

# 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

Bautista-Hernández, Antonio M<sup>1</sup>; Larico-Laura, Iván W<sup>2</sup>;

### RESUMEN

**Introducción.** La determinación de la presencia de residuos de disparo de un arma de fuego es un elemento esencial en la práctica criminalística; existen diversas técnicas para su determinación; la espectrofotometría de absorción atómica se ha venido implementando en el mundo en años recientes.

**Material y Métodos:** Se realizaron percusiones con un arma 9 mm al contacto, a 5 y a 10 cm de un recuperador balístico para registrar concentraciones de bario, plomo y antimonio en la mano, el cubremanda y la tela del orificio de disparo por medio de espectroscopía de absorción atómica.

**Resultados:** Las concentraciones de los tres elementos fueron positivas para disparo por arma de fuego en ambas manos, en la manga izquierda (donde se realizó el disparo) y en el primer halo del orificio del disparo; es compatible con lo reportado en la literatura mundial.

**Conclusión:** La espectroscopía de absorción atómica es una técnica sensible y específica para la determinación de residuos de disparo por arma de fuego; se requiere capacitación para el adecuado manejo de los recursos necesarios para su realización.

**Palabras Clave:** Disparo por arma de fuego, espectrofotometría, residuos de disparo.

---

Recibido: 10 Octubre 2017; Aceptado: 26 Octubre 2017; Publicado: 15 Enero 2018.

<sup>1</sup> Químico Clínico, Máster en Medicina Forense

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Forenses, La Paz, Bolivia.

Corresponding author: Miguel A Bautista Hernández, revmforense@uv.mx

## SUMMARY

**Introduction.** The determination of the presence of firing waste from a firearm is an essential element in criminal practice; There are various techniques for its determination; Atomic absorption spectrophotometry has been implemented in the world in recent years.

**Methods:** Percussions were performed with a 9 mm gun at contact, at 5 and 10 cm from a ballistic recovery device to register concentrations of barium, lead and antimony in the hand, the mantle and the fabric of the

firing orifice by means of spectroscopy. of atomic absorption.

**Results:** The concentrations of the three elements were positive for firearm shooting in both hands, in the left sleeve (where the shot was taken) and in the first halo of the shot hole; It is compatible with what is reported in the world literature.

**Conclusion:** Atomic absorption spectroscopy is a sensitive and specific technique for the determination of gunfire waste; Training is required for the adequate management of the necessary resources for its realization.

**Key Words:** Shot by firearm, spectrophotometry, firing waste.

---

## INTRODUCCIÓN

En todos aquellos casos en los que intervienen armas de fuego es necesario conocer quién ha disparado el arma, y que tipo de arma se ha disparado, bien para corroborar una hipótesis de suicidio, o bien para confirmar la implicación de un sospechoso en los hechos. En todos ellos la inspección ocular y la recogida de muestras son de vital importancia para obtener unos resultados fiables (Zunino, 2006). Vincular a una persona sospechosa a un crimen y recolectar la evidencia forense para probarlo son dos problemas frecuentes y serios con los que se enfrentan los investigadores de todo el mundo. Con la metodología adecuada, esta tarea puede ser más sencilla de lograr (Sotelo, 2000).

Cuando se produce un disparo se suceden una serie de reacciones físico-químicas que determinan la producción de residuos de la pólvora (nitritos y nitratos), restos de plomo, de cobre, del detonador o de la carga iniciadora, como bario y antimonio, que se denominan

genéricamente residuos de disparo. Estas partículas quedan depositadas sobre las manos de la persona que acciona el arma, en las prendas y en el arma de fuego, y su presencia, por tanto, es indicativa de que se ha producido la descarga de la misma. Los residuos de disparo están bien caracterizados, y básicamente consisten en una combinación de plomo, antimonio, bario, y otros elementos (Di Maio, 2007).

Las principales fuentes donde se encuentran los residuos orgánicos son el proyectil (plomo y antimonio), el fulminante (estifnato de plomo, nitrato de bario y sulfuro de antimonio). La acción de dichas sustancias químicas impulsa el proyectil fuera del arma de fuego y así dirigirse al objetivo, permitiendo que se escapen vapores y finas partículas de pólvora que se depositan en áreas que se encuentran alrededor, incluyendo manos, rostro y prendas de vestir de la persona que dispara (Rodríguez, 2015).

El análisis de residuos sirve como indicio orientativo para evaluar si una

persona ha efectuado un disparo. Al ejecutar un arma de fuego se producen gases en la combustión que extienden granos de pólvora en distinto tamaño y forma, y que se alojan en las superficies que se encuentran alrededor del disparo. Como consecuencia, es común en la práctica criminalística que se soliciten pruebas específicas para la determinación de la presencia de residuos de disparo en un arma, en la mano de un sospechoso, en el cuerpo de la víctima y en prendas de vestir (Barrio, 2012). Aunque existen diversas pruebas para ello, nos encontramos con la posibilidad de que se presenten falsos positivos, ya sea en casos en los que un individuo utilice armas de fuego por motivos laborales, como producto de manipulación previa de un arma distinta a la usada en el hecho delictivo, la transferencia de residuos por forcejeos con la persona que disparó el arma y la proximidad al sitio donde se disparó el arma. Por el contrario, pueden darse falsos negativos en situaciones como la aplicación incorrecta de la prueba, el lavado de manos posterior al disparo, el frote de las manos con alguna prenda, un tiempo mayor a 6 horas posterior al disparo o la ausencia de desprendimiento de pólvora en armas mal ajustadas. Por eso es conveniente que la prueba utilizada tenga una alta especificidad y sensibilidad (Inestroza, 2006).

Para poder llevar a cabo la investigación de residuos de disparo, es necesario tomar muestras de las manos y prendas del sospechoso de haber sido el autor del mismo, ya que ha indicado, la mano que dispara un arma de fuego retiene residuos de dicho disparo. Las zonas de las que pueden recolectarse residuos son muy variadas. La piel, los vehículos (asientos y respaldos de los asientos, puertas, ventanas, tablero, techo o capota, interiores, y exteriores), el entorno de un

incidente, puertas, ventanas, partes del cuerpo, la ropa, y las superficies en las inmediaciones de una descarga de arma de fuego, pueden todos ser objetivos de la toma de muestra. Existen numerosas técnicas que pueden ser utilizadas para la recolección de muestras de residuos y seleccionar la más adecuada es importante para asegurar la eficiencia de captura máxima. Puede realizarse por moldeado con parafina o celulosa, por frotamiento, levantamiento con cinta adhesiva, levantamiento por vacío, lavado, levantamiento con pegamento y técnicas para recolección en sitios específicos, como orificios nasales o pelo (Pérez-Cao, 2001).

Para el análisis de los residuos se han utilizado diversas técnicas con el paso del tiempo, como por ejemplo la prueba de activación de neutrones, la prueba de Harrison-Gilroy, la técnica del rodizonato de sodio, la prueba de la parafina o guantelete, la prueba de Walker y la prueba de Lunge (Wolten, 1979). Recientemente se ha venido utilizando la prueba de espectrofotometría de absorción atómica.

La espectrofotometría de absorción atómica es una técnica analítica para la determinación de elementos basada en la absorción de energía radiante por átomos libres en su estado basal (Soria, 2012). La cantidad de energía es medible y es proporcional a la concentración de átomos que la absorben (ASTM, 1995). Esta técnica se ha usado con el fin de identificar Plomo, Bario y Antimonio en las zonas más frecuentes de manipulación producidas durante el uso de un arma de fuego. Esta técnica está basada en la absorción a diferentes longitudes de onda, las cuales son características para estos elementos en sus diferentes estados atómicos (Jiménez, 2013). Es un método

fácil y su sensibilidad está muy cercana e incluso es comparable con la de activación de neutrones, que ha sido el estándar de oro hasta hace poco (ASTM, 2001; Rocha, 2000).

La espectrofotometría de absorción atómica ha desplazado casi completamente a la fotometría de flama, debido a que esta última es más susceptible de interferencias y la sensibilidad en ambos métodos es similar (Cano, 2010). La principal aplicación de la fotometría de flama es la detección de sodio y potasio. Por EAA es posible determinar más de 70 elementos (De Oliveira, 2005). Otro uso del espectrofotómetro de absorción atómica en la química legal es para la determinación de concentraciones de Plomo en explosivos, el posible contenido de Plomo en dulces y cosméticos, también se utiliza para la detección de metales en fertilizantes y fungicidas (Lorenzo, 2010). Se ha determinado Oro y Molibdeno en la sangre por exposición de los trabajadores de minas, concentración de Plomo, cadmio, manganeso, arsénico, mercurio en muestras ambientales, agua de empresas, albercas y aguas potables (Jean Vertus, 2007).

El objetivo del presente estudio consiste en valorar y estandarizar la técnica de espectrofotometría de absorción atómica en un contexto forense latinoamericano, específicamente en el Instituto de Investigaciones Forenses en La Paz, Bolivia.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

De manera inicial, se realizó la percusión de una pistola que dispara proyectiles con calibre de 9 mm; dicha percusión se realizó en un recuperador balístico del área de Balística Forenses del Instituto de Investigaciones Forenses de La Paz, en Bolivia. El orificio del recuperador se cubrió con tela de algodón, la cual se remitió al laboratorio y se ocupó como el lugar del impacto del proyectil de arma de fuego. El investigador que realizó el disparo utilizó cubremangas de tela, las cuales fueron enviadas al laboratorio como evidencia para la detección de residuos; en todo momento se ocupó material de bioseguridad, como orejeras y lentes. Se realizaron percusiones del arma de fuego en contacto con la superficie, a 5 cm de la superficie y a 10 cm de la superficie del recuperador balístico (figura 1).

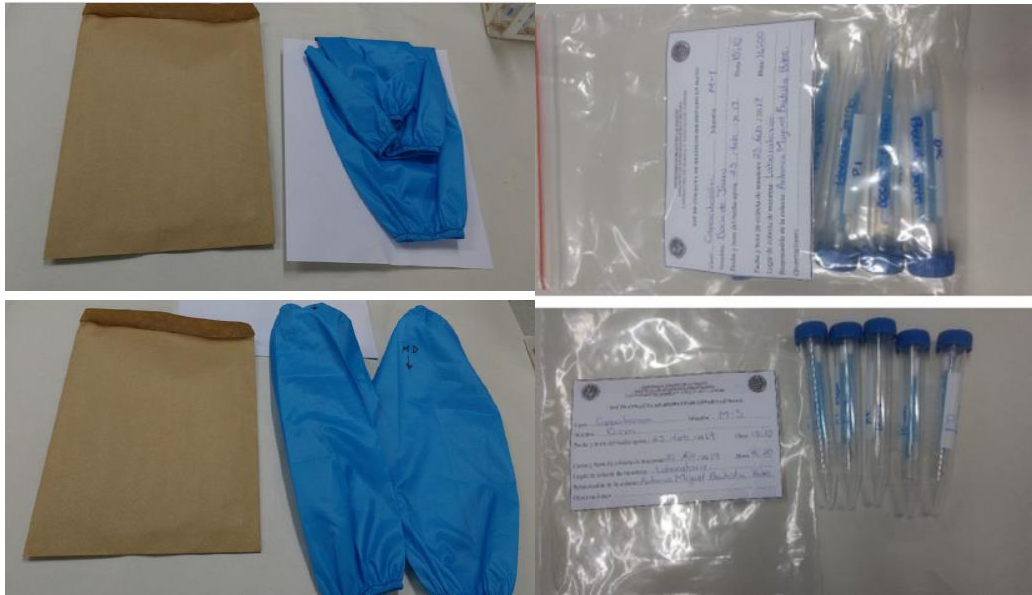


Figura 1. Curemangas y equipo de recolección de hisopos empapados en ácido nítrico al 5%

Ya en el laboratorio se tomó muestra del dorso y de la palma de las manos por medio de hisopos empapados en ácido nítrico al 5%, los cuales fueron colocados dentro de un tubo Falcon de 15 ml y posteriormente en una bolsa sellada y

rotulada con los datos necesarios. Las muestras fueron digeridas en medio ácido y analizadas en un atomizador electro térmico de la marca Perkin Elmer, modelo Analyst 800 (figura 2).



Figura 2. Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer modelo Analyst 800

## RESULTADOS

Se realizaron percusiones del arma de fuego de 9 mm en contacto, a 5 cm y a 10 cm del recuperador balístico, sobre una tela que posteriormente fue usada, junto

con los cubremangas, para el análisis de residuo de disparo (figura 3).

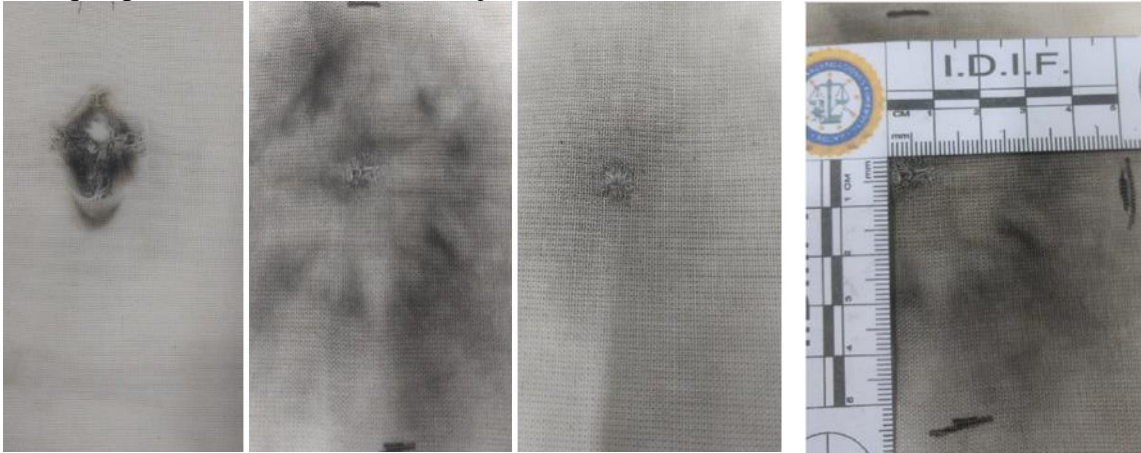


Figura 3. Percusiones al contacto, a 5 cm y a 10 cm del recuperador balístico, así como medición de los halos de percusión

Los valores obtenidos tras el análisis de espectrofotometría de absorción atómica se registran en las Tablas 1 y 2.

Muestra colectada mediante hisopado de manos a 10 cm del recuperador balístico			
	<b>Plomo</b>	<b>Bario</b>	<b>Antimonio</b>
<b>Dorso izquierdo</b>	<b>19</b>	<b>279.4</b>	<b>70.05</b>
<b>Palma izquierda</b>	<b>434.6</b>	<b>625.1</b>	<b>91.93</b>
<b>Dorso derecho</b>	<b>350.7</b>	<b>351.3</b>	<b>42.61</b>
<b>Palma derecha</b>	<b>338.4</b>	<b>339.7</b>	<b>39.32</b>

Tabla 1. Valores de espectrofotometría de las muestras tomadas en dorso y palma de mano percutora. Los resultados se registran en ppb (partes por billón).

<b>Muestra colectada mediante hisopado de mangas a 5 cm del recuperador balístico</b>			
	<b>Plomo</b>	<b>Bario</b>	<b>Antimonio</b>
<b>Izquierda anterior</b>	<b>72.3</b>	<b>1275</b>	<b>28.14</b>
<b>Izquierda posterior</b>	<b>86.6</b>	<b>2792</b>	<b>77.57</b>
<b>Derecha anterior</b>	<b>0</b>	<b>3245</b>	<b>211.01</b>
<b>Derecha posterior</b>	<b>0</b>	<b>2452</b>	<b>169.21</b>
<b>Muestra colectada mediante hisopado de mangas a 10 cm del recuperador balístico</b>			
<b>Izquierda anterior</b>	<b>85.6</b>	<b>2696</b>	<b>0</b>
<b>Izquierda posterior</b>	<b>135.9</b>	<b>3305</b>	<b>0</b>
<b>Derecha anterior</b>	<b>6</b>	<b>2788</b>	<b>0</b>
<b>Derecha posterior</b>	<b>69</b>	<b>2455</b>	<b>0</b>
<b>Muestra colectada mediante hisopado de orificio a 10 cm del recuperador balístico</b>			
<b>Orificio</b>	<b>682.9</b>	<b>5206</b>	<b>0</b>
<b>Primer halo</b>	<b>1058.3</b>	<b>6062</b>	<b>681.92</b>
<b>Segundo halo</b>	<b>729.3</b>	<b>4756</b>	<b>0</b>
<b>Tercer halo</b>	<b>936.3</b>	<b>3908</b>	<b>0</b>

Tabla 2. Valores de espectrofotometría de las muestras tomadas mediante hisopado de mangas a 5 y 10 cm así como del orificio del recuperador balístico. Cifras reportadas en ppb (partes por billón).

## DISCUSIÓN

La determinación de la presencia de residuos de disparo es fundamental en la práctica criminalística, con el objetivo de establecer la culpabilidad o la inocencia de un sospechoso; dada la trascendencia jurídica que esto conlleva, es importante contar con pruebas de detección con una alta sensibilidad y especificidad, para evitar la presencia de falsos positivos y falsos negativos. Otro elemento a tomar en consideración es el costo de la prueba y la aplicabilidad en un medio de recursos

limitados, como sucede en algunas comunidades de los países de América Latina.

La espectrofotometría de absorción atómica es una técnica que se usa con cada vez mayor frecuencia en el mundo, principalmente en países europeos, Estados Unidos y Canadá, en donde sus valores se han estandarizado y validado en numerosos contextos (tabla 3). El objetivo del presente estudio fue determinar la validez y confiabilidad de la determinación de esta prueba en nuestro medio.

Límites de consideración para absorción atómica		
Elemento	Límite mínimo	Límite máximo
Bario	0.3 ppm	3.35 ppm
Antimonio	0.2 ppm	3.86 ppm
Plomo	0.7 ppm	3.34 ppm

Tabla 3. Valores de referencia para la determinación de los principales metales que conforman los residuos de disparo

En las muestras tomadas en el presente estudio se observó que en el hisopado de manos después de una percusión a 10 cm del recuperador balístico se observaron evidencias detectables de plomo, bario y antimonio, lo cual permite determinar que fue realizado un disparo con arma de fuego. En el hisopado de mangas a 5 cm del recuperador balístico se detectaron plomo, bario y antimonio en la manga izquierda pero solamente bario y antimonio en la manga derecha, lo que permite concluir que sólo hay evidencias de disparo de arma de fuego en la manga izquierda. En el hisopado de mangas a 10 cm del recuperador balístico sólo se recuperaron plomo y bario, lo cual no permite concluir con certeza en la realización de un disparo. Finalmente, en el hisopado del orificio del disparo, sólo se puede afirmar con certeza que se realizó un disparo por arma de fuego en el primer halo.

Los datos antes mencionados nos permiten evidenciar los sitios y condiciones adecuadas para el correcto análisis por espectrofotometría; no es una técnica económica y su aplicación requiere habilidad por parte del operador, motivo por el cual debe realizarse en los sitios corporales adecuados, en la región periorificial de mayor sensibilidad y cuidando de evitar los factores que pueden determinar la presencia de falsos positivos y negativos.

La parte fundamental de un buen peritaje es la interpretación, análisis y conclusiones, que solo se obtienen con las técnicas adecuadas, como la espectrofotometría de absorción atómica; se requiere una capacitación completa y constante por parte del operador, lo cual permita emitir resultados confiables que

permitan que se realice en forma adecuada el proceso de procuración de justicia.

## REFERENCIAS

1. American Society for Testing and Materials, ASTM Standard E 1588-95. Guía estándar para el análisis de residuos de disparo por microscopía electrónica y espectroscopia. 1995.
2. American Society for Testing and Materials, ASTM Standard 1588-95. Guía estándar para el análisis de residuos de disparo por microscopía electrónica y espectroscopia. 2001.
3. Barrio RJ (2012). La Ciencia Forense desde la perspectiva de la Química Analítica. Sociedad Española de Química Analítica, 19: 25-33.
4. Cano ME (2010). Análisis de elementos residuales depositados en la mano después de disparar un arma de fuego usando Espectroscopía de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente. Tesis doctoral, UNAM.
5. De Oliveira AP, Neto JA, Nóbrega JA (2005). Internal standardization in graphite furnace atomic absorption spectrometry. Atomic Spectroscopy, 60(5): 681-86.
6. Di Maio VJ (2007). Heridas por arma de fuego. Editorial La Rocca Buenos Aires, Argentina.
7. Inostroza Rebolledo MH (2006). Manual para toma de muestras de residuos de disparo en manos. Editorial Trillas, Ciudad de México.
8. Jean Vertus W (2007). The analysis of gold in seawater using ion Exchange chromatography and



- atomic absorbtion spectroscopy, J Forensic Sci, 54(3): 421-27.
9. Jiménez CM (2013). Validación del método de análisis de residuos de disparo por espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente en frotis de manos, en el instituto nacional de medicina legal y ciencias forenses. Ciencias forenses, 1(1), 8-12.
  10. Lorenzo M, Reyes A, Blanco I (2010). Determinación de calcio, cobre, fierro y plomo por espectrofotometría de absorción atómica en aguardientes de caña. An Toxicol, 4(3): 56-64.
  11. Pérez-Cao A, Abad CV (2001). Presentación del dispositivo de recogida de residuos de disparo diseñado por la Sección de Criminalística del Instituto de Toxicología. Cuadernos de Medicina Forense, 15.
  12. Rocha C (2000). Principios básicos de espectroscopía. Editorial UACH, Ciudad de México.
  13. Rodríguez JJ (2015). Residuos de disparo una vía de identificación de calibres de armas de fuego incriminadas en delitos de homicidios. Tesis doctoral, UNAM.
  14. Soria S (2012). Determinación de metales en residuos de disparo por espectroscopía de absorción atómica. Tesis doctoral, UNAM.
  15. Sotelo N, Cordero A, Woller R (2000). Heridas por proyectil de arma de fuego en niños y adolescentes. Cirugía y Cirujanos, 68(5), 204-210.
  16. Wolten GM, Nesbitt RS, Calloway AR et al (1979). Particle analysis for the detection of gunshor residue. J Forensic Scie, 24(2): 409-22.
  17. Zunino MG, Spinelli H, Alazraqui M (2006). Muertes por Armas de Fuego: un eclipse en los sistemas de información en salud. Salud colectiva, 2(3), 259-267.

