



Rev Mex Med Forense, 2024, 9(2):124-133
DOI: <https://doi.org/10.25009/revmedforense.v9i2.3049>
ISSN: 2448-8011

Métodos de determinación de residuos de disparo que pueden aplicarse al sistema criminalístico de la Policía Nacional del Perú
Artículo de Revisión

Methods for determining gunshot residue that can be applied to the criminalistics system of the National Police of Peru

Portilla S., Andy J. ²

Recibido: 9 feb 2024; aceptado: 16 abril 2024; Publicado: 15 jul 2024

1. [Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Perú](#)
Corresponding author: [Andy J Portilla S, \[vadiedna@hotmail.com\]\(mailto:vadiedna@hotmail.com\)](#)

Revista Mexicana de Medicina Forense y Ciencias de la Salud.
Editorial Universidad Veracruzana
Periodo julio-diciembre 2024

RESUMEN

Los residuos de disparo son uno de los indicios más importantes en una investigación forense cuando suceden hechos delictivos por acción de un arma de fuego. En el presente artículo se realizó el estudio de las principales técnicas instrumentales para la determinación de GSR, teniendo en cuenta la precisión, reproducibilidad, sensibilidad y coste que ofrecen. Las técnicas que se analizaron fueron la espectrofotometría de absorción atómica, la microscopía electrónica de barrido y la espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo. Las tres técnicas estudiadas ofrecen buenos resultados en la determinación de GSR; sin embargo, la microscopía electrónica de barrido permite caracterizar residuos de disparo según su morfología (tamaño y forma), discriminando partículas por contaminación y conservando la muestra, lo cual permite un reanálisis y minimiza la obtención de falsos positivos y falsos negativos; mientras que la absorción atómica ofrece una cuantificación específica de cada elemento y el ICP proporciona un análisis de varios elementos a la vez. La elección de aplicación de la técnica dependerá de la Policía Nacional del Perú, según las necesidades y alcances que requiera. Palabras clave: residuos de disparo; espectrofotometría, microscopía, espectrometría.

SUMMARY

Gunshot residue is one of the most important clues in a forensic investigation when criminal acts occur due to the action of a firearm. In this article, the study of the main instrumental techniques for determining GSR was carried out, taking into account the precision, reproducibility, sensitivity and cost they offer. The techniques analyzed were atomic absorption spectrophotometry, scanning electron microscopy and inductively coupled plasma spectrometry. The three techniques studied offer good results in determining GSR; however, scanning electron microscopy allows the characterization of gunshot residues according to their morphology (size and shape), discriminating particles due to contamination, which minimizes the obtaining of false positives and false negatives; while atomic absorption offers a specific quantification of each element and ICP provides an analysis of several elements at once. The choice of application of the technique will depend on the National Police of Peru, according to the needs and scope required. Keywords: gunshot residue; spectrophotometry, microscopy, spectrometry.

INTRODUCCIÓN

Los residuos de disparo por arma de fuego (GSR por sus siglas en inglés) son el producto de diversas reacciones químicas que ocurren de la detonación del fulminante (constituido a base de trisulfuro de antimonio, trinitrosercionato de plomo, nitrato de bario, dióxido de plomo y tetraceno) (Dirección Ejecutiva de Criminalística, 2014) y la deflagración de la pólvora, causando emanación de gases y liberando al proyectil a gran velocidad; éstas reacciones se producen en milésimas de segundo con temperaturas por encima de 1500 °C y presión de hasta 10 Kpa. Debido a la elevada velocidad de reacción, los componentes del cartucho, no logran consumirse totalmente, por tal razón en los GSR se puede encontrar partículas de pólvora parcialmente quemada, restos metálicos procedentes de los componentes del cartucho (proyectil, vaina), de las múltiples reacciones de la pólvora, aditivos y fulminante; estos residuos pueden depositarse superficies del arma y próximas a ella como en algunas partes del tirador: manos, brazos, cara, pelos y prendas de vestir. El alcance de los GSR depende de la proximidad del disparo, tipo y tamaño de arma y munición, medio ambiente, etc. (León Granados & Reséndiz Morán, 2022) y (Solís Casadomé et al., 2019).

En la actualidad existen varios métodos instrumentales para la determinación de residuos de disparo inorgánicos, tales como la espectrofotometría de absorción atómica (AA), el microscopio electrónico de barrido (SEM), espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo (ICP), activación de neutrones, entre otros. Todos los métodos son eficaces para la determinación de GSR, pero cada uno presentan ventajas y desventajas entre ellos (Adriano Villa, 2022).

La Policía Nacional del Perú (PNP), mediante la Dirección de Criminalística (DIRCRI), cuenta con la División de Laboratorio Criminalístico (DIVLACRI), el cual a su vez está dividido por departamentos, uno de ellos es el Laboratorio del Departamento de Ingeniería Forense (DEPINFOR), encargado del análisis de residuos de disparo por arma de fuego en personas vinculadas a hechos delictivos, los cuales son solicitados por diferentes unidades policiales de investigación y el Ministerio Público; asimismo, cuenta con laboratorios criminalísticos de Ingeniería Forense en las ciudades de Piura, Chiclayo, Trujillo, Iquitos, Huancayo y Arequipa (Dirección Ejecutiva de Criminalística, 2014). En todos los laboratorios criminalísticos se utiliza el método de espectrofotometría de absorción atómica.

En la presente investigación se tiene como objetivo desarrollar las técnicas instrumentales dirigidas a la determinación de residuos inorgánicos, teniendo en cuenta factores como sensibilidad, capacidad de conservación de la muestra, disponibilidad, simplicidad, coste, tiempo de preparación y ejecución.

Se evaluará la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (EAA), el microscopio electrónico de barrido (SEM) y la espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo (ICP).

Para todas las técnicas de identificación y cuantificación de GSR en manos de personas sospechosas de haber accionado un arma de fuego, van a existir varios factores que influyan directamente en el resultado, como por ejemplo el tipo de arma utilizada, tipo de proyectil, cantidad de disparos que se realizaron, condiciones ambientales, lugares abiertos o cerrados, actividades previas de las personas, lavado de manos, etc.

ANTECEDENTES

Residuos de disparo por arma de fuego

Al accionar un arma de fuego, se produce deflagración entre los componentes del cartucho, emanando una nube de gases, tanto en el cono anterior como en el cono posterior del arma. Estos residuos se transmiten a las personas y también a objetos cercanos. El tamaño de estas partículas va desde los 0.5 μm hasta 10 μm (Shrivastava et al., 2021). Gran parte de los residuos son expulsados por el cono anterior; sin embargo, una pequeña parte son expelidos por el cono posterior.

La identificación y cuantificación de residuos de disparo pueden orientar en la investigación a indicar si una persona manipuló o accionó un arma de fuego (transferencia primaria); no obstante, los GSR también pueden ser transferidos de una persona a otra por contacto en entre sí o por manipular objetos contaminados con residuos de disparo (transferencia secundaria). (Minzière et al., 2023).



Figura 1: Gases producidos en un disparo por arma de fuego

Las técnicas de análisis de los GSR, han ido evolucionando de forma progresiva gracias a las investigaciones y desarrollo de nuevas tecnologías, existen técnicas colorimétricas, analíticas, instrumentales; las cuales tienen como objetivo la identificación, en algunos casos también la cuantificación, de residuos orgánicos y/o inorgánicos (Cortes Cervantes, 2013).

Para todas las técnicas de identificación y cuantificación de GSR en manos de personas sospechosas de haber accionado un arma de fuego, van a existir varios factores que influyan directamente en el resultado, como por ejemplo el tipo de arma utilizada, tipo de proyectil, cantidad de disparos que se realizaron, condiciones ambientales, lugares abiertos o cerrados, actividades previas de las personas, lavado de manos, etc.

Permanencia de GSR

Se considera como permanencia de GSR al periodo de tiempo que pueden estar presente en manos u otras partes de la persona, desde la ejecución del disparo hasta la toma de muestra. Es uno de los principales problemas a la hora de determinar GSR, dado que los residuos se depositan principalmente en las manos de las personas u otras partes del cuerpo, estos depósitos no son de manera definitiva; es decir, no existe un tiempo de permanencia fijo sino variable, la pérdida de residuos se debe a la actividad física de la persona, más no a la degradación de GSR (Solís Casadomé et al., 2019).

Existen varios estudios sobre la permanencia de GSR, algunos investigadores como (Krishna & Ahuja, 2023) indican que el periodo de permanencia en manos es aproximadamente de 4 horas; mientras (Cortes Cervantes, 2013) considera periodos hasta de 8 horas; luego de este tiempo, los residuos pueden perderse o transferirse dependiendo de actividades como lavarse las manos, frotarlas contra cualquier material, manipulación de objetos, etc. Los factores que afectan la persistencia de GSR incluyen también la contaminación de otras fuentes, cantidad de disparos, tamaño del arma, tamaño y tipo del cartucho, las condiciones ambientales o atmosféricas y las condiciones de la piel.

Espectrofotometría de absorción atómica (EAA) con horno de grafito.

La espectrofotometría de absorción atómica se fundamenta en la absorción de la luz por parte de un elemento en estado atómico, la longitud de onda a la cual la luz es absorbida es específica de cada uno. Mediante la ecuación de Lambert – Beer, se puede medir la atenuación de la intensidad de la luz como resultado de la absorción, siendo la cantidad de radiación absorbida proporcional a la cantidad de átomos del elemento presente (García Arberas, 2018).

Mediante la introducción del horno de grafito a la EAA, ha permitido aumentar la sensibilidad de la técnica permitiendo la detección de elementos como el plomo, antimonio, bario entre otros, presentes en los GSR inorgánicos, se puede obtener concentraciones hasta de partes por billón (ppb) del elemento cuantificado y con resultados obtenidos de aproximadamente un 90% de casos de éxito (Shrivastava et al., 2021).

El análisis de la muestra se realiza mediante el uso de lámparas según el elemento a analizar, es una técnica específica ya que los análisis se realizan elemento por elemento de manera independiente; sin embargo, al usar una lámpara especial para cada elemento, hace que el tiempo de análisis sea un poco prolongado (Solís Casadomé et al., 2019).

Para el análisis de GSR en personas sospechosas de accionar armas de fuego, la muestra es obtenida mediante hisopado impregnado con solución de ácido nítrico al 5%, luego es frotado en las manos de la persona y posteriormente la muestra es sometida a un proceso de concentración y filtración. Finalmente, la solución es analizada en el equipo (Hernández et al., 2018) y (Zárate Suárez, 2023).

Los resultados obtenidos en el análisis, son considerados provenientes de GSR; sin embargo, muchas veces estos elementos provienen de otras fuentes como de las actividades que realizan las personas, contaminación con objetos o sustancias que contienen plomo, antimonio o bario, contaminación ambiental u otras fuentes (Maxil Tirs, 2021); lo que hace que esta técnica pueda presentar en algunos casos, falsos positivos o falsos negativos.

Actualmente, esta técnica es la empleada en los laboratorios criminalísticos de la Policía Nacional del Perú para la determinación de residuos de disparo.

Microscopía electrónica de barrido

La microscopía electrónica de barrido con detector de energía dispersiva (SEM-EDX), es una de las técnicas más versátiles que se utilizan para la identificación de residuos de disparo orgánicos e inorgánicos mediante la observación y caracterización superficial a través de su morfología, tamaño y brillo; además puede identificar la composición química mediante la espectrometría de energía dispersa de rayos X (Krishna & Ahuja, 2023).

El uso de esta técnica proporciona identificar y caracterizar de manera individual los componentes sin destruir la muestra, permitiendo discriminar partículas que provienen de otras fuentes de contaminación y además se puede conservar en el laboratorio como indicio para poder reanalizar en caso sea necesario (Maxil Tirs, 2021).

Para esta técnica, la toma de muestra se realiza mediante el uso de una cinta adhesiva especial sobre las manos (una para cada mano) de las personas sospechosas de realizar disparos, mediante toques sin frotar. Luego la muestra es colocada en el microscopio realizando un barrido de las partículas presentes que luego son analizadas identificando los componentes de GSR como el plomo, antimonio, bario; también permite observar a los componentes orgánicos de GSR (León Granados & Reséndiz Morán, 2022).

Existe un método normalizado para analizar GSR con esta técnica, corresponde a la ASTM E 1588-20 “Standard Practice for Gunshot Residue Analysis by Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray Spectrometry”, donde se establecen parámetros y requisitos técnicos para poder realizar un análisis adecuado y confiable (ASTM E1588-20, 2020).

Como limitaciones del uso de esta técnica es que no permite cuantificar los elementos identificados y tampoco ofrece un mapa de distribución de GSR, requiera de un tiempo prolongado para analizar la muestra, las imágenes son reproducidas en blanco y negro lo cual es necesario contar con personal con experiencia para este análisis, requieren nitrógeno líquido y/o gaseoso, trabaja en condiciones de alto vacío, para residuos orgánicos la muestra requiere un pretratamiento, se necesita un personal calificado para el manejo del equipo. Además del elevado costo del equipo (Yat López, 2016) y (Adriano Villa, 2022).

Espectrometría De Plasma De Acoplamiento Inductivo (ICP-MS)

La determinación de GSR, mediante la técnica de espectrofotometría de plasma con acoplamiento inductivo (ICP), consiste en una técnica que permite cuantificar e identificar elementos químicos presentes en los residuos inorgánicos, con la característica principal que cuantifica hasta 72 elementos de manera simultánea en apenas 2 minutos (Maxil Tirs, 2021).

Es utilizado específicamente para la determinación de GSR como plomo, antimonio y bario; pero también es de gran utilidad en GSR que provienen de municiones cuyos fulminantes pueden contener otros elementos como estroncio, cobalto, cobre, níquel o zinc (Solís Casadomé et al., 2019).

La técnica se fundamenta en la excitación de los electrones de valencia los elementos, utilizando una alta fuente de energía como lo es el plasma ionizado, pasando a un estado altamente inestable por lo que sus electrones tienden a regresar a su estado basal emitiendo la energía que fue absorbida con una longitud de onda característica de cada elemento y una intensidad proporcional a su concentración. La cantidad de energía emitida en directamente proporcional a la concentración del elemento (Cortes Cervantes, 2013).

Al igual que la absorción atómica, esta técnica tampoco identifica y cuantifica los elementos presentes en la muestra, sin especificar si el origen de los elementos (Tabla 1).

Tabla 1: Principales características de las técnicas de determinación de GSR

TÉCNICA	ANALITO	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	LIMITACIONES	ANÁLISIS
1. Espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito	Pb, Sb, Ba	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identifica y cuantifica elementos principales que están presentes en los GSR en cantidades hasta de ppb. 2. Es específico, cuantifica elemento por elemento. 3. Otra ventaja de esta técnica es que da un 90% de resultados positivos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identifica elementos sin indicar la procedencia. 2. Puede obtener falsos positivos o falsos negativos. 3. La muestra se destruye en el análisis. 	Cuantitativo, residuos inorgánicos
2. Microscopía electrónica de barrido	Pb, Sb, Ba y residuos de disparo orgánicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identifica características morfológicas de las partículas orgánicas e inorgánicas, permitiendo discriminar partículas contaminantes. 2. La técnica es no destructiva, permite reanalizar la muestra. 3. Muy bajas índices de falsos positivos y falsos negativos 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las imágenes son reproducidas a blanco y negro. 2. Se requiere nitrógeno líquido o gaseoso. 3. Personal calificado para el análisis y tiempo prolongado para el análisis 	Cualitativo, residuos orgánicos e inorgánicos
3. Espectrometría con acoplamiento de plasma inductivo	Pb, Sb, Ba, Co, Cu, Ni, Zn, entre otros	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identifica y cuantifica hasta 72 elementos de maneras simultánea. Los principales como Pb, Sb y Ba, además de otros como el Sr, Co, Cu, Ni o Zn, presentes en algunos fulminantes. 2. Alta sensibilidad, resultados en ppb. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mayor cantidad de muestra 2. Puede obtener falsos positivos o falsos negativos. 	Cuantitativo, residuos inorgánicos

CONCLUSIÓN

En el presente artículo analiza tres técnicas aplicadas a la determinación de residuos de disparo, teniendo en cuenta principalmente el método de detección, la sensibilidad, la conservación de la muestra y limitaciones; ya que dada la repercusión que puede tener un resultado de análisis de disparo, es necesario que la técnica empleada sea la adecuada, ofreciendo resultados confiables, que eviten obtener falsos positivos o falsos negativos, que se tenga la certeza que los resultados obtenidos sean de procedencia del accionar de un arma, descartando que los residuos provengan de cualquier otra fuente de contaminación que puedan ocasionar errores en el sistema judicial, pudiendo condenar a personas inocentes o liberar culpables.

La técnica de microscopía electrónica de barrido, revela con certeza que las partículas analizadas provienen de los residuos de disparo por arma de fuego, sea porque se accionó el arma o por transferencia directa, discriminando las que se encontraban en el ambiente o de otra fuente de contaminación; además al no destruir la muestra en los análisis, se considera como una mejor alternativa para la determinación de residuos de disparo por arma de fuego; con ello se puede reanalizar la muestra en caso amerite la investigación policial. Como limitaciones, se puede considerar la no cuantificación de los elementos identificados y el tiempo que toma el escaneo de la muestra.

La técnica de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito y la espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo, tienen la capacidad de identificar y cuantificar elementos con una sensibilidad de hasta ppb; además permite analizar varias muestras en un corto tiempo; sin embargo, no son lo suficientemente específicas para determinar si los metales cuantificados son de procedencia de residuos de disparo o de otra fuente, presenta otra limitación importante con la no conservación de la muestra, es decir, la muestra es destruida en el análisis del equipo; sin embargo, ayudan a orientar en la investigación para determinar si una persona estuvo involucrada en hechos con armas de fuego.

El artículo servirá como base para los investigadores criminalísticos de la Policía Nacional del Perú en optar por una adecuada técnica de análisis de residuos de disparo, según crea conveniente y de acuerdo a sus necesidades técnicas y logísticas.

REFERENCIAS

1. Adriano Villa, H. I. (2022). Las técnicas instrumentales en el análisis de indicios de origen inorgánico como parte de una investigación forense. *ISTPN, Revista de Investigación en Seguridad Ciudadana y Orden Público*, 79-85.
2. ASTM E1588-20. (2020). Standard Practice for Gunshot Residue Analysis by Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray Spectrometry. <https://doi.org/10.1520/E1588-17>
3. Cortes Cervantes, J. I. (2013). Aplicación de la espectrofotometría de absorción atómica en el laboratorio de química forense. Universidad Nacional Autónoma de México.
4. Dirección Ejecutiva de Criminalística. (2014). Manual de Criminalística: Vol. I (C. A. Vargas Ortiz, Ed.; 3ra ed.). 2015.
5. García Arberas, I. (2018). Puesta en marcha de un equipo de absorción atómica con cámara de horno de grafito para la determinación de V y Ni en productos derivados del petróleo. Universidad del País Vasco.
6. Hernández, B., Antonio M, Larico-Laura, ;, Iván W, & Resumen, ; (2018). Determinación de Residuos de Disparo por Arma de Fuego mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica Artículo Original Determination of Residues of Firearm detonation by Atomic Absorption Spectrophotometry. *Rev Mex Med Forense*, 3(1), 40-48.
7. Krishna, S., & Ahuja, P. (2023). A chronological study of gunshot residue (GSR) detection techniques: a narrative review. En *Egyptian Journal of Forensic Sciences* (Vol. 13, Número 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1186/s41935-023-00369-8>
8. León Granados, A. L., & Reséndiz Morán, L. D. (2022). ANÁLISIS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE AGENTES VULNERANTES, ESPECÍFICO POR ARMAS DE FUEGO.
9. Maxil Tirs, R. (2021). Validación del método para búsqueda de residuos de disparo de arma de fuego (GSR) por SEM/EDS. *Visión Criminológica - Criminalística*, 37-43.
10. Minzière, V. R., Gassner, A., Gallidabino, M., Roux, C., & Weyermann, C. (2023). The relevance of gunshot residues in forensic science. *WIREs Forensic Science*, 5(1), 1-26. <https://doi.org/10.1002/wfs2.1472>

11. Shrivastava, P., Jain, V. K., & Nagpal, S. (2021b). Gunshot residue detection technologies—a review. En *Egyptian Journal of Forensic Sciences* (Vol. 11, Número 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1186/s41935-021-00223-9>
12. Solís Casadomé, P., Gómez López, L. M., Etxebarria Gabilondo, F., Galtés Vicente, I., Nogal Ruiz, M., Péres Cao, A. M., Sanchez de León Robles, M., Diaz Domingo, F. J., Sanabria Medina, C., Bernal Gonzales, E. H., & Salgado Castellano, L. C. (2019b). ARMAS DE FUEGO Y CIENCIAS FORENSES. www.agmf.es
13. Yat López, G. A. (2016). Establecer el procedimiento para la detección de residuos de disparos por arma de fuego en el sujeto activo en la escena del crimen. Universidad Rafael Landívar.
14. Zárate Suárez, C. (2023). Dos técnicas de muestreo y recuperación de metales en restos de disparo recolectado de personas en entrenamiento.



**Revista Mexicana de Medicina Forense
y Ciencias de la Salud**