post-disparo en entornos controlados, por lo que al momento de realizar pruebas en espacios controlados debe ser un factor para contemplar. Minzière et al, 2024.

En cuanto a las metodologías analíticas utilizadas, el método estándar para la identificación de compuestos generados a partir de GSR es la microscopía electrónica de barrido acoplada a espectrometría de dispersión de energía de rayos X (SEM-EDS), la cual permite la identificación morfológica y elemental de partículas generadas por GSR y su principal ventaja es la información sobre tamaño, composición y forma individualizada de estas partículas (Krishna, S, & Ahuja, P, 2023)

No obstante, esta técnica presenta algunas limitaciones como el bajo rendimiento en cuanto a la relación de muestras que se pueden analizar versus tiempo de análisis, generando cuellos de botella y retrasos en los tiempos de entrega de resultados. Adicionalmente, se identificó que los protocolos estándar de clasificación de partículas no tienen en cuenta o pasan por alto la complejidad de la composición de los GRS, lo que representa un riesgo en la pérdida de información vital para para la investigación forense, Brünjes, 2022.

Debido a lo anterior, se han buscado nuevas alternativas instrumentales, como lo es la Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente el (ICP-MS), el cual es más selectivo para ciertos compuestos inorgánicos y brindando información mucho más completa para la obtención de resultados a partir de las muestras. El uso de esta técnica se basa en la capacidad de analizar miles de partículas por minuto, lo que permite un tamizaje rápido para la

detección de GSR con una cantidad mínima de muestra. Esta técnica permite identificar otros elementos contenidos en los residuos de disparo, mientras que los protocolos estándar (SEM-EDS), para la identificación de estos compuestos al no ser tan selectivo, pueden omitir información valiosa para el análisis. Sin embargo, cuenta con ciertas limitantes como la baja determinación del tamaño de la partícula, problemas para detectar compuestos no metálicos, limitaciones relacionadas con el límite de detección, Brünjes, 2022.

Por ende, esta revisión sistemática tiene como objetivo revisar técnicas instrumentales utilizadas actualmente, mostrando sus ventajas y desventajas, protocolos de recolección y preparación de muestras y avances relacionados con el tema de residuos orgánicos e inorgánicos de disparo, así como las nuevas técnicas emergentes que están en proceso de implementación.

## **2. METODOLOGÍA**

Para llevar a cabo esta revisión sistemática sobre el análisis instrumental de residuos orgánicos e inorgánicos de disparo, se tuvo como guía la metodología PRISMA, con el objetivo de eliminar sesgos y asegurar los datos obtenidos durante la búsqueda y selección de artículos relacionados al tema. Por medio de unos criterios de aceptación y de exclusión se obtuvo una serie de artículos que cuentan con información necesaria para el desarrollo de la monografía en curso. Por medio de diferentes bases de datos, palabras claves y conectores booleanos, se logró recaudar un pool de investigaciones de las cuales se espera obtener información concisa y enfocada a la línea de investigación escogida.

La elección de los artículos se realizó de forma individual, es decir, se revisó cada artículo con la ayuda de la plataforma Rayyan y se eligieron los que contaban con información relevante para el desarrollo de la investigación, es decir que cumplían los criterios establecidos previamente, como palabras claves, antigüedad e idioma.

### **2.1. Búsqueda bibliográfica y criterios de inclusión y exclusión.**

Para la búsqueda bibliográfica de los artículos relacionados con el tema Análisis instrumental de residuos de disparo orgánicos e inorgánicos: Una revisión sistemática, se realizó una

búsqueda documental en 4 bases de datos brindadas por la universidad Santiago de Cali, donde por medio de una serie de palabras claves y criterios tanto de inclusión como exclusión, se llegó a obtener una serie de artículos relacionados con el tema de investigación, adicional se gestionaron documentos provenientes de la literatura gris. Las palabras claves utilizadas para dicha investigación fueron: “residuos de disparo, IGSR and IGSR, análisis instrumental GSR”, brindando un amplio espectro de resultados, que permitieron obtener información esencial referente a la investigación.

## **2.2. Bases de datos.**

Se realizó la consulta en las bases de datos con las cuales la Universidad Santiago de Cali tiene un convenio como: Science Direct, Scopus, PubMed, Taylor & Francis, y de acuerdo a las palabras claves se generó la búsqueda y descarga de los artículos seleccionados de acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión.

## **2.3. Criterios de inclusión.**

Antigüedad de los artículos: periodo entre 2020-2025.

Lenguaje: inglés y español

Tipos de estudios: Artículos de investigación y completos (Libre acceso), literatura gris

## **2.4. Criterios de Exclusión.**

Criterios de exclusión: Periodo fuera de 2020-2025

Lenguaje: diferente de inglés y español

Tipo de estudios: Cartas al editor, comunicaciones, revistas.

## **2.5 Selección de artículos.**

Para la selección de los artículos, se utilizó el gestor bibliográfico Ryyan, el cual permitió realizar un filtrado a partir de 290 artículos obtenidos inicialmente con las palabras claves en las bases de datos, dejando un total de 27 artículos seleccionados. Se descartaron 117 artículos que tienen alguna relevancia, pero no cumple todos los criterios de inclusión, y 146 artículos que se encontraban repetidos de las diferentes bases de datos, se enfocaban en otros temas y/o no

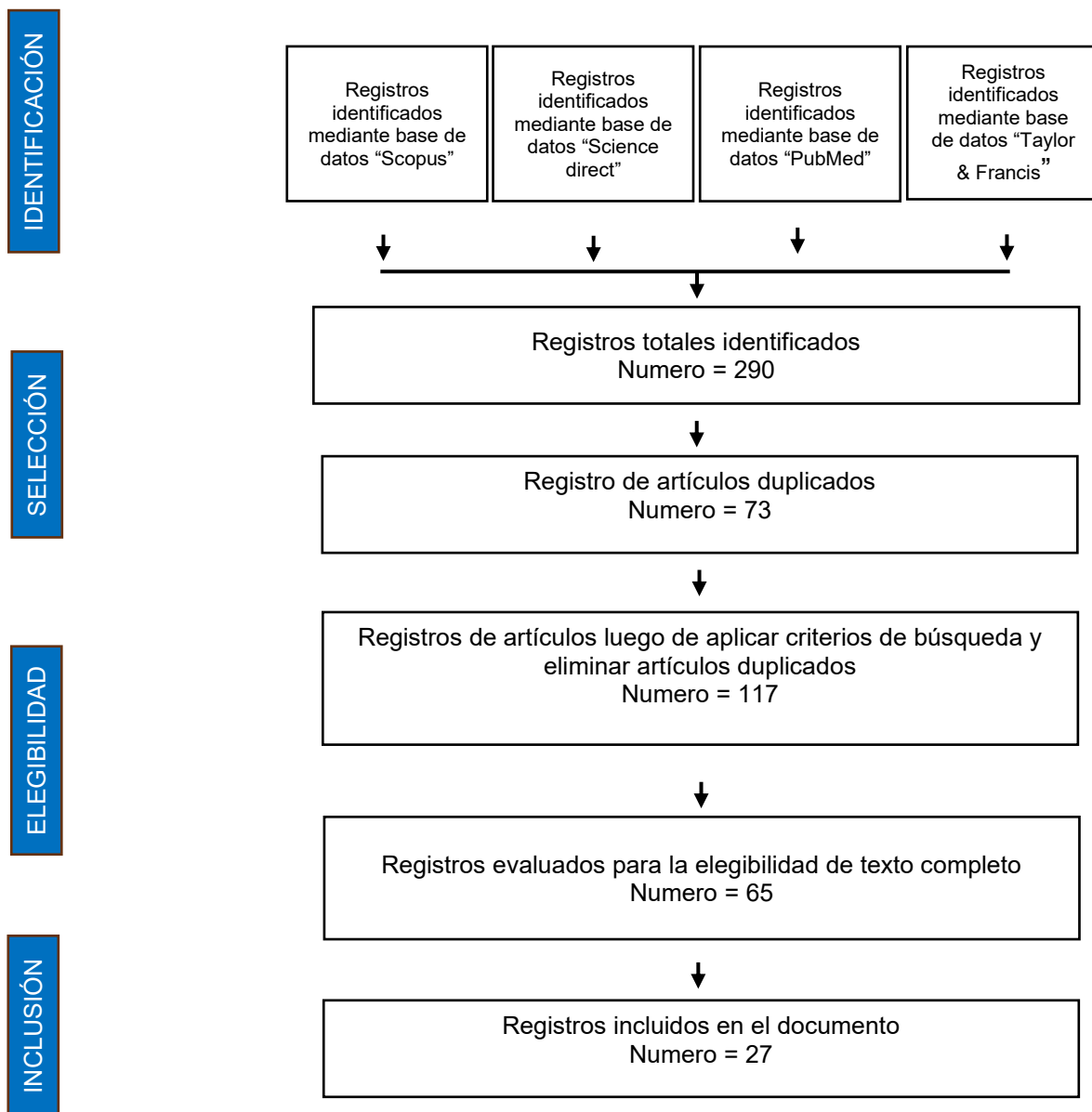
contaban con información relacionada a los criterios de búsqueda y selección, también artículos que no permitía ver el documento completo ya sea por permisos o pago de la información requerida. Así mismo, debido a que la mayoría de los artículos se encuentran en idioma inglés, se empleó el servicio gratuito de traducción “reverso”.

### **2.5 Extracción de la información.**

De los 27 artículos elegidos para la revisión se realizó la extracción de la siguiente información: Título del artículo, tipo de estudio, resumen, metodología aplicada, resultados obtenidos de la investigación, y ventajas y limitantes encontradas en cada artículo.

## **3. DESARROLLO Y DISCUSIÓN**

La presente revisión sistemática incluyó un total de 27 estudios científicos seleccionados mediante el modelo PRISMA, adaptado como se presenta en la figura 1, los cuales abordaron investigaciones, métodos y resultados relacionados con el área forense en el enfoque de residuos de disparo de armas de fuego.



**Figura 1.** Diagrama PRISMA

En la tabla 1, se realizó una breve descripción de cada uno de los 27 artículos seleccionados, en el cual se generó un resumen, tipo de estudio, metodología, resultados y ventajas y limitaciones, donde se condensan la información general GSR su composición, qué tipos de residuos existe, muestreo de este tipo de sustancias, pruebas controladas y no controladas, métodos instrumentales utilizados actualmente e innovación en metodologías, experticia del profesional en el ámbito forense y evolución del campo forense.

Los estudios seleccionados buscan abarcar una serie de diferentes enfoque metodológicos, desde revisiones narrativas y sistemáticas, hasta estudios experimentales controlados, lo cual brinda una visión integral del estado de arte en lo que tiene que ver con GSR y sus derivados, así mismo permite identificar tendencias de la investigación forense, como el crecimiento de técnicas no destructivas, desarrollo de métodos más rápidos, complementación de métodos - métodos, métodos – análisis químico métricos, armonización entre laboratorios y todo con el fin de mejorar los resultados obtenidos de análisis de GSR

**Tabla 1.** Revisión sistemática de artículos

#	TITULO	TIPO DE ESTUDIO	RESUMEN	METODOLOGÍA	RESULTADOS	VENTAJAS Y LIMITACIONES
1	(Re-)positioning forensic research & development for increased impact in gunshot residue examination	Revisión sistemática de literatura	Este artículo indaga en la investigación científica y la práctica forense en el análisis de residuos de disparo por arma de fuego, mencionando costos elevados y tiempos considerables que requiere la SEM-EDS sin dejar de ser la técnica estándar este tipo de matrices por los últimos 40 años. También se relacionan nuevos métodos instrumentales que pueden ser adoptados a los análisis de rutina y se le da	Para la revisión sistemática se utilizó una estrategia metodológica dividida en tres fases, la primera una revisión sobre GSR analizando tendencias en las últimas dos décadas hasta el 2022. para continuar se realizó una encuesta dirigida a expertos forenses, donde se indagaba sobre prácticas de recolección y análisis, así como necesidades	Según el artículo, las publicaciones sobre GSR han aumentado durante los últimos 20 años, con un aproximado de 40 anuales para el 2022, de las cuales los temas principales fueron el desarrollo de nuevas metodologías, persistencia, prevalencia e interpretación. La encuesta realizada determino que se depende de los filtros de carbono y de SEM-EDS	Como ventaja, permite una comprensión desde varios puntos de vista del problema, ya que integra evidencia cualitativa y cuantitativa, identificando desconexiones entre la producción científica y las necesidades prácticas del laboratorio. Como limitación, la presencia de solo 45 investigadores, puede generar un sesgo de

			<p>importancia a la calidad de las muestras tomadas, como la prevalencia de los residuos.</p>	<p>del entorno forense. Y para culminar se organizó una mesa redonda entre investigadores, donde se establecieron oportunidades de mejora antes barreras en la investigación de los GSR.</p>	<p>como la práctica forense más común. se identificó falta de armonización metodológica y la necesidad de mayor colaboración entre profesionales del sector forense</p>	<p>información sobre los hallazgos presentados a nivel global y aunque se reconocen aspectos por mejorar, no se brinda un plan de acción ante estos.</p>
2	<p>A chronologic al study of gunshot residue (GSR) detection techniques: A narrative review</p>	<p>Revisión narrativa de literatura</p>	<p>El artículo presenta una vista a través de los años sobre los métodos desarrollados para la detección de GSR, enfatizando en las técnicas fotométricas y espectroscópicas de la actualidad, pasando por pruebas colorimétricas y su baja confiabilidad y finalizando con técnicas más novedosas como Raman (SRS), espectrometría de movilidad iónica (IMS) y</p>	<p>Revisión sistemática de diferentes publicaciones científicas donde se abordan diferentes técnicas instrumentales y como estas han evolucionado a través del tiempo, desde métodos destructivos de baja complejidad, hasta técnicas no destructivas que ofrecen una mayor sensibilidad y precisión.</p>	<p>El artículo da a entender que SEM-EDS se posicionó como la técnica estándar para analizar GSR por la habilidad de determinar cualidades morfológicas versus la composición química de las muestras. Resaltando desventajas ante la aparición de pólvora sin plomo, para contrarrestar esto, se destacan las</p>	<p>Las metodologías actuales presentan múltiples beneficios, como la facilidad de preparación de las muestras, capacidad análisis multielemental, naturaleza no destructiva y límites de detección bajos. Sin embargo, factores como el presupuesto, personal capacitado e</p>

			espectroscopia de descomposición inducida por láser (LIBS), los cuales han demostrado un potencial para identificar sustancias orgánicas e inorgánicas de residuos de disparo de armas de fuego.	adicional a esto se revisaron investigaciones sobre la persistencia de los GSR y cómo afecta fisicoquímicamente el tiempo que transcurre entre el disparo y la obtención de la muestra.	ventajas de otros métodos como espectrometría de movilidad iónica (IMS), espectrometría de descomposición inducida por láser (LIBS) y en qué casos puede ser utilizados dichos métodos alternos.	idóneo, presentan oportunidades de mejora en cuanto al ámbito forense.
3	Surface analysis techniques in forensic science: Successes, challenges, and opportunities for operational deployment. <i>Annual Review of Analytical Chemistry</i> , 15, 651-678	Revisión sistemática de literatura	El artículo indica que a pesar que los residuos de disparo generados por armas de fuego han sido un avance en la ciencia forense, se han obviado factores como los efectos ambientales generados por estos residuos. El artículo refleja hallazgos claves y debilidades en cuanto a la caracterización ambiental de GSR y contaminantes asociados a armas de fuego	Revisión sistemática de literatura en un periodo de 20 años (2000-2020), donde se evalúan estudios técnicos sobre recolección, caracterización y remediación de residuos de disparo generados por armas de fuego. Se destacan 3 componentes como lo son; métodos analíticos, caracterización ambiental y técnicas de remediación.	se evidencia que el artículo genera resultados de estudio en los dos tipos de GSR, inorgánicos y orgánicos. Siendo los resultados encontrados principales sobre contaminación en el suelo en campos de tiro entre diferentes distancias de recolección y profundidad.	El artículo destaca que las técnicas instrumentales actuales como SEM-EDS, ICP, LIBS, son las principales herramientas utilizadas para analizar este tipo de residuos. Sin embargo, enfatiza en la falta o limitación de investigación de compuestos encontrados en escenas del crimen en cuanto a la contaminación ambiental, implicando que se tiene

						un enfoque restringido a cierta cantidad de compuestos (Cu, Pb, Sb), ignorando otros contaminantes potenciales y la innovación en nuevas tendencias en municiones.
4	Characterization and comparison of smokeless powders by on-line two-dimensional liquid chromatography	Estudio metodológico experimental	El artículo explica el desarrollo y validación de un método analítico para cromatografía líquida bidimensional (2D-LC) en línea, que permite la caracterización simultánea de la distribución del peso molecular de la nitrocelulosa y también generar un perfil de aditivos para pólvoras sin humo. En este documento se le da una importancia a la Nitrocelulosa sobre dejando de un lado los componentes de los aditivos	Al tratarse de una validación de un método analítico, se observa que la primera etapa corresponde al diseño del sistema, donde se indican las características principales de dicho diseño. La segunda etapa explica sobre equipos, insumos y preparación de muestras, utilizados para lograr el análisis planteado, y para finalizar se enfoca en el procesamiento de los analitos objetos de estudio y la generación de resultados.	Se logró el objetivo inicial del artículo de caracterizar la Nitrocelulosa en las pólvoras sin humo, obteniendo un método confiable, preciso y que permite cuantificar los compuestos objetivos. así mismo se logró confirmar la eficiencia de la cromatografía bidimensional,	Como ventaja, el artículo refleja que las muestras no requieren una preparación extensa para resultados ideales y que cuenta con un alto poder discriminatorio entre sustratos. Como desventajas principales destaca el tiempo prolongado del análisis y la falta de material de referencia para identificar la Nitrocelulosa.

5	Detection of Gunshot Residues Using Mass Spectrometry	Revisión narrativa de literatura	El artículo destaca que en los últimos años se ha resaltado una relevancia importante a los residuos orgánicos de disparo debido al uso creciente de municiones libre de plomo y metales pesados. A pesar que el uso de MS ha aumentado en los últimos años, la SEM-EDX continúa siendo el estándar en la investigación de muestras de residuos por disparo en armas de fuego.	El artículo realiza una evaluación de las técnicas de espectrometría de masas disponibles para el análisis de residuos de disparo por armas de fuego, métodos de ionización existentes y aplicaciones descritas en la literatura forense especializada. Se toma MS acoplada a LC-MS y GC-MS y otras técnicas de ionización disponibles para diversos tipos de analitos con el fin de analizar GSR.	Se logra identificar que la espectrometría de masas acoplada a sistemas cromatográficos como LC-MS y GC-MS representa una herramienta de gran utilidad debido a su alta selectividad, que permite diferenciar compuestos químicos de estructura o morfología similar, así mismo que posee una gran sensibilidad para la detección de trazas a niveles microscópicos	Se determinó que la espectrometría de masas ofrece numerosas ventajas significativas para el análisis forense, como alta selectividad, sensibilidad elevada y especificidad molecular, pero no puede compararse con técnicas como SEM-EDX en cuanto a análisis de GSR, lo que indica que la técnica por sí sola tiene falencias que puede mejorar significativamente si se usa acoplada a técnicas cromatográficas.
6	Detection of organic gunshot residues from human hands using direct sample	Estudio metodológico experimental	El artículo explica el desarrollo y validación de una metodología basada en espectrofotometría de masas de tiempo de vuelo,	Se realizó un diseño experimental para usar DSA-TOF-MS para la detección de residuos orgánicos de	Los resultados obtenidos de la parte experimental, demostraron que DSA-TOF-MS proporcionó	Las ventajas más representativas que presenta el artículo son la rapidez en el método, que

	<p>analysis-time of flight-mass spectrometry</p>		<p>con la característica que el análisis se realiza directamente sobre la muestra para identificar residuos orgánicos de disparo en manos de tiradores. esta técnica DSA-TOF-MS, permitió que se detectaran 4 compuestos (metil centralita, etil centralita, 2,4-dinitrotolueno y trinitrotolueno) sin realizar preparación de la muestra, con una reducción de tiempo de análisis considerable.</p>	<p>disparo en manos de tiradores. Por medio de 200 muestras a 50 diversos tiradores y utilizando pistola y revolver y se acondicionaron los escenarios de manera controlada para la toma de muestras. Se tenía como objetivo poder detectar los 4 analitos metil centralita, etil centralita, 2,4-dinitrotolueno, y trinitrotolueno, que son usualmente utilizados como estabilizadores y aditivos en pólvoras sin humo modernas.</p>	<p>información extensa y valiosa sobre la composición de los residuos de disparo en las 200 muestras analizadas. El artículo también resalta que el método demostró su capacidad de analizar muestras tomadas en las manos del gatillo, lo que reduce tiempo de entrega de resultado versus otras metodologías que requieren métodos de extracción y procesamiento extensivo, siendo un avance importante para la implementación práctica para laboratorios forenses</p>	<p>proporciona información sobre la composición del residuo de disparo y puede analizar varios analitos simultáneamente. Como limitación encontramos que el método no proporciona información detallada sobre parámetros de validación como límites de identificación, límites de cuantificación, precisión y exactitud.</p>
--	--	--	--	---	--	--

7	Effect of mounting a sound suppressor on distribution and total amount of inorganic gunshot residue on targets	Estudio experimental análisis forense balístico	El artículo realizó una investigación del efecto que producen los silenciadores de sonido en la distribución espacial y la cantidad de residuos inorgánicos de disparo en lugares circundantes a la detonación del arma de fuego, mediante la técnica de fluorescencia de rayos x y espectroscopia de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), dando como resultado un cono de partículas menor, sin reducir significativamente las concentraciones totales de los compuestos de los GSR.	El diseño experimental incluyo disparos con y sin silenciador, para evaluar ambos tipos de resultados y comparar las diferencias. Los compuestos químicos a analizar fueron plomo, Antimonio y cobre, componentes característicos de los iniciadores en los proyectiles de munición convencional. Para el análisis de las muestras se utilizó ICP-OES.	El primer resultado obtenido fue la variación en la distancia de hasta 20 cm en reducir o concentrar el cono de radio de las partículas que alcanzaron los blancos, modificando así la distribución espacial de los GSR. Los elementos principales de la investigación no tuvieron cambios considerables en sus concentraciones. el otro hallazgo importante fue, que los disparos realizados con armas con silenciador, alcanzaron niveles de concentración más altos que los obtenidos sin ellos.	Como ventaja se tienen que la elección de la metodología ICP-OES, enfoca la investigación a un cierto grupo de compuestos, los cuales son característicos de los residuos de disparo de armas de fuego, facilitando así su identificación. Sin embargo, el estudio presenta limitaciones relacionadas con la variabilidad de los datos, ya que a pesar que hay variaciones entre los datos obtenidos de disparos con y sin supresor, no son significativas para llegar a conclusiones
8	Field portable X-ray fluorescenc	Revisión sistemática de literatura	Este artículo es una revisión exhaustiva que evalúa la	Se baso en la revisión sistemática de publicaciones	Los estudios observados en la revisión demostraron la	Como ventaja se encuentra que FP-XRF, es una

	<p>e (FP-XRF) as powerful, rapid, non-destructive and 'white analytical tool' for forensic sciences - State of the art</p>		<p>espectroscopia de fluorescencia de rayos X portátil (FP-XRF), como herramienta clave en ciencias forenses, destacando su capacidad para análisis elemental rápido, económico y no destructivo, y también denominada como una metodología analítica sostenible sin reactivos.</p>	<p>sobre FP-XRF en el campo forense, donde se incluyeron aplicaciones prácticas, evaluación de instrumentos portátiles, algoritmos computacional es y comparación ante otras técnicas.</p>	<p>alta efectividad en la diferenciación de materiales en análisis de FP-XRF, proporcionand o evidencia directa para la identificación de compuestos. Siendo una herramienta con una utilidad forense en la identificación de huesos.</p>	<p>metodología de naturaleza no destructiva, lo cual reserva la evidencia en caso de requerir análisis más complejos, no requiere preparación química, solventes, ni genera residuos peligrosos. Su principal desventaja en el ámbito forense es que nos distingue entre huesos humanos y animales ya que no alcanza un nivel alto de confiabilidad.</p>
--	--	--	---	--	---	--

9	Forensic importance of gunshot residue analysis: a review	Revisión bibliográfica	Este artículo es una revisión extensa sobre el análisis químico de la pólvora usada en la detonación de armas de fuego y los residuos de disparo generados por esta, enfocándose en las técnicas analíticas modernas como microscopía electrónica de barrido con espectroscopía de rayos x dispersivos de energía (SEM-EDX), espectroscopia FTIR, Espectroscopía Raman, cromatografía de gases (GC) y cromatografía líquida (LC), para detectar, identificar y caracterizar compuestos inorgánicos y orgánicos que se encuentran en escenas de las investigaciones forenses	Se examinaron múltiples técnicas analíticas descritas en los artículos seleccionados, destacando varios temas como análisis morfológico, análisis químico, técnicas confirmatorias, preparación de muestras, métodos espectro métricos y cromatográficos.	La revisión identifica más de 130 compuestos asociados a compuestos generados por residuos de disparo por armas de fuego. Se detectaron tanto compuestos orgánicos como inorgánicos, dando una importancia a nuevas tendencias en compuestos más amigables con el medio ambiente para el accionar de las armas de fuego.	Los diferentes métodos estudiados ofrecen una serie de ventajas y desventajas de acuerdo al tipo de matriz y metodología aplicada. Algunos ofrecen metodologías menos o más destructivas, más o menos amigables con el ambiente, más o menos precisas, por lo que se concluye que se debe tener una elección ideal del método previo de acuerdo a la matriz a la aplicación del mismo.
---	---	------------------------	---	---	--	--

10	Integrating Chromophoric and Instrumental Methods (SEM-EDS and FTIR) for Accurate Shooting Distance Estimation: An Inter-laboratory Study in Forensic Chemistry	Estudio Interlaboratorio experimental	El artículo habla sobre la estimación de la distancia de disparo y como este factor es crítico en las investigaciones forenses. También indica que las pruebas colorimétricas tradicionales carecen de sensibilidad y objetividad, por lo que el estudio propone integrar estas pruebas con técnicas avanzadas (SEM-EDS y FTIR-ATR), con el fin de mejorar la sensibilidad, reproducibilidad y objetividad de las estimaciones de la distancia de los disparos.	Para lograr las muestras se realizó un experimento controlado donde se disparó un cartucho usado por un rifle de asalto contra muestras de tela desde diferentes distancias y se usaron las pruebas de Griess Modificada (MGT) y la Prueba de Rodizonato de Sodio (SRT) para medir la distancia y se integraron los resultados con SEM-EDS y FTIR-ATR.	Se logro una alta reproducibilidad a distancias cortas, con RSD <11% hasta 30cm de distancia de disparo, pero no se logró mantener este RSD a distancias más largas. También se encontró una relación entre el área de disparo y al área de residuos generada por dichos disparos.	Al ser una técnica complementaria, se nota una mejora significativa ante la sensibilidad, objetividad y reproducibilidad de las estimaciones de distancia de disparo, permitiendo también identificar la presencia de residuos orgánicos e inorgánicos. Como limitación se encontró que a distancias mayores a 30 cm que se obtienen datos tan precisos y que al solo utilizarse un tipo de munición, arma y sustrato (tela), no se puede establecer un patrón para todas las armas de fuego.
11	Interpol review of gunshot	Revisión bibliográfica	El artículo cubre múltiples aspectos del	Esta revisión examina diferentes	Se examinó pólvora sin humo en	La principal ventaja que presentada

	<p>residue 2016–2019</p>	<p>sistemática</p>	<p>análisis de los residuos de disparo por armas de fuego. Siendo la SEM-EDS la metodología de mayor elección para la identificación de IGSR como plomo, bario y antimonio en matrices de este tipo. También se discute dos investigaciones sobre revisiones importantes dedicadas a problemas de interpretación, una que habla sobre niveles de interpretación y la segunda que habla sobre disposición, distribución, transferencia y persistencia de los GSR.</p>	<p>técnicas de muestreo y análisis, donde se dan las indicaciones de cómo se procede para realizar el muestreo, diferentes técnicas de muestreo y análisis de mucus nasal del individuo, brindando ejemplos de sustancias que se podían identificar hasta 12 horas después de tomada la muestra. Así mismo indican que se realizaron pruebas de competencia donde se eligió SEM-EDS como el método principal para analizar residuos de disparo generados por armas de fuego.</p>	<p>dispositivos de recolección, donde se encontró que el mayor grado de degradación ocurría después de los 4 primeros días, con los compuestos comúnmente encontrados como nitroglicerina, difenilamina y etilcentralina. También se encontró que las víctimas de estos disparos generalmente no contenían trazas de este tipo de GSR en diferentes partes del cuerpo, principalmente en manos y brazos.</p>	<p>en el artículo es que SEM-EDS permite la determinación de la correlación entre la morfología y la composición química de GSR, sin embargo, como limitante se puede ver que, en caso de tener residuos de disparo con munición libre de metales pesados, ya que son compuestos que requieren otros métodos para poder detectar y cuantificar</p>
--	------------------------------	--------------------	--	--	--	--

12	Interpol review of the analysis and detection of explosives and explosives residues	Revisión bibliográfica sistemática	El documento brinda una visión general en el desarrollo de técnicas analíticas para la detección de explosivos. Con los avances recientes en técnicas y métodos quimiométricos han mejorado la clasificación, detección e interpretación de residuos por explosivos. Debido a que la espectroscopia infrarroja (IR) y la espectrometría de masas con cromatografía de gases (CG) ha sufrido mejoras a tras de los últimos años, se ha logrado una detección más precisa por medio de estas técnicas.	Esta revisión brinda múltiples puntos de vista y metodologías que pueden ayudar para la detección de explosivos. Teniendo en cuenta los enfoques quimiométricos, incluyendo el análisis de componente principales (PCA), análisis lineal (LDA) y análisis discriminante de mínimos cuadrados parciales (PLS-DA) como acompañantes de dichos procesos para generar resultados más seguros y confiables.	Los resultados obtenidos demostraron que se presentan avances significativos en la capacidad de detección de trazas de explosivos de alto poder (TNT), y tetranitrilo de pentaeritrol (PETN) en áreas públicas, es de difícil hallazgo, indicando una baja probabilidad de contaminación accidental.	Las principales ventajas identificadas son las mejoras significativas en capacidad analíticas, y que junto con el apoyo de métodos quimiométricos se ha logrado evolucionar en el análisis de datos forenses al mejorar la precisión de clasificación y permitir la identificación automatizada de estos compuestos. Como limitación se encuentra que persisten desafíos en la adaptación de técnicas basadas en laboratorios para despliegue en campo, faltando temas de sensibilidad y robustez.
13	Interpol review of	Revisión bibliográfica	Esta revisión cubre la literatura de relevancia en	Esta revisión sistemática cubre los años	Los resultados revelan patrones	El artículo destaca las mejoras en la

	toxicology 2016–2019	sistemática	el ámbito forense de la toxicología en el periodo el 2016-2019 como parte del simposio de gerentes de ciencias forenses de la interpol, donde se proporciona información que indica que conducir bajo los efectos del alcohol o drogas es una práctica común y un serio problema de salud pública con 400.000 personas aproximadamente muriendo en el mundo por accidentes de tránsito en que el etanol estuvo involucrado	2016-2019, donde se tuvo en cuenta estudios relacionados con caso de toxicología forense y el impacto que este tipo de escenarios generan a la salud pública. Para el desarrollo del artículo se realizó un estudio estadístico donde se tomaron datos de víctimas de accidente de tránsito sobre edad, sexo, año y resultados analíticos en plasma en casos positivos. las drogas principalmente encontradas fueron etanol, benzodiapinas y cocaína.	significativos de intoxicación. De 710 casos de personas fallecidas en accidentes de tránsito, se encontró al menos una sustancia psicotrópica en la sangre de casi el 40% de las víctimas, donde el alcohol, etílico (231), benzodiazepinas (43) y cocaína (25) y poli consumo (44), siendo la asociación de etanol y cocaína lo más común, seguida con etanol y benzodiapinas.	diseminación de avances de investigación forense, donde la precisión del diagnóstico toxicológico permite obtener un perfil de las sustancias para prevención y control. Y como limitante podemos encontrar que la información de este tipo de estudios no es de conocimiento público, por lo que se debe implementar campañas de concientización sobre el abuso de estas sustancias.
14	Organic and inorganic gunshot residues on the hands, forearms, face, and nostrils of shooters	Estudio experimental controlado	Este estudio evalúa las cantidades de residuos orgánicos e inorgánicos de disparo por armas de fuego en diferentes	Se recolectaron muestras de 4 tiradores inmediatamente después del disparo 30 minutos después y	Se obtuvieron resultados de patrones distintivos de distribución de GSR. También una contaminación de fondo de	Como principales ventajas se encuentra que es una tecnología innovadora de muestreo secuencial.

	30 min after a discharge		<p>regiones corporales de 4 tiradores, 30 minutos posteriores al disparo. Donde se examinaron partes del cuerpo como mano derecha e izquierda, antebrazos, rostro y fosas nasales, con el fin de comprender los mecanismos de persistencia y transferencia de GSR.</p>	<p>usando adhesivos de carbono. Se tomaron muestras de manos derecha e izquierda, antebrazos, rostro y fosas nasales. Se utilizó UHPLC-MS/MS y SEM-EDS para la detección GSR. Así mismo se utilizó el mismo sustrato de recolección, maximizando la eficiencia del muestreo y compatibilidad de los resultados.</p>	<p>OGSR como IGSR en el ambiente del tirador. 30 minutos después del disparo, se encuentran las concentraciones más altas en la mano derecha e izquierda del tirador que en otras zonas de recolección. antebrazos y el rostro se toman como alternativas para encontrar datos.</p>	<p>Uso del mismo adhesivo de carbono para análisis de OGSR e IGSR maximiza la eficiencia del muestreo. Se tienen limitantes que incluyen aspectos metodológicos y contextuales, como la cantidad de GSR detectadas en las fosas nasales es muy baja, así como los IGSR y OGSR tienen diferentes mecanismos de transferencia de datos, por lo que complica la interacción unificada de la evidencia.</p>
--	--------------------------	--	--	---	---	---

15	<p>Pattern of firearm discharge residue on cotton cloth substrate to determine the range of firing by 7.65mm caliber of country made and standard firearm: An original research study</p>	<p>Estudio experimental comparativo</p>	<p>Este estudio investiga los patrones de dispersan de residuos de disparo de armas de fuego en tela de algodón, con el fin de determinar el rango de disparo y poder diferenciar entre armas calibre 7,65 mm y armas artesanales. Teniendo como objetivo principal la recolección de datos con armas artesanales y estándar desde un rango cercano sobre un sustrato que en este caso fue tela de algodón.</p>	<p>Estudio realizado durante un tiempo de 3 años, en casos reales en la división de balística del CFS/CBI/nueva Delhi, donde se recolectaron 180 muestras totales en diferentes rangos de distancia. Se utilizaron muestras de pistolas artesanales y pistolas estándar y cada uno fue disparada 30 veces para asegurar su reproducibilidad. Los patrones de dispersión se midieron interna y externamente en las muestras</p>	<p>Los resultados mostraron una gran variación en el patrón de dispersión de GSR desde las diferentes distancias que se tomó la muestra y también de acuerdo al tipo de arma utilizada, en un diferenciado de hasta 4 pulgadas entre armas artesanales y armas de fuego estándar.</p>	<p>La principal ventaja observada es la aplicabilidad forense, ya que proporciona datos cuantitativos específicos sobre patrones de dispersión de GSR. Así mismo la mayor limitante es lo cerrada o corta que se queda la investigación, ya que se tienen solo 3 medidas de distancia bases para el estudio.</p>
----	---	---	---	--	---	--

16	Pervasiveness of inorganic gunshot residue (IGSR) in handguns after cleaning and conditioning procedures	Estudio experimental de laboratorio	Este artículo investiga el efecto memoria en las armas de fuego, esto quiere decir la capacidad para liberar partículas IGSR, y esta depende de toda la historia de los disparos realizados con dicha arma de fuego. Por lo que se evalúa la efectividad de diversos procedimientos de limpieza para interferir en este fenómeno. Para finalizar se llega a la conclusión que no es posible eliminar dicha huella propia del arma de fuego.	Para la parte experimental se utilizaron dos pistolas nuevas de marca y municiones con iniciadores basados en plomo, sin plomo y libre de metales pesados. Se tomaron las muestras tanto de las manos como de los sustratos que correspondían a objetivos de algodón ubicados cerca del cañón y se analizaron por medio de SEM-EDS e ICP-OES.	Los resultados fueron contundentes y se observó que dichos procedimientos de limpieza fueron ineficientes para reducir el efecto memoria. También se determinó que así se usen diferentes iniciadores, la huella del arma de fuego no cambia. A pesar que los residuos pueden disminuir por uso de munición nueva, no desaparecen del todo, lo que indica que toda el arma y no solo el cañón desempeña un efecto memoria.	Como ventaja se encontró que la utilización de armas de fuego nuevas elimina posibles variables versus armas que cuentan con historial de uso previo desconocido. La obtención de datos de diferentes matrices y con diferentes iniciadores permite una evaluación del efecto memoria bajo diferentes composiciones químicas. Como limitación se puede encontrar resaltan que los procedimientos de limpieza en armas para reducir el efecto memoria.
----	--	-------------------------------------	---	---	--	---

17	Proposed practices for validating the performance of instruments used for automated inorganic gunshot residue analysis	Documento de recomendaciones metodológicas	El artículo proporciona un conjunto de pruebas para validar de rendimiento de instrumentos SEM-EDS utilizados en el análisis automatizado de IGSR, estableciendo procedimientos para el uso correcto y posibles mejoras a la metodología aplicada	Se proponen dos niveles de muestra, el primero consiste en pruebas para cuando el instrumento se le realizan modificaciones significativas, estableciendo el rendimiento de la línea base del sistema SEM-EDS. El segundo nivel son pruebas que se realizan regularmente para documentar el rendimiento actual del instrumento y detectar deterioro en la operación, lo que asegura un análisis confiable de residuos de disparo.	El documento establece que estas pruebas de validación representan una manera eficiente de establecer, documentar y evaluar el rendimiento de los equipos utilizados en los análisis para residuos inorgánicos de disparo por medio de SEM-EDS.	La principal ventaja observada es la aplicabilidad universal y enfoque sistemático, lo que permite que comprobar el funcionamiento ideal de este tipo de instrumentos, pero el documento no es claro en los intervalos exactos para las pruebas regulares en control de calidad lo que genera una falta de confianza en el método. y para finalizar el uso de personal para estas labores.
----	--	--	---	---	---	--

18	Rapid analysis of gunshot residues with single-particle inductively coupled plasma time-of-flight mass spectrometry	Estudio metodológico experimental	El artículo describe el uso adecuado de espectrometría de masas acoplado inductivamente a tiempo de vuelo de partícula única (sp-ICP-TOF-MS) con el fin de lograr caracterizar los residuos de disparo generados por armas de fuego en diversos tipos de munición. Esta metodología instrumental es capaz de analizar miles de partículas por minuto, lo cual permite un tamizaje rápido de muestras para la detección de GSR con una preparación sencilla.	Para la etapa experimental se analizaron materiales de referencia de IGSR con plomo y sin plomo, utilizando sp-ICP-TOF-MS, después se cuantificaron las composiciones elementales de las partículas individuales encontradas en los espectros. Esto permite detectar partículas más pequeñas que aquellas medidas por SEM-EDS, por lo que se pueden registrar hasta dos veces más partículas por mL mediante sp-ICP-TOFMS que por SEM-EDS.	En general, este análisis de alto rendimiento y sensibilidad por la técnica sp-ICP-TOFMS, permite realizar una caracterización poli-elemental que genera resultados cuantitativos y rápidos, también permite la clasificación de partículas IGSR individuales. esta técnica analiza miles de partícula por minuto, lo que permite un segregado rápido con una preparación mínima.	La ventaja principal sp-ICP-TOFMS, es su alto rendimiento y alta sensibilidad, también permite una caracterización poli-elemental, cuantitativa y rápida, que puede clasificar partículas individuales de IGSR. Pero como limitación encontramos que es una técnica muy completa, es decir se complementan gracias a una cantidad de técnicas y fácilmente puede ser reemplazada por otras que no requieren tanta complejidad.
----	---	-----------------------------------	---	--	---	--

19	Recent advances in MC-ICP-MS applications in Earth and environmental sciences: Challenges and solutions	Artículo de revisión crítica	El artículo indaga en el desarrollo de la espectrometría de masas de plasma acoplado a multi-cover (MC-ICP-MS). Esta se utiliza desde el año 1992, y fue utilizada para estudios geoquímicos, explotación mineral y factores ambientales. Así mismo habla de cómo la técnica MC-ICP-MS, es el estándar en los métodos actuales para la determinación absoluta de concentraciones de elementos de la tabla periódica en diferentes matrices geológicas	Esta revisión indica descripciones detalladas de instrumentación, procedimientos y materiales de referencia, que en conjunto van enfocadas en aplicaciones de área de geoquímica y similares. De igual manera se revisan documentos sobre metodologías como MC-ICP-MS y LASS acoplado a ICP-MS.	Los recientes avances en - MC-CP-MS junto con otras técnicas han convertido de esta, una de las herramientas analíticas más destacadas para este tipo de estudio y que puede llegar a obtener resultados similares a técnicas ya establecidas.	Como principal ventaja se puede tener que es una técnica muy versátil con capacidades analíticas mejoradas si se usa en complemento con otras metodologías. Sin embargo, su principal limitación es la complejidad de instrumental y los requisitos para poder llegar a operar un equipo de este calibre.
----	---	------------------------------	---	---	--	---

20	Review— Recent Advances of Electrochem ical Techniques in Food, Energy, Environment, and Forensic Applications	artículo de revisión integral	Las técnicas electro-analíticas han sufrido un avance significativo en diferentes aplicaciones debido a su versatilidad, sensibilidad y especificidad, siendo los dispositivos electro analíticos basados en papel (ePADS), una nueva alternativa sostenible y eficientes ante técnicas analíticas convencionales. Estos sensores han demostrado ventajas en costos, efectividad, velocidad y confiabilidad en el ámbito forense.	La metodología del artículo se basa en una revisión a los últimos avances en cuanto a técnicas electro-analíticas, describiendo como mejoran, aportan y pueden llegar a ser métodos confiables igual o mejor que técnicas tradicionales para análisis forense.	Según la revisión, los dispositivos electroanalíticos han generado oportunidades en la industria médica, ambiente, alimentos y forense, y junto con una evolución constante se puede prever que los resultados hacia la migración de este tipo de dispositivos están asegurados debido a sus características portables y su fácil uso.	su principal ventaja es la relación entre costo y efectividad que se maneja en este tipo de dispositivos, así como su velocidad y confiabilidad. Para las limitaciones se tiene que problemas de estabilidad de fujos, como compatibilidad de muestras, estandarización y confianza a largo plazo.
----	---	--	---	--	--	--

21	Simultaneous analysis of organic and inorganic explosive traces by online two-dimensional liquid chromatography	Estudio metodológico experimental	El artículo desarrolla un flujo de trabajo que permite la detección y separación simultánea de aniones inorgánicos, cationes y materiales explosivos orgánicos a partir de inyecciones individuales del equipo. El método desarrollado fue una cromatografía líquida bidimensional (2D-LC), siendo esta capaz de analizar diferentes clases de explosivos usando un solo método, así reduciendo cantidades de tiempo, muestras y horas trabajo.	El artículo habla sobre el desarrollo de un método HILICxRPLC de uso simultáneo, donde en la primera etapa se separan aniones y cationes inorgánicos y la segunda permite la transferencia y reenfoque de la fracción orgánica a una separación de cromatografía líquida en fase reversa. Al ser compatible con masas, permite una detección aún más sensible e identificación selectiva y admisible.	El método desarrollado HILIC x RPLC, es capaz de lograr analizar variedad de clase de explosivos, usando un solo método, reduciendo cantidad de tiempo, trabajo y costos. Como finalidad se obtiene separación y detección simultánea de los compuestos objetivos.	Como principal ventaja se puede ver que el método desarrollado tiene capacidad para analizar múltiples muestras en simultáneo y de múltiples clases de compuesto, lo que mejora horas trabajo y costos antes los análisis. Como limitación se podría indicar que para la preparación de la muestra se requieren pasos adicionales, así mismo requiere instrumentación especializada por lo que requiere una inversión considerable.
----	---	-----------------------------------	---	---	--	---

22	Surface Analysis Techniques in Forensic Science: Successes, Challenges, and Opportunities for Operational Deployment	Artículo de revisión	Este artículo realiza una revisión de análisis de superficie aplicada en el área forense, donde se indaga en el potencial para analizar diferentes tipos de matrices de carácter forense, como cabellos, huellas dactilares, drogas, explosivos entre otros.	El artículo destaca que se realiza una revisión sistemática sobre unos temas principales; La espectrometría de masas de superficie y la espectrometría de rayos x en superficie, donde progresivamente se va analizando su aplicación en evidencias forenses claves, como huellas, cabellos, drogas y micro tazas.	Según el artículo se demuestra que estos tipos de técnicas que atacan la superficie de las matrices, pueden ser de gran utilidad como análisis preliminar o promesa para una investigación a mayor escala, Así mismo se verifica la portabilidad y utilidad de este tipo de métodos.	La principal ventaja es la portabilidad del método, lo cual permite análisis preliminares en la escena del crimen, sin embargo, no todas las demostraciones propuestas han alcanzado una implementación operacional, lo cual refleja que se requiere un proceso adicional con el fin de adaptar estas técnicas a la práctica de la rutina forense
23	Influence of the drying position and time on the persistence of gunshot residues on fabrics	Artículo técnico experimental	Este artículo es un estudio que se basa en la investigación de como la posición de secado, sea horizontal o vertical y el tiempo de secado pueden llegar a afectar la calidad en las muestras de residuos de disparo en telas que fueron humedecidas previamente.	La metodología descrita en el artículo se basó en realizar una serie de disparos a unos 40 cm de la matriz que en este caso fueron las camisetas de algodón que tenían la muestra impregnada.	El primer resultado notable obtenido fue que no se observaron diferencias considerables entre el secado horizontal y el vertical. El segundo obtenido, destaca que la concentración de del analito problema	Como ventaja se concluye que los métodos de secado implementados son los adecuados ya que no se obtuvieron resultados esperados fuera de lo común. Como limitación se podría indicar que las

				<p>Previamente y posterior al secado se realizó la medición mediante fluorescencia infrarroja.</p>	<p>perdió concentración, pero se identifica que se debe al proceso de humedecimiento, mas no el proceso de secado.</p>	<p>matrices son muy reducidas, es decir pocos tipos de materiales y tamaños, por lo que los se podría necesitar experimentos adicionales en condiciones diferentes para concluir de una manera más acertada.</p>
24	<p>The relationship between gunshot-residue particle size and Boltzmann distribution.</p>	<p>Artículo de investigación teórico-practico</p>	<p>El artículo indaga en proponer un modelo teórico para explicar la distribución cuantitativa del tamaño de partícula de residuos de disparo de armas de fuego y la correlación con la distribución de Boltzmann.</p>	<p>La metodología describe el uso de Análisis por microscopio electrónico de barrido / espectroscopía de rayos X del distribuidor de energía (SEM-EDS), para analizar el Tamaño de Partícula de los GSR, con diversas marcas de municiones. Se midieron, analizaron y se procesaron de acuerdo a la distribución de Boltzmann utilizando MATLAB.</p>	<p>El resultado principal es que se confirmó que el número de partículas de GSR disminuye proporcionalmente al cuadrado inverso del tamaño a medida que el tamaño de esta aumenta tal como lo predecía el Moledo propuesto. Así mismo se logra demostrar que los GSR vienen en diversos tamaños y no hay un modelo</p>	<p>Es un método innovador ya que el artículo indica que es la primera investigación realizada sobre tamaño de partícula en GSR y proporciona una base que permitiría identificar características de este fenómeno. Como limitación se podría indicar que la metodología SEM-EDS tiene ciertas falencias en cuanto a</p>

					de figura estándar.	sensibilidad para elementos traza y dificultades para obtener resultados cualitativos por partículas pequeñas.
25	The smallest traces of crime: Trace elements in forensic science	Artículo de revisión	Esta Revisión de artículos busca examinar el papel que cumple los elementos traza en el ámbito forense, brindando una importancia relevante a la evidencia recolectada en las escenas del crimen y como estos pueden ayudar a determinar características fundamentales en la investigación forense	El artículo realiza una revisión de métodos analíticos para la detección y cuantificación de elementos traza en varios campos de la investigación forense. Para la determinación de estos elementos se incluyeron técnicas espectroscópicas y espectrométricas para el análisis de muestras biológicas y cualquier otra matriz	El resultado principal obtenido en el artículo es que estos elementos traza, tienen múltiples aplicaciones en la escena forense, por lo que se puede demostrar fácilmente su importancia y como pueden llegar a dar indicios o resolver casos forenses junto con las metodologías adecuadas.	Su principal ventaja es la capacidad de proporcionar evidencia objetiva y cuantificable en investigación es criminales. Sin embargo, para poder lograr este tipo de resultados se requieren equipos complejos y métodos validados para obtener resultados aceptables.

				disponible en la escena del crimen.		
26	The trace in the technique: Forensic science and the Connoisseur's gaze	Artículo teórico-analítico	Este artículo busca las correlaciones entre el conocimiento del experto en el área forense y el cómo se hace según los "conocedores empíricos del tema". Destacando que ambas disciplinas se basan en una observación consciente, un razonamiento espacial y unas técnicas analíticas previas que sirven como guía para las dudas generadas en los procesos forenses	Es una revisión histórico-comparativa, que utiliza el método de Giovanni Morelli en el siglo XIX como punto de referencia para lo que el profesional y conocedor del área forense realiza en una investigación de este tipo. El tipo de enfoque de este método se basa en ciencias historias, que se caracterizan por ser rigurosos con las "pistas" observables, con el fin de reconstruir eventos pasado que no son	El estudio demuestra que tanto las investigaciones científicas del arte como las investigaciones forenses cumple criterios muy específicos, como la observación, razonamiento inferencial y las técnicas analíticas para responder preguntas relacionadas con origen, actividad e identificación. para finalizar el artículo establece que el forense y el conocedor evalúan todo en un conjunto completo, buscando	Como ventajas se puede observar que el artículo hace una mención especial al conocedor, ya que este puede llegar a un nivel de observación mayor que el forense, ya que este presta atención al detalle mientras el otro se basa en unos procedimientos establecidos. Como limitación se puede decir que estas características son cualidades

				directamente observables.	detalles mínimos que puedan cambiar el rumbo de la investigación.	intrínsecas de las personas, es decir no todos los conocedores o forense tendrán el mismo nivel de atención al detalle.
27	X-ray scattering and chemometrics as tools to assist in the identification of gunshot residues by wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometry	Estudio experimental analítico	Este artículo relata un estudio de la espectrometría de fluorescencia de rayos x por dispersión de longitud de onda (WDXRF), combinada con análisis multivariante (quimiometría) con el fin de poder identificar residuos de disparo por armas de fuego y así mejorar la discriminación entre muestras de tiradores y controles.	Se realizó un hisopado en las manos de las personas que dispararon armas de fuego, así también a las personas que no dispararon, pero tuvieron contacto con el arma. Se analizaron las muestras por WDXRF y por medio análisis de componentes principales (PCA), se realizó la discriminación de las muestras de acuerdo al arma de fuego.	Se logró discriminar con éxito las muestras de acuerdo al tipo de arma de fuego usada y cartucho utilizado gracias a PCA. El método k-NN permitió clasificar correctamente todas las muestras de tiradores y controles, sin detectar comportamiento anómalo en el PCA.	La principal ventaja es que el método empleado es una técnica no destructiva, permitió demostrar una clasificación del 100% correcta de todas las muestras de tiradores y grupos de control. No se encontraron datos anómalos en los análisis, indicando robustez del método. Sin embargo, el artículo no

						detalla limitaciones específicas del estudio, por lo que se podría concluir que siempre y cuando se tengan los métodos quimiométricos se podrán obtener resultados aceptables.
--	--	--	--	--	--	--

**3.1 SEGOS Y LIMITACIONES**

En el análisis forense y en especial el análisis de residuos de disparo por armas de fuego (GSR), se cuenta con una serie de técnicas analíticas, las cuales, de acuerdo a las características físicas y químicas de la muestra, podrán ser utilizadas para lograr el mejor resultado posible y generar hipótesis que ayuden a concluir la investigación correspondiente. En la tabla 2, se describen las técnicas analíticas principales encontradas en la revisión realizada.

**Tabla 2.** Técnicas encontradas en la revisión.

<b>Técnica Analítica</b>	<b>Principio de detección</b>
Microscopía electrónica de barrido acoplada a espectrometría de energía de rayos (X SEM-EDS)	Esta técnica funciona por medio de un haz de electrones, el cual, por medio de una interacción con la muestra, genera un espectro característico de cada elemento, y junto con una base de datos poder determinar química y formológicamente las partículas de GSR. Se caracteriza por que se enfoca en identificación de partículas orgánicas (Pb, Ba, Sb).
Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS)	En esta técnica la muestra es ionizada por un plasma de alta temperatura, separándola en iones de acuerdo con la relación masa-carga en un espectro de masas. Generalmente se utiliza para la determinación de elementos metálicos.
Espectroscopia de ruptura inducida por láser (LIBS)	Por medio de un pulso un láser de alta energía, se genera un plasma en la superficie de la muestra y al obtener la luz emitida por dicho plasma, se logran identificar líneas espectrales características de los elementos presentes. Se caracteriza por ser una análisis rápido y directo a la superficie del GSR.
Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS)	En esta técnica analítica, los compuestos orgánicos son separados por cromatografía de gases, para después ser identificados según un espectro de masas generado al final del proceso. Generalmente es utilizado en GSR que provinentes de la pólvora.

Al culminar la revisión sistemática de los artículos seleccionados sobre GSR, se lograron identificar varias limitaciones y sesgos. En primer lugar, se destaca que ninguna de las técnicas es completa por si sola, es decir no se puede identificar química o morfológicamente una molécula de residuos de disparo con el uso de una sola metodología analítica, por lo que se hace necesario una complementación entre diferentes técnicas para obtener los datos. Igualmente, en el ámbito forense actual se cuenta con un método estándar como SEM-EDS, pero no es posible detectar todos los compuestos que se busquen en una investigación forense con dicho método, por lo que es necesario el uso de otras metodologías analíticas con enfoques específicos a moléculas diferentes y en especial los residuos de disparo, ya que estos al no poder ser analizados en totalidad por una sola metodología, requiere una complementación para lograr su caracterización, lo cual representa un riesgo en la pérdida de información vital para la investigación.

Otro aspecto que se debe tener en cuenta es que los IGSR (residuos inorgánicos de disparos) como los OGSR (residuos orgánicos de disparo) pierden concentración o presencia de manera

exponencial a través de las primeras horas después de realizada la descarga del disparo, lo cual genera una dificultad para asegurar la confiabilidad de la muestra y dicho proceso de recolección.

Como sesgo se podría identificar que algunas de las pruebas y actividades desarrolladas en los artículos de la revisión sistemática, tuvieron lugar en ambientes controlados, por lo que se puede asumir que la contaminación de fondo pre-disparo, es decir la contaminación ya presente antes de realizar una prueba, puede interferir con las pruebas y toma de muestras, lo cual puede generar resultados no confiables y reproducibles.

#### **4. CONCLUSIONES**

La presente revisión sistemática sobre los residuos de disparo generados por armas de fuego (GSR), tanto orgánicos como inorgánicos, ha permitido identificar que el análisis de estos residuos constituye un papel fundamental en la investigación forense moderna, a pesar de que las matrices analizadas pueden contener gran cantidad de diferentes compuestos, existen metodologías instrumentales, herramientas, estudios y avances sobre este campo, que demuestra la complejidad química de estos materiales y la necesidad técnicas analíticas sensibles y versátiles para lograr la caracterización de dichos compuestos.

Actualmente se tiene como estándar metodológico la microscopia electrónica de barrido acoplada a espectrometría de energía de rayos X (SEM-EDS), esta es la técnica instrumental de mayor uso debido a su capacidad única de poder determinar morfología y composición química de manera simultánea de compuestos proveniente de GSR y permite obtener datos esenciales que el perito utilizara para su investigación forense y desarrollar hipótesis ajustadas a cada caso.

Sin embargo, ya que el área forense determinó que SEM-EDS posee algunas limitaciones en cuanto al tiempo de análisis, y junto a la creación de nuevos tipos de municiones a partir de compuestos diferentes (sin plomo y sin metales pesados), ha visto la necesidad de innovar con nuevos métodos complementarios (ICP-MS, LIBS), con el fin de dar respuesta a la necesidad del campo forense. Se puede observar una oportunidad de investigación en el desarrollo de

nuevas técnicas y métodos, los cuales puedan detectar eficientemente municiones modernas libres de plomo o metales pesados, también en la estandarización de estos nuevos métodos, mejorando la complementación de técnicas y la armonización entre laboratorios.

Para concluir, se logró realizar la revisión sistemática propuesta, bajo los criterios planteados inicialmente, brindando un punto de vista actual de cómo se encuentra la investigación y avances en el ámbito forense los últimos 5 años, teniendo como foco principal el desarrollo de nuevas técnicas analíticas combinadas, estandarización de protocolos de muestreo y armonización entre laboratorios, sin dejar a un lado la capacitación continua al personal forense. Todo este conjunto de labores permitirá reducir falsos positivos, mejorar tiempos de entrega y fortalecer la evidencia científica en casos de investigación forense.

## **5. AGRADECIMIENTOS**

Gracias a Dios, por permitirme estar enfocado, activo y lleno de salud para lograr llevar a cabo esta investigación, a mi madre y mi hijo por el apoyo y el entendimiento con el tiempo, a los profesionales del área forense encargados de dictar los módulos del diplomado de química forense y su disponibilidad para compartir sus conocimientos y a la Universidad Santiago de Cali por tener en cuenta esta metodología de investigación para trabajo de grado donde podemos los estudiantes abarcar muchos temas desde tema bibliográfico e investigativo.

## **6. DECLARACION DEL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL**

El autor declara que no ha usado herramientas de inteligencia artificial (IA) en la creación de este artículo

## **7. CONFLICTO DE INTERESES**

El autor declara que no tienen conflicto de intereses

## **8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Bailey, M. J., De Puit, M., & Romolo, F. S. (2022). Surface analysis techniques in forensic science: successes, challenges, and opportunities for operational deployment. *Annual Review of Analytical Chemistry*, 15(1), 173-196. <https://doi.org/10.1146/annurev-anchem-061020-124221>

- Balaram, V., Rahaman, W., & Roy, P. (2022). Recent advances in MC-ICP-MS applications in Earth and environmental sciences: Challenges and solutions. *Geosystems and Geoenvironment*, 1(2), 100019. <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2021.100019>
- Black, O., Smith, S. C., & Roper, C. (2021). Advances and limitations in the determination and assessment of gunshot residue in the environment. *Ecotoxicology and environmental safety*, 208, 111689. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111689>
- Brünjes, R., Schürman, J., von der Kammer, F., & Hofmann, T. (2022). Rapid analysis of gunshot residues with single-particle inductively coupled plasma time-of-flight mass spectrometry. *Forensic science international*, 332, 111202. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111202>
- Chan, W. S., Wong, G. F., Hung, C. W., Wong, Y. N., Fung, K. M., Lee, W. K., ... & Cheung, B. K. K. (2020). Interpol review of toxicology 2016–2019. *Forensic science international: synergy*, 2, 563-607. <https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2020.01.018>
- Charles, S., Geusens, N., Vergalito, E., & Nys, B. (2020). Interpol review of gunshot residue 2016–2019. *Forensic Science International: Synergy*, 2, 416-428. <https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2020.01.011>
- Donghi, M., Girella, A., Profumo, A., Maraschi, F., Milanese, C., & Merli, D. (2024). Effect of Mounting a Sound Suppressor on Distribution and Total Amount of Inorganic Gunshot Residue on Targets. Available at SSRN 4884661. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.70025>
- Donghi, M., Orsenigo, S., Manna, L., Profumo, A., Mattino, A., & Merli, D. (2024). Pervasiveness of inorganic gunshot residue (IGSR) in handguns after cleaning and conditioning procedures. *Journal of forensic sciences*, 69(3), 1035-1044. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.15484> Digital Object Identifier (DOI)
- Fischer, J., Minziere, V. R., Werner, D., Jung, B., & Weyermann, C. (2023). Influence of the drying position and time on the persistence of gunshot residues on fabrics. *Forensic Science International*, 350, 111810. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2023.111810>
- González, R. J., Quispe, C., Santos, L. S., & Nachtigall, F. M. (2022). Detection of organic gunshot residues from human hands using direct sample analysis-time of flight-mass spectrometry. *Journal of Mass Spectrometry*, 57(5), e4824. <https://doi.org/10.1002/jms.4824>

- Kara, Ī. (2022). The relationship between gunshot-residue particle size and Boltzmann distribution. *Forensic sciences research*, 7(1), 47-52. <https://doi.org/10.1080/20961790.2020.1713433>
- Kaur, J., & Sodhi, G. S. (2022). Forensic importance of gunshot residue analysis: A review. *International Journal of Medical Toxicology & Legal Medicine*, 25(1and2), 14-21. <https://doi.org/10.3390/molecules28145550>
- Klapec, D. J., Czarnopys, G., & Pannuto, J. (2023). Interpol review of the analysis and detection of explosives and explosives residues. *Forensic science international: synergy*, 6, 100298. <https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2022.100298>
- Kobylarz, D., Michalska, A., & Jurowski, K. (2023). Field portable X-ray fluorescence (FP-XRF) as powerful, rapid, non-destructive and 'white analytical tool' for forensic sciences-State of the art. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 169, 117355. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117355>
- Kosińska, A., Mrózek, M., Łopyta-Mirocha, M., & Tomsia, M. (2024). The smallest traces of crime: Trace elements in forensic science. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 86, 127527. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2024.127527>
- Krishna, S., & Ahuja, P. (2023). A chronological study of gunshot residue (GSR) detection techniques: a narrative review. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 13(1), 51. <https://doi.org/10.1186/s41935-023-00369-8>
- Madeira, F. B., Saide, V. G., Castro, M. T., Barra, C. M., Rocha, S. F., Almeida, V. G., ... & Rocha Jr, J. G. (2020). X-ray scattering and chemometrics as tools to assist in the identification of gunshot residues by wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 31(12), 2470-2478. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20200122>
- Minziere, V. R., & Weyermann, C. (2024). Organic and inorganic gunshot residues on the hands, forearms, face, and nostrils of shooters 30 min after a discharge. *Science & Justice*, 64(5), 557-571. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2024.08.002>
- Miranda, M. D. (2021). The trace in the technique: forensic science and the connoisseur's gaze. *Forensic Science International: Synergy*, 3, 100203. <https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2021.100203>
- Ritchie, N. W., DeGaetano, D., Edwards, D., Niewoehner, L., Platek, F., & Wyatt, J. M. (2020). Proposed practices for validating the performance of instruments used for automated inorganic

- gunshot residue analysis. *Forensic Chemistry*, 20, 100252.  
<https://doi.org/10.1016/j.forc.2020.100252>
- Santos, F. D. S., da Silva, L. V., Campos, P. V. S., de Medeiros Strunkis, C., Ribeiro, C. M. G., & Salles, M. O. (2022). Recent advances of electrochemical techniques in food, energy, environment, and forensic applications. *ECS Sensors Plus*, 1(1), 013603.  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1149/2754-2726/ac5cdf/pdf>
- Taudte, R. V., Beavis, A., Blanes, L., Cole, N., Doble, P., & Roux, C. (2014). Detection of gunshot residues using mass spectrometry. *BioMed research international*, 2014(1), 965403.  
<https://doi.org/10.1155/2014/965403>
- van den Hurk, R. S., Abdulhussain, N., van Beurden, A. S., Dekker, M. E., Hulsbergen, A., Peters, R. A., ... & van Asten, A. C. (2022). Characterization and comparison of smokeless powders by on-line two-dimensional liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1672, 463072.  
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2022.463072>
- van den Hurk, R. S., Belina, E., Verduin, J., Lazeroms, S., González, P. C., Huls, R. C., ... & Pirok, B. W. (2025). Simultaneous analysis of organic and inorganic explosive traces by online two-dimensional liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 466187.  
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2025.466187>
- Weyermann, C., Minzière, V. R., Tilborg, T., Chana, K., Ménard, H., Nys, B., ... & Charles, S. (2025). (Re-) positioning forensic research & development for increased impact in gunshot residue examination. *Forensic Science International*, 112560.  
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2025.112560>
- Yadav, K., Agarwal, P., & Bardhan, N. B. (2020). Pattern of Firearm Discharge Residue on Cotton Cloth Substrate to Determine the Range of Firing by 7.65 mm Caliber of Country Made and Standard Firearm: An Original Research Study. *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology*, 14(4). <https://doi.org/10.37506/ijfmt.v14i4.11944>
- Yüksel, B., Şen, N., Şeker, M. E., Öğünç, G. İ., & Bulut, S. (2025). Integrating chromophoric and instrumental methods (SEM-EDS and FTIR) for accurate shooting distance estimation: An inter-laboratory study in forensic chemistry. *Current Analytical Chemistry*, 21(9), 1333-1344.  
<https://doi.org/10.2174/0115734110352073241122164830>