

FALSOS POSITIVOS Y FALSOS NEGATIVOS DE LAS TÉCNICAS COLORIMÉTRICAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS PROVENIENTES DE ARMAS DE FUEGO

● Rafael Uriel González Lozano*
Erika Jazmín Rebollar López**
María Fernanda Pérez Cabrera***

* Fiscalía General del Estado de Morelos, contacto: rugl@uaem.mx

** Hospital de Alta Especialidad Centenario de la Revolución
Mexicana ISSSTE

*** Hospital de Alta Especialidad Centenario de la Revolución
Mexicana ISSSTE

PALABRAS CLAVE

KEYWORDS

● **Armas de fuego**

Firearm

● **Fulminante**

Primer

● **Pólvora**

Gunpowder

● **Residuos de disparo**

Gunshot residue

● **Técnicas colorimétricas**

Colorimetric techniques

- Fecha de recepción: 8 de febrero de 2023
- Fecha de aceptación: 28 de marzo de 2023
- DOI: 10.57042/rmcp.v6i20.635

Resumen: El presente artículo aborda las técnicas más comunes utilizadas para analizar los residuos de disparo presentes en áreas específicas señaladas en la escena del crimen. La prueba de Walker o Griess, Harrison Gilroy, rodizonato de sodio y Lunge son técnicas sencillas y de bajo costo, caracterizadas por desarrollar un cambio de color cuando se presumen positivas ante ciertos componentes. Sin embargo, diversos aspectos modifican la exactitud de sus resultados. La aplicación de las técnicas dependerá de las necesidades y alcances del organismo que las desempeñe.

Abstract: This article tackles the most common techniques used to analyze gunshot residue present in specific areas identified at crime scenes. The Walker or Griess, Harrison Gilroy, sodium rhodizonate and Lunge tests are simple and low cost techniques characterized by developing a color change when they are presumed positive for certain components. The application of the techniques will depend on the needs and scope of the organization that performs them.

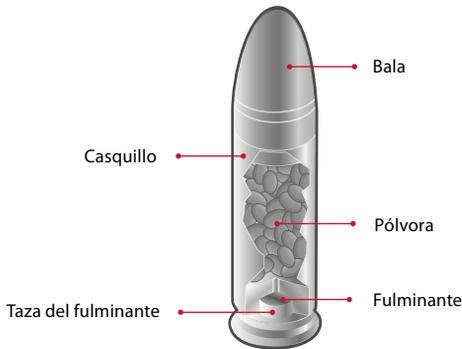
SUMARIO:

I. Análisis de residuos de disparo por arma de fuego. II. Técnicas de desarrollo de color para análisis de GSR. III. Prueba de Griess o prueba de Walker. IV. Técnica de Lunge. V. Rodizonato de sodio. VI. Prueba de Harrison Gilroy. VII. Conclusiones. VIII. Fuentes de consulta.

I. ANÁLISIS DE RESIDUOS DE DISPARO POR ARMA DE FUEGO

Los incidentes con arma de fuego deben centrarse en la rápida recolección de pruebas balísticas, como cartuchos (Figura 1), balas o el arma misma (Bueno, 2013). Sin embargo, esto no siempre es posible y se debe recurrir a técnicas criminalísticas capaces de recuperar evidencia después del tiroteo.

Figura 1. Diagrama de las partes del cartucho metálico



Fuente: Basic Components of Ammunition. (s. f.)

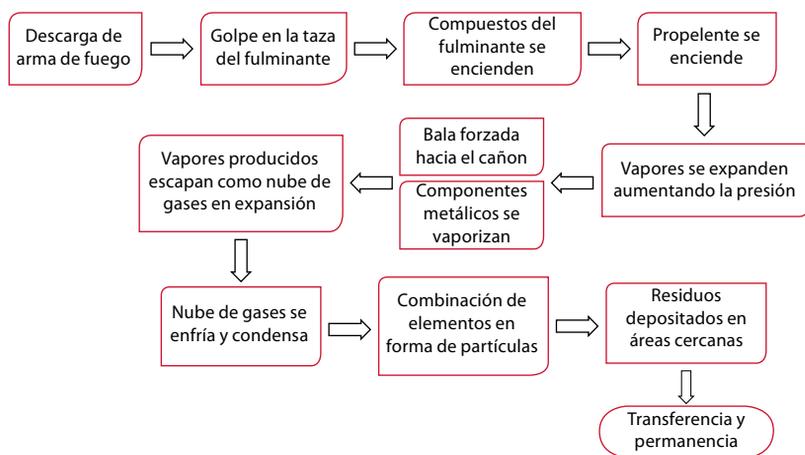
Para visualizar el color original de los esquemas, consultar la versión electrónica en la página de la revista: <https://revistaciencias.inacipe.gob.mx/>

Al detonarse un arma de fuego, se produce una serie de reacciones físico-químicas dando como resultado una nube de vapor conformada mayormente de partículas con tamaños que van desde los $5\mu\text{m}$ hasta los $100\mu\text{m}$ (Shrivastava *et al.*, 2021), provenientes especialmente del fulminante y la pólvora, formando los residuos de disparo (*gunshot residue-GSR*) (Figura 2). En este proceso, donde la temperatura alcanza $1500-2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ en aproximadamente 0.2 segundos (Bueno, 2013), los químicos iniciadores comienzan su reacción cuando el percutor, accionado por el gatillo, golpea la base

que contiene al fulminante, alimentándose la reacción con el oxígeno proveniente del propulsor. Los componentes del proyectil se consumen parcialmente y, junto con el casquillo, se expulsan residuos provenientes de la deflagración de la pólvora, partículas de pólvora parcialmente quemada, restos metálicos procedentes de la munición fulminante y del interior del ánima (interior del cañón del arma).

Estas partículas esféricas, conformadas, entre otros, por óxido de plomo (PbO), óxido de antimonio (Sb_2O_3) u óxido de bario (BaO) (Bueno, 2013), son expulsadas en forma de nube, se solidifican y se transforman en partículas de diferentes tamaños, capaces de depositarse en las extremidades superiores, cabello y ropa del disparador, así como en el blanco y superficies próximas a la descarga del arma (Pérez, 2019).

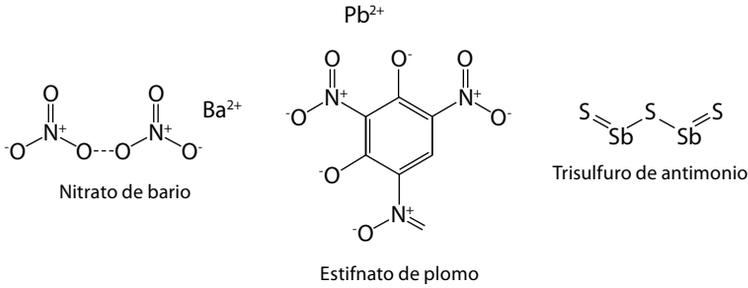
Figura 2. Secuencia de eventos involucrados en la formación de GSR



Fuente: French., 2013.

Actualmente, el fulminante (Figura 3) contiene tres componentes principales: el iniciador o explosivo primario (por ejemplo: estífnato de plomo, $\text{C}_6\text{HN}_3\text{O}_8\text{Pb}$); el oxidante (por ejemplo: nitrato de bario, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$); y el combustible (por ejemplo: trisulfuro de antimonio, Sb_2S_3). Cuando se jala del gatillo, el percutor golpea la taza del fulminante, lo que enciende al iniciador. El $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ comienza a ceder rápidamente su oxígeno y la temperatura de la reacción química aumenta, lo que da como resultado que el Sb_2S_3 se encienda. Posteriormente, se deflagra la pólvora, aumentando la presión dentro del cañón hasta 104 KPa (Martínez, 2012) y como resultado se impulsa la bala por el cañón del arma (Vander, C., 2019).

Figura 3. Componentes del fulminante



Fuente: Vander, C., 2019

Los GSR se clasifican en dos grupos (Vander, 2019): compuestos inorgánicos de residuos de disparo (*inorganic gunshot residue-IGSR*), provenientes principalmente del fulminante y el proyectil; y los productos orgánicos de residuos de disparo (*organic gunshot residue-OGSR*), originados por diferentes residuos (Tabla 1).

Tabla 1. Partículas inorgánicas y orgánicas más conocidas presentes en los residuos de disparos encontrados en la escena del crimen

Componentes inorgánicos	Fuente del componente	Componentes orgánicos	Fuente del componente
Plomo	Bala, fulminante	Nitroglicerina	Fulminante, propulsor
Bario	Fulminante	Nitrocelulosa	Propulsor
Antimonio	Fulminante	Nitroguanidina	Plastificantes, propulsor
Nitratos	Óxidos inorgánicos, propulsor	2, 4-dnt	Propulsor
Nitritos	Propulsor	Nitrobenzeno	Explosivo
Nitrato de sodio	Fulminante	Difenilamina (DPA)	Propulsor
Mercurio	Fulminante, explosivo	Centralita de etilo (EC)	Propulsor
Fulminato de mercurio	Explosivo		
Magnesio, aluminio	Fulminante		

Fuente: Shrivastava *et al.*, 2021; Bianchelli, 2015.

Los *IGSR* corresponden mayormente a metales como el plomo (Pb), bario (Ba) y antimonio (Sb), los cuales poseen una morfología peculiar y se clasifican en tres grupos (Martínez, 2012: 25): i) esferoides regulares no cristalinas, las cuales presentan un tamaño entre 0.5 μm y 5 μm , conformadas por los metales en una proporción uniforme y representan el 68% de los *GSR* en las extremidades del tirador; ii) gotas irregulares, constituidas por la fusión de moléculas con tamaños discontinuos y representan el 25% de los residuos; y iii) elementos con núcleo homogéneo de bario y antimonio, con una capa de plomo, poco frecuentes en *GSR*. La formación de estos residuos es probablemente debido al proceso de solidificación de Ba y Sb, en el cual los vapores de Pb quedan atrapados al pasar por el ánima.

II. TÉCNICAS DE DESARROLLO DE COLOR PARA ANÁLISIS DE *GSR*

Existen distintas técnicas de desarrollo de color e instrumentales enfocadas en la detección de *GSR*, cada una con un propósito y metodología diferentes. Estas técnicas comenzaron a principios del siglo XX, las cuales se basan en detectar la presencia de metales como el plomo, bario y antimonio, así como compuestos nitrados: residuos expulsados del arma en forma de nube de gases, esto a través de una coloración. Son técnicas cualitativas, ya que se limitan a determinar la presencia de elementos y no su cantidad (Moreno, s.f.). Dichos métodos son de naturaleza presuntiva y su principal objetivo es estimar la distancia a la que se realizó el disparo. Sin embargo, es común utilizarlas para confirmar rápidamente la presencia de *GSR*.

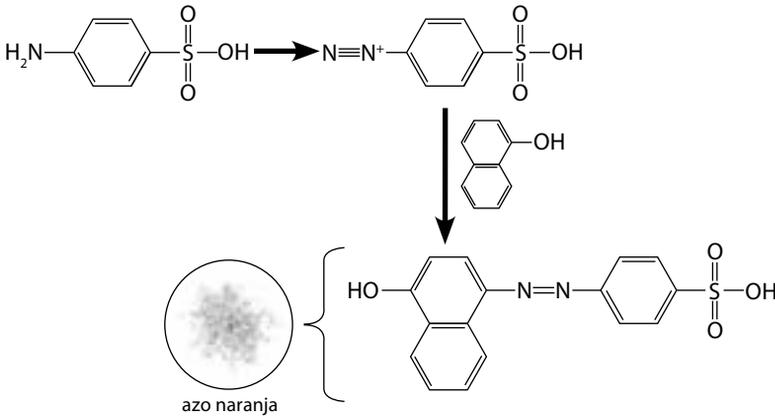
Entre las técnicas más utilizadas actualmente en la procuración de justicia en las fiscalías generales de los estados que conforman la república mexicana, se encuentran la técnica Walker o Griess y la técnica de Lunge, que buscan la presencia de nitritos. Por otro lado, se encuentran la técnica de rodizonato de sodio y la prueba de Harrison Gilroy, popularmente conocidas por detectar metales pesados.

III. PRUEBA DE GRIESS O PRUEBA DE WALKER

Esta prueba tiene como objetivo identificar los nitritos presentes en la ropa cercana a lo que se presume como orificio de bala, con el propósito de

cuantificar la distancia a la que se realizó el disparo, siendo, en términos generales positiva si el disparo fue próximo, es decir, se realizó a menos de un metro de distancia; por el contrario, la prueba saldrá presuntamente negativa si la distancia fue mayor a un metro. Los nitritos son subproductos de la combustión de la pólvora generada a partir de una detonación de arma de fuego (Natarén y Ramírez, 2019). El color característico se produce cuando los nitritos entran en contacto con el ácido acético y son expuestos al calor, formando el ácido nitroso, el cual interactúa con ácido sulfanílico. Finalmente, este compuesto se acopla con el α -naftilamina produciendo el colorante azo naranja (Vander, 2019) (Figura 4).

Figura 4. Reacción química de la prueba de Griess o Walker para detección de GSR

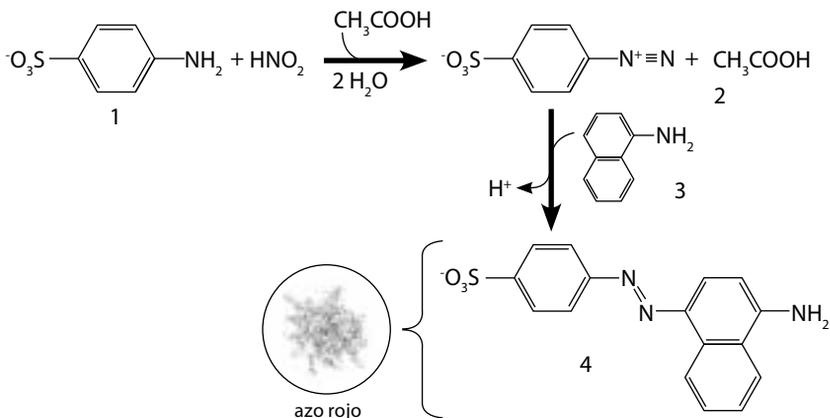


Fuente: Vander, 2019.

IV. TÉCNICA DE LUNGE

El principio de acción de la técnica de Lunge se fundamenta en que los nitritos en presencia de un ácido débil y ácido sulfanílico producen una sal diazonio que se une con α -naftilamina, dando como resultado un colorante azo rojo (Sellier, 1991). La técnica colorimétrica consiste en detectar la presencia de compuestos nitrados en el interior del arma de fuego, esto para confirmar o descartar que el dispositivo se hubiese disparado, dando como resultado el rojo característico de la solución (Lunge reagent, 2006) (Figura 5).

Figura 5. Esquema de la reacción del reactivo de Lunge con nitrito

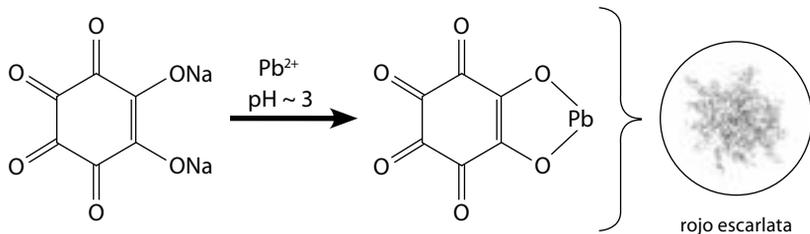


Fuente: Lunge reagent, 2006

V. RODIZONATO DE SODIO

En esta prueba, el compuesto de rodizonato de sodio (RdNa) presente reacciona con los iones divalentes metálicos, lo que produce complejos de color rojo escarlata (Shrivastava *et al.*, 2021). El ensayo colorimétrico de RdNa es conocido por ser una prueba específica para plomo y bario, pero no para *CSR* (Dalby, 2011; Moreno, s.f.) (Figura 6).

Figura 6. Reacción química de la prueba de rodizonato de sodio para detección de plomo

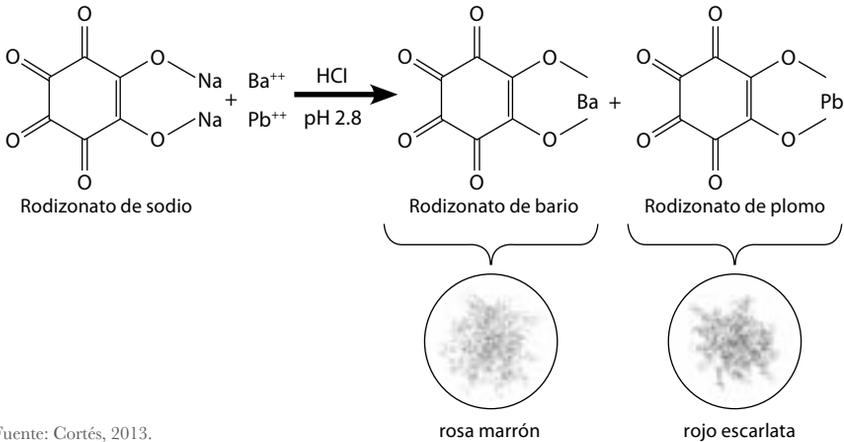


Fuente: Vander, 2019

VI. PRUEBA DE HARRISON GILROY

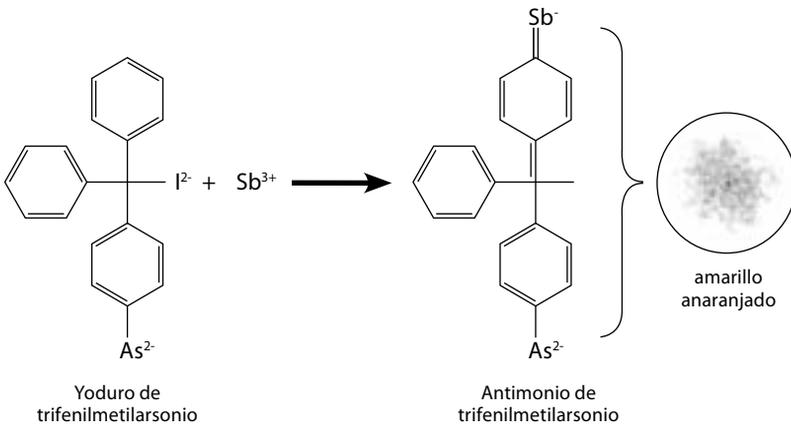
Esta técnica de desarrollo de color se centra en la detección de metales pesados como el plomo, bario y antimonio (Dalby, 2011). Los residuos de antimonio se detectan bajo esta técnica con el uso de yoduro de trifenilmetil arsonio; en cuanto al bario, este se descubre gracias al uso de rodizonato de sodio como reactivo; por último, el ácido clorhídrico se emplea para detectar el plomo, dando como resultado positivo un color rojo escarlata, para plomo; un color rosa marrón, para plomo y bario; y una tonalidad amarillo anaranjado, para plomo antimonio. Si no se ve ninguna de estas coloraciones, la prueba es negativa (Natarén y Ramírez, 2019) (Figura 7 y 8).

Figura 7. Reacción de la técnica Harrison Gilroy para detectar bario y plomo



Fuente: Cortés, 2013.

Figura 8. Reacción de la técnica Harrison para detectar antimonio



Fuente: Cortés, 2013.

Ninguna técnica es superior o inferior para un caso legal en el análisis de GSR, puesto que es necesario tener en cuenta, al momento de realizar un análisis de GSR, los falsos positivos y falsos negativos que podremos encontrar. Se considera un resultado falso positivo cuando la prueba es positiva en una muestra que no tiene la muestra problema a analizar. Un resultado falso negativo se define como aquel en que la prueba es negativa cuando la muestra si tiene la muestra problema a analizar. En la tabla 2 se presentan los falsos positivos y falsos negativos más comunes para cada técnica mencionada.

Tabla 2. Técnicas de desarrollo de color y sus falsos positivos y falsos negativos más comunes

Técnica	Falsos positivos	Falsos negativos
Walker	<ul style="list-style-type: none"> • Manipulación y/o contacto con fertilizantes, orina e incluso maquillaje. • Transferencia de residuos por forcejeo con el atacante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si la detonación se realizó en un área abierta, los GSR se dispersan con mayor facilidad, dificultando o imposibilitando su recolección. • Presencia de aire, así como su dirección e intensidad. • Distancia al blanco. • Tiempo transcurrido desde las detonaciones hasta el muestreo, después de 6 h los GSR disminuyen. • Frotamiento de las prendas con objetos. • Las armas con buen ajuste no desprenden suficiente GSR, especialmente con un disparo.

Técnica	Falsos positivos	Falsos negativos
Rodizonato de sodio	<ul style="list-style-type: none"> • Falso positivo a plomo obtenido cuando la persona desempeña labor como hojalatero, plomero, mecánico, entre otros. • El bario es componente de raticidas y fuegos artificiales. • Transferencia de residuos por forcejeo con el atacante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño limitado de la muestra analizada. • Número de detonaciones; a menor cantidad de las mismas, menor probabilidad de encontrar residuos y viceversa. • Tiempo transcurrido desde las detonaciones hasta el muestreo, después de 6 h los <i>CSR</i> disminuyen. • Lavado de manos. • Composición y cantidad de la pólvora. • Las armas con buen ajuste no desprenden suficiente pólvora, especialmente con un disparo.
Harrison Gilroy	<ul style="list-style-type: none"> • Manipulación de pinturas, explosivos por personas con oficios como hojalatero, plomero, mecánico, entre otros, debido al contacto con metales. • Transferencia de residuos por forcejeo con el atacante. 	<ul style="list-style-type: none"> • La muestra analizada requiere la presencia de especímenes de cada metal. • Tiempo transcurrido desde las detonaciones hasta el muestreo, después de 6 h los <i>CSR</i> disminuyen. • Las armas con buen ajuste no desprenden suficiente pólvora, especialmente con un disparo.
Lunge	<ul style="list-style-type: none"> • Si el arma no es limpiada con frecuencia o de manera correcta, existirán <i>CSR</i>, aunque el arma no se disparará recientemente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de cenizas de cigarro. • Composición y cantidad de la pólvora impregnada en el área de interés.

Fuente: elaboración propia con datos de Shrivastava *et al.*, 2021; Machaca, 2018; Natarén y Ramírez, 2019; Sellier, 1991.

VII. CONCLUSIONES

Las pruebas de desarrollo de color son técnicas cuya aplicación es simple, rápida y representa un bajo costo, debido a que no requieren equipos sofisticados y los reactivos, por lo general, son accesibles y la capacitación de personal es sencilla.

Las técnicas colorimétricas de Walker, Rodizonato de sodio, Lunge, Harrison Gilroy son las más usuales en las fiscalías generales de la República mexicana, cada una presenta factores de interferencia y dependerá del técnico especialista qué técnica aplicar según el problema planteado, sin ser una técnica superior o inferior. En este sentido, la aplicación de una técnica sobre otra dependerá del asunto a resolver y condiciones de la muestra a analizar.

La combinación de procesos colorimétricos es una estrategia útil para el tratamiento de alguna muestra, siempre y cuando se tenga muestra suficiente para análisis y el soporte donde se encubren los analitos permita la múltiple manipulación.

Todas las metodologías de desarrollo de color presentan falsos positivos y falsos negativos, dependerá de múltiples factores (tiempo, correcta toma de muestra, número de detonaciones, calibre de arma, etcétera), cuál técnica deberá utilizarse y cuál técnica tendrá un mayor o menor valor en un caso legal. Por consiguiente, es de suma importancia la aplicación de técnicas cuantitativas y no solo cualitativas en un futuro próximo.

Debido al desarrollo de nuevas tecnologías en la fabricación y composición de los cartuchos, donde los componentes nitrados o metálicos son sustituidos por otros, las técnicas colorimétricas se vuelven arcaicas, presentando así resultados tergiversados. Lo anterior deriva en una menor frecuencia de aplicación de técnicas de desarrollo de color y la inminente necesidad de la búsqueda de métodos más precisos, exactos y cuantitativos.

VIII. FUENTES DE CONSULTA

Basic Components of Ammunition. (s.f.) *National handgun safety course*. https://www.handgunsafetycourse.com/handgun/studyGuide/Basic-Components-of-Ammunition/601099_700077856/

Bianchelli, M. (2015). *Development of new method and research of organic gunshot residues (OGSR) in hypothetical case scene by UHPLC-MS-Orbitrap*,

- Portugal. [Tesis de maestría, Universidade de Lisboa]. Repositorio institucional de la Universidade de Lisboa. <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1970719973966169/Thesis%20Matia%20Bianchelli.pdf>
- Bueno, J. (2013). *Vibrational spectroscopic analysis of gunshot residue: a novel approach for detection and characterization*. [Tesis de doctorado] University of New York.
- Dalby, O. (2011). *The analysis of organic ballistic materials, Reino Unido*. [Tesis doctoral, Nottingham Trent University]. Repositorio institucional de Nottingham Trent University. http://irep.ntu.ac.uk/id/eprint/326/1/211491_Oliver%20Dalby%20Thesis.pdf
- French, J. (2013). *Transfers of gunshot residue (GSR) to hands: an experimental study of mechanisms of transfer and deposition carried out using SEM-EDX, with explorations of the implications for forensic protocol and the application of Bayesian Networks to interpretation*. [Tesis doctoral University College London]. Repositorio institucional de la University College London. https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1417086/1/French_James_Thesis_Full.pdf.%20REDACTED.pdf
- Lunge reagent (2006). *Lunge reagent*. https://second.wiki/wiki/lunges_reagenz
- Machaca, E. (2018). *Valor probatorio del examen pericial por espectrofotometría de absorción atómica, en los juzgados penales del cercado de Arequipa 2016-2017, Perú*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6891>
- Martínez, J. (2012). *Análisis de residuos de disparo por cromatografía de gases con detector selectivo de masas y por cromatografía electrocinética micelar con detector ultravioleta, Colombia*. [Tesis de maestría, Universidad del Valle]. Repositorio Institucional de la Universidad del Valle. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/4264>
- Moreno, R. (2019). “Breve examen crítico de las técnicas aplicadas para determinar la autoría de disparos de arma de fuego. De la presunción a la certeza”. En González, P. y Witker, J. (Eds.), *Desafíos del sistema penal acusatorio* (423-429). México: UNAM. <https://www.juridicas.unam.mx/>
- Natarén, C. y Ramírez, B. (2019). “La investigación en el nuevo sistema de justicia acusatorio y oral. Elementos en el caso de delitos cometidos con arma de fuego”. En González, P. y Witker, J. (Eds.), *Desafíos del sistema penal acusatorio* (75-104). México: UNAM. <https://www.juridicas.unam.mx/>

- Pérez, M. (2019). *Técnicas de análisis de los residuos de disparo*. En Asociación Galega de Médicos Forenses (Eds.), *Armas de fuego y ciencias forenses* (119-142). Xunta de Galicia <https://aeaof.com/media/document/CIENCIAS%20FORENSES%20Y%20ARMAS%20DE%20FUEGO.pdf>
- Sellier, K. (1991). *Shot Range Determination*. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-76721-0>
- Shrivastava, P., Jain, V. y Nagpal, S. (2021). “Gunshot residue detection technologies-a review”. *Egyptian Journal of Forensic Sciences* 11(11). <https://doi.org/10.1186/s41935-021-00223-9>
- Vander, C. (2019). *Chemical analysis of firearm discharge residues using laser induced breakdown spectroscopy*, Estados Unidos. [Tesis de licenciatura, West Virginia University]. Repositorio Institucional de la Universidad West Virginia. https://researchrepository.wvu.edu/etd/4058?utm_source=researchrepository.wvu.edu%2Fetd%2F4058&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages