



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,**  
**VINCULACIÓN Y POSGRADO**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE:**  
**MAGÍSTER EN CRIMINALÍSTICA Y CIENCIAS FORENSES**

**TEMA:**

**ESTUDIO DE TÉCNICAS INSTRUMENTALES PARA ANÁLISIS DE**  
**RESIDUOS DE DISPARO INORGÁNICOS**

**AUTOR:**

Lic. Cyntia Magali Guevara Guevara

**TUTOR:**

Tcn. Cristian Salgado Ortega

**Riobamba – Ecuador**

2024

## **Certificación del Tutor**

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado: “Estudio de técnicas instrumentales para análisis de residuos de disparo inorgánicos”, ha sido elaborado por la Licenciada Cyntia Magali Guevara Guevara, el mismo que ha sido orientado y revisado con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor. Así mismo, refrendo que dicho trabajo de titulación ha sido revisado por la herramienta antiplagio institucional; por lo que certifico que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

Riobamba 7 de agosto de 2024.



Atestado y firmado por:  
CRISTIAN ERNESTO  
SALGADO ORTEGA

---

Tcn. Cristian Salgado Ortega.

**TUTOR**

### **Declaración de Autoría y Cesión de Derechos**

Yo, Cyntia Magali Guevara Guevara, con número único de identificación 1500551088, declaro y acepto ser responsable de las ideas, doctrinas, resultados y lineamientos alternativos realizados en el presente trabajo de titulación denominado: “Estudio de técnicas instrumentales para análisis de residuos de disparo inorgánicos.” previo a la obtención del grado de Magíster en Criminalística y Ciencias Forenses.

- Declaro que mi trabajo investigativo pertenece al patrimonio de la Universidad Nacional de Chimborazo de conformidad con lo establecido en el artículo 20 literal j) de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.
- Autorizo a la Universidad Nacional de Chimborazo que pueda hacer uso del referido trabajo de titulación y a difundirlo como estime conveniente por cualquier medio conocido, y para que sea integrado en formato digital al Sistema de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor, dando cumplimiento de esta manera a lo estipulado en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.

Riobamba, 20 de diciembre de 2024.

---

Lic. Cyntia Magali Guevara Guevara

CI. 1500551088

## **Agradecimiento**

Gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia cada día con plenitud, por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo maravillosa que es y lo justa que puede llegar a ser.

A mis padres, ya que han sido mi pilar fundamental y apoyo en mi formación académica, me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia, mi empeño y todo aquello que de manera desinteresada desde la bondad de su corazón han hecho en mi vida. A mi hermano e hijo que son mi fuerza para no decaer en cada proceso de la vida.

No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi pequeña gran familia.

A todas las personas que hicieron posible éste trabajo, gracias Teniente Crnl. Cristian Salgado, Maraid Sosa por ser mi timón y Germania Noboa por tu calidez de hogar durante mi estadía en tu ciudad.

## **Dedicatoria**

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero sobre todo su apoyo constante en todos los aspectos de mi vida ha sido mi pilar fundamental para culminar cada meta.

A mi hijo, posiblemente en este momento no entiendas mis palabras, pero cuando seas capaz, quiero que te des cuenta de lo que significas para mí y el esfuerzo que hicimos los dos en este proceso. Eres la razón de mi despertar cada mañana a esforzarme por el presente y nuestro futuro, eres mi principal motivación.

## Índice General

<b>Certificación del Tutor.....</b>	<b>ii</b>
<b>Declaración de Autoría y Cesión de Derechos .....</b>	<b>iii</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>v</b>
<b>Índice General.....</b>	<b>vi</b>
<b>Índice de Tablas.....</b>	<b>viii</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>1</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>3</b>
<b>Capítulo 1 Problematicación .....</b>	<b>5</b>
1.1 Planteamiento del problema.....	5
1.2 Justificación de la Investigación .....	6
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo General.....	7
1.3.2 Objetivos Específicos .....	7
<b>Capítulo 2 Estado del Arte y la Práctica .....</b>	<b>8</b>
2.1 Antecedentes Investigativos.....	8
2.2 Fundamentación Legal .....	12
2.2.1 Políticas públicas.....	13
2.3 Fundamentación Teórica.....	17
2.3.1 Introducción al análisis de residuos de disparo inorgánicos.....	17
2.3.2 Fundamentos de las técnicas instrumentales.....	19
<b>Capítulo 3 Diseño Metodológico.....</b>	<b>33</b>
3.1 Tipo y característica de la investigación .....	33
3.2 Enfoque de la Investigación .....	33

3.2.1 Enfoque Cuantitativo .....	33
3.2.2 Enfoque Cualitativo .....	34
3.2.3 Enfoque Mixto .....	34
3.3 Método .....	35
3.3.1 Método inductivo .....	35
3.3.2 Método estadístico .....	35
3.4 Técnicas de Investigación .....	36
3.4.1 Recolección bibliográfica .....	36
3.4.2 Encuesta .....	36
3.4.3Entrevista .....	37
3.5Instrumentos .....	37
3.5.1Cédula de entrevista a la responsable de la gestión operativa Microscopía Electrónica de Barrido del SNMLCF .....	37
3.5.2Cédula de entrevista para el jefe de grupo de Evidencia Traza de la Jefatura Zonal de Criminalística DMQ .....	38
<b>Capítulo 4 Análisis y Discusión de los Resultados .....</b>	<b>41</b>
4.1Análisis Descriptivo de los Resultados .....	41
4.2 Descripción Estadística .....	46
4.3 Descripción Cualitativa .....	51
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>55</b>
<b>6. Recomendaciones.....</b>	<b>56</b>
<b>7. Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>57</b>
<b>8. Apéndice .....</b>	<b>62</b>
8.1 Apéndice A Resultados de la encuesta.....	62
8.2Apéndice B. Entrevista 1 .....	65
8.3Apéndice C. Entrevista 2.....	67

**Índice de Tablas**

Tabla 1 Técnicas instrumentales para análisis de residuos de disparo inorgánicos. ....	41
Tabla 2 Aplicación de las técnicas instrumentales para análisis de residuos de disparo inorgánicos. ....	44



**Índice de Figuras**

Figura 1 Pregunta 1 .....	47
Figura 2 Pregunta 2 .....	48
Figura 3 Pregunta 3 .....	48
Figura 4 Pregunta 4 .....	49
Figura 5 Pregunta 5 .....	50
Figura 6 Pregunta 6 .....	50
Figura 7 Pregunta 7 .....	51

## Resumen

El trabajo desarrollado consiste en generar una referencia bibliográfica actualizada, la misma que luego de emplear una metodología científica correspondiente que explicará los tipos de residuos de disparo, cuáles son las técnicas instrumentales que se emplean para su análisis y comparar los métodos de análisis de residuos de disparo de tipo inorgánica para establecer la conveniencia de su utilización respecto al tratamiento de la muestra y a los resultados obtenidos. Así mismo este trabajo, tiene como objetivo desarrollar una fuente bibliográfica, confiable, actualizada y respecto a las técnicas instrumentales que se utilizan actualmente para análisis de residuos de disparo. La investigación realizada está enmarcada en el enfoque mixto, ya que este es el que mejor se aplica a las necesidades de la investigación, utilizando recursos como la revisión bibliográfica actualizada, la aplicación de encuesta, entrevistas y todos los procesos metodológicos, con el objetivo de conseguir resultados que permitan establecer parámetros comparativos al momento de escoger una técnica instrumental para análisis de residuos de disparos inorgánicos en el Ecuador, siendo las técnicas preferenciales aquellas que tienen carácter no destructivo o poco invasivo en la recolección, tratamiento y análisis de la muestra, garantizando la preservación de la evidencia.

**Palabras Clave:** Residuos de disparo, técnicas instrumentales, no destructivo, muestra, evidencia.

### **Abstract**

The project consists of the creation of an updated bibliographic reference that, through the application of appropriate scientific methodologies, allows an explanation of the different types of shot residues, the instrumental techniques used for its analysis, and the methods of analysis of inorganic shot residues, which will allow to establish the suitability of each method for sample treatment and the results obtained. Furthermore, this study aims to develop a reliable and current bibliographic source regarding the instrumental techniques used for gunshot residue analysis. The research follows a mixed approach, which best meets the requirements of the study. This approach includes resources such as a comprehensive bibliographic review, surveys, interviews, and various methodological processes. The primary objective is establishing comparative parameters for selecting an instrumental technique for analyzing inorganic gunshot residues in Ecuador. The preferred methods are non-destructive or minimally invasive during the collection, treatment, and analysis of samples, thus ensuring the preservation of evidence.

**Keywords:** Gunshot residue, instrumental techniques, non-destructive, sample, evidence.

Reviewed by:



Lic. Raquel Verónica Abarca Sánchez. Msc.  
**ENGLISH PROFESSOR**  
c.c. 0606183804

## **Introducción**

El análisis de residuos de disparo inorgánicos constituye un campo de estudio crucial en el ámbito de la investigación criminalística. Esta área de investigación se enfoca en el análisis de los residuos químicos y partículas inorgánicas depositadas en las escenas del crimen que han sido generados por el uso de armas de fuego. La comprensión de las técnicas instrumentales utilizadas para el análisis de residuos de disparo inorgánicos desempeña un papel fundamental en la investigación de delitos en los cuales estén involucradas armas de fuego, la reconstrucción de hechos y en última instancia, la búsqueda de la verdad en el sistema de justicia penal. Esta investigación se plantea con el propósito de explorar y evaluar en detalle las técnicas instrumentales utilizadas para el análisis de residuos de disparo inorgánicos. A través de una descripción exhaustiva de estas técnicas, se busca comprender el funcionamiento, ventajas y desventajas, así como su aplicabilidad en el contexto de investigación criminal, evaluando la recolección, tratamiento y análisis de la muestra.

Es importante señalar que, desde la perspectiva académica, contribuirá al conocimiento existente en el campo de la investigación criminalística, brindando una visión actualizada y detallada sobre las técnicas instrumentales utilizadas en el análisis de residuos de disparo inorgánicos. Desde una perspectiva empresarial, este estudio puede resultar valioso para laboratorios de análisis forense y agencias de seguridad y justicia ya que proporcionará información detallada sobre las herramientas disponibles para el análisis de residuos de disparo inorgánicos. En cuanto a la relevancia social, tiene un papel fundamental en la resolución de crímenes violentos, ya que proporciona evidencia científica que puede vincular la acción de un arma de fuego a una escena del crimen específica.

En lo que respecta a la metodología empleada en esta investigación comprenderá una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica disponible, así como la aplicación de

encuestas y entrevistas a la población seleccionada. Por lo que se espera que los resultados de este estudio permitan una comprensión más profunda y clara de las técnicas instrumentales utilizadas en el análisis de residuos de disparo inorgánicos, proporcionando una base sólida para la selección y aplicación adecuada de estas técnicas en investigaciones criminales. Además, se espera que esta investigación sirva como una guía de referencia para futuros estudios y desarrollos en el campo de la criminalística, contribuyendo así al avance de la ciencia forense y a la mejora continua de los procesos de investigación criminal.

La estructura que constituye la presente investigación se presenta a continuación:

Capítulo 1 Generalidades: Presenta el planteamiento del problema, la justificación de la investigación y los objetivos a ser desarrollados en la misma, así como la contextualización del área de estudio.

Capítulo 2 Estado del Arte y la Práctica: Expone los antecedentes investigativos, la fundamentación teórica y legal.

Capítulo 3 Diseño Metodológico: en este capítulo se describen los enfoques, métodos, técnicas e instrumentos que se utilizarán en esta investigación, los cuales serán aplicados a la población y la muestra en función del cumplimiento del objetivo principal y específicos.

Capítulo 4 Análisis y Discusión de los Resultados: en este capítulo se desarrolla el análisis descriptivo de la comparación de las técnicas instrumentales utilizadas para el análisis de residuos de disparo de tipo inorgánico, los resultados de este análisis y la discusión de estos.

Capítulo 5: en este capítulo se expondrán las conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

## Capítulo 1

### Problematización

#### 1.1 Planteamiento del problema

Con el objetivo de identificar y explicar adecuadamente el planteamiento del problema, se explicará de la siguiente manera:

**a. *Identificación del problema***

Establecer cuáles son las técnicas instrumentales para análisis de residuos de disparo inorgánicos, características y ventajas al aplicarlas.

**b. *Delimitación del objeto en el espacio geográfico***

El presente estudio se desarrollará, en la República del Ecuador, en las provincias de Pichincha, Chimborazo y Cotopaxi, en los laboratorios de Criminalística de la Policía Nacional y el Servicio Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses.

**c. *Delimitación de espacio temporal***

El desarrollo de la presente investigación se realizó durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2022.

**d. *Definición e investigación del problema***

Con el paso del tiempo, el continuo avance tecnológico y la implementación de nuevas estrategias y técnicas en el uso del armamento, resulta imprescindible contar con fundamentos técnicos y teóricos actualizados para aquellos que se dedican a este campo académico. En este contexto, al efectuarse un disparo, en la boca del arma de fuego se proyecta el proyectil, junto con gases generados por la combustión de la pólvora y la evaporación de ciertos elementos del propio proyectil. En base a las consideraciones expuestas anteriormente, existen diversos métodos y técnicas que conducen a los resultados

deseados, es decir, a la comprensión y análisis de la acción y sus consecuencias tras haberse producido el disparo

Por lo tanto, surge la necesidad de llevar a cabo un estudio exhaustivo de las técnicas instrumentales utilizadas para el análisis de residuos de disparo inorgánicos, con el objetivo de proporcionar una visión detallada de estas técnicas, el funcionamiento, ventajas y desventajas, así como la aplicabilidad en investigaciones criminales. Este estudio permitirá llenar el vacío de información existente en este campo y servirá como una guía de referencia para investigadores, profesionales forenses y agencias de seguridad y justicia.

## **1.2 Justificación de la Investigación**

La identificación y caracterización de residuos de disparo inorgánicos es de gran importancia para la investigación de un hecho delictivo en el cual existe la acción de un arma de fuego, ya que las partículas características de residuos de disparo inorgánico son aleaciones que sólo se forman a partir de las sales inorgánicas contenidas en la cápsula iniciadora de municiones para armas de fuego. Sin embargo, las técnicas instrumentales y la interpretación de resultados asociadas al análisis de residuos de disparo inorgánicos no son temas ampliamente conocidos por los administradores de justicia, bien sea por los tecnicismos asociados a estos análisis o por el rezago de concepciones preestablecidas que se han heredado a través del tiempo.

A partir de esta investigación, se pretende obtener un estudio exhaustivo, pormenorizado, comparativo y actualizado de las técnicas instrumentales para análisis de residuos de disparo inorgánicos, del cual se desprenda la identificación de una técnica instrumental óptima para el análisis de residuos de disparo inorgánicos que responda a las necesidades nacionales.

Este estudio bibliográfico, servirá de apoyo para aquellas personas que estén vinculadas a la administración de justicia y deban interpretar informes periciales de análisis

de residuos de disparo, ya que podrán tener acceso a los conceptos básicos y la correcta interpretación de los resultados que ofrecen estas técnicas instrumentales. Para el análisis de un informe pericial se debe realizar una interpretación de resultados asertiva desde el punto de vista técnico científico para que los resultados obtenidos sean entendidos por los administradores de justicia y coadyuven a la resolución de un hecho delictivo.

Así mismo, esta investigación será un aporte técnico científico que sirva como referencia bibliográfica a estudiantes universitarios que no tengan acceso a bases de datos privadas, ya que en esta investigación se hará un resumen actualizado de los estudios de investigación realizados hasta la fecha, relacionados con el tema de estudio.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo General***

Identificar cuáles son las técnicas instrumentales adecuadas para investigar, y analizar los residuos de disparo inorgánicos, mediante un estudio bibliográfico comparativo y cualitativo a fin de identificar cuál es la técnica óptima para el análisis de residuos de disparo aplicado a la realidad nacional.

#### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- ✓ Estudiar los residuos de disparo inorgánico
- ✓ Comparar las técnicas instrumentales, mediante las cuales se caracterizan los residuos de disparo de tipo inorgánico
- ✓ Estudiar los resultados que se obtienen a través del análisis de residuos de disparo inorgánico y su aporte a la investigación técnico- científica en el Ecuador.



## Capítulo 2

### Estado del Arte y la Práctica

#### 2.1 Antecedentes Investigativos

En el campo de la investigación criminalística, el análisis de residuos de disparo inorgánicos ha sido objeto de estudio e investigación a nivel internacional. Diversos investigadores y expertos en ciencias forenses han desarrollado metodologías y técnicas instrumentales para la caracterización y análisis de estos residuos, con el objetivo de brindar pruebas científicas sólidas en la resolución de casos relacionados con armas de fuego. Estos antecedentes investigativos han demostrado la importancia de contar con herramientas precisas y confiables para la identificación de las partículas características de residuos de disparo. Asimismo, se ha evidenciado la necesidad de técnicas rápidas, eficientes y accesibles para los laboratorios forenses, que contribuyan a la administración de una justicia oportuna y eficaz.

Considerando el estudio de (Cano, 2007) titulado Análisis de elementos residuales depositados en la mano después de disparar un arma de fuego usando Espectroscopia de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente. Con el objetivo de analizar la determinación de residuos de disparo de arma de fuego (GSR). A través de un enfoque metodológico de tipo mixto, combinando elementos documentales, de campo y experimentales, logró establecer que las concentraciones de GSR) varían dependiendo de la región de la mano y del calibre del arma utilizada. Estos hallazgos resultan de gran relevancia en el campo forense, ya que permiten establecer conexiones entre un individuo y el uso de un arma de fuego.

El estudio resalta que las partículas de GSR son diminutas y están compuestas por una diversidad de elementos químicos. Para analizar estos componentes, se empleó la Espectroscopia de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente, una técnica

instrumental utilizada para determinar la composición química de las muestras. Adicionalmente, en el documento se detallan los mecanismos que intervienen en el funcionamiento de un arma de fuego y cómo se produce un disparo. Esto proporciona un contexto científico y técnico esencial para comprender cómo se generan y depositan los residuos de disparo en la mano de una persona.

Para obtener estos resultados, se recopilaron y analizaron diversas fuentes de información, se realizaron observaciones directas en el campo y se llevaron a cabo experimentos que proporcionaron datos relevantes. Como resultado, se ha demostrado que distintos calibres de armas pueden generar patrones de residuos de disparo distintos en la mano de una persona, lo que aporta valiosa información a la investigación forense.

En otro estudio desarrollado por (Jiménez, 2013), titulado: Validación del método de análisis de residuos de disparo por espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente en frotis de manos, realizado en el instituto nacional de medicina legal y ciencias forenses regional Bogotá. Este estudio tuvo como objetivo validar el método para analizar los residuos de disparo recolectados en hisopos mediante frotis en la superficie de las manos de población en estudio, el análisis se realizó mediante espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado (ICP-MS). Los parámetros considerados para la validación fueron la especificidad o selectividad, la linealidad, la precisión, el límite de detección, la sensibilidad y la exactitud.

El estudio encontró que el método para analizar los residuos de disparo recolectados en hisopos mediante frotis en la superficie de las manos de población en estudio mediante ICP-MS, era válido y fiable. Además, de que los resultados del estudio sugieren que el método validado se puede utilizar como prueba en procesos judiciales relacionados con armas de fuego. El método podía diferenciar entre la ausencia de residuos de disparo y los residuos de disparo mediante herramientas estadísticas como la prueba de pares en T.

Por lo que según este estudio el método de análisis de residuos de disparo mediante ICP-MS, aporta un método eficaz y confiable en la detección y cuantificación de residuos de disparo, lo cual es fundamental para asegurar la calidad y validez de los resultados obtenidos.

Por otra parte, valida la aplicación forense, como prueba en procesos judiciales relacionados con armas de fuego. Esto significa que el análisis de residuos de disparo inorgánicos mediante ICP-MS puede ser considerado como una herramienta forense confiable y aceptada en el ámbito legal, lo cual tiene implicaciones significativas en la resolución de casos criminales. Y genera la diferenciación de muestras, considerando que el método es capaz de diferenciar entre la ausencia de residuos de disparo y la presencia de residuos de disparo utilizando herramientas estadísticas como la prueba de pares en T. Esta capacidad de distinguir entre diferentes tipos de muestras es importante para la identificación precisa de residuos de disparo y contribuye a la generación de pruebas sólidas en investigaciones forenses. Costa et al., (2016) realizaron el estudio titulado: Análisis de residuos de disparo (GSR) de munición de rango limpio, utilizando SEM/EDX, prueba colorimétrica e ICP-MS: un enfoque comparativo entre las técnicas analíticas. Cuyo objetivo general se enfoca en evaluar la capacidad del ICP-MS para determinar el GSR a partir de municiones de alcance limpio y comparar sus resultados con las técnicas clásicas de balística forense. La metodología utilizada en el estudio consistió en recolectar residuos de disparo con cinta adhesiva y fijarlos en papel de filtro. Se prepararon soluciones de reactivo y se realizaron pruebas colorimétricas y análisis con ICP-MS. Se evaluó la capacidad de detección de GSR en diferentes regiones de las manos, utilizando diferentes armas de fuego. Los resultados obtenidos con ICP-MS se compararon con técnicas clásicas de balística forense, como pruebas colorimétricas y SEM/EDX.

El estudio demostró que la técnica ICP-MS es rápida, sensible y eficiente para identificar y cuantificar varios isótopos en los residuos de disparo inorgánicos GSR de munición de corto alcance.

Por lo que aportará la eficacia del ICP-MS como una técnica instrumental para el análisis de residuos de disparo inorgánicos. Esto significa que se proporciona evidencia científica de que el ICP-MS puede ser una herramienta confiable y precisa en este campo de investigación. Al igual que la comparación con técnicas clásicas, el estudio compara los resultados del ICP-MS con las técnicas clásicas de balística forense, como la prueba colorimétrica y el SEM/EDX. Esta comparación permite evaluar las ventajas y desventajas de cada técnica, identificando las fortalezas del ICP-MS en términos de sensibilidad, especificidad y rapidez, sin embargo es una técnica destructiva ya que se debe transformar la muestra para su análisis.

(Meneses et al., 2018), realizaron una investigación referida a Residuos de Disparo una evidencia difícil de eliminar. Con el objetivo de comprobar si los métodos de Espectrofotometría de Absorción Atómica y de la Microscopía Electrónica de Barrido; brindan resultados confiables para la determinación de Bario (Ba), Plomo (Pb), Antimonio (Sb) y el Cobre (Cu), impregnados en las manos después de disparar un arma de fuego. Sustentado en un estudio, de campo experimental, mixto. Se comprobó que las técnicas de son ideales para realizar el análisis de residuo de disparo de arma de fuego. Además que la metodología de Espectrofotometría de Absorción Atómica (AA) como el de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB); son las más utilizadas en Colombia y que gracias a su implementación se constituye en un elemento material probatorio dentro de la investigación criminal.

## 2.2 Fundamentación Legal

La fundamentación legal para la realización de estudios de técnicas instrumentales para el análisis de residuos de disparo inorgánicos se enmarca en diversas normativas y regulaciones que aseguran la correcta administración de justicia y el uso adecuado de la tecnología en la investigación forense. Se pueden aplicar: Art. 82 y 199 de la Constitución de la Republica del Ecuador y el Código Orgánico de la Función Judicial Artículo 298, Artículo 296.

*Art. 82.- El derecho a la seguridad jurídica se fundamenta en el respeto a la Constitución y en la existencia de normas jurídicas previas, claras, públicas y aplicadas por las autoridades competentes.*

*Art. 199.- Los servicios notariales son públicos. En cada cantón o distrito metropolitano habrá el número de notarias y notarios que determine el Consejo de la Judicatura. Las remuneraciones de las notarias y notarios, el régimen de personal auxiliar de estos servicios, y las tasas que deban satisfacer los usuarios, serán fijadas por el Consejo de la Judicatura. Los valores recuperados por concepto de tasas ingresarán al Presupuesto General del Estado conforme lo que determine la ley.*

*Art. 296.- Notariado.- (Reformado por el num. 9 de la Disposición Reformatoria Segunda del Código Orgánico General de Procesos, R.O. 506-S, 22-V-2015).- El Notariado es un órgano auxiliar de la Función Judicial y el servicio notarial consiste en el desempeño de una función pública que la realizan las notarias y los notarios, quienes son funcionarios investidos de fe pública para autorizar, a requerimiento de parte, los actos, contratos y documentos determinados en las leyes y dar fe de la existencia de los hechos que ocurran en su presencia. Así como intervenir en ejercicio de la fe pública de la que se encuentran investidos, en los asuntos no contenciosos determinados en la Ley, para autorizar, conceder, aprobar, declarar, extinguir, cancelar y solemnizar situaciones jurídicas respecto de las*

*que se encuentren expresamente facultados en el Código Orgánico General de Procesos, la Ley Notarial y otros cuerpos legales. El ejercicio de la función notarial es personal, autónomo, exclusivo e imparcial. (COIP) (Asamblea, 2018)*

*Art. 298.- Ingreso al servicio notarial.- (Reformado por el Art. 1 de la Ley s/n,R.O. 490-2S, 13-VII-2011).- El ingreso al servicio notarial se realizará por medio de un concurso público de oposición y méritos, sometido a impugnación y control social, y con el procedimiento establecido en este Código, que será dirigido por la Unidad de Recursos Humanos del Consejo de la Judicatura, sin perjuicio de que la formación inicial esté a cargo de la Escuela de la Función Judicial.*

*Las disposiciones contenidas en este Código relativas a la convocatoria, calificación, selección, impugnación, formación inicial y nombramiento para el ingreso a las diferentes carreras de la Función Judicial, se aplicarán en lo que sea pertinente al ingreso al Servicio Notarial. Los concursos no podrán privilegiar la experiencia frente a la preparación académica y la evaluación de desempeño. (COIP) (Asamblea, 2018)*

### **2.2.1 Políticas públicas.**

Las políticas públicas, son el producto de los procesos de toma de decisiones del Estado frente a determinados problemas públicos. Estos procesos de toma de decisión implican acciones u omisiones de las instituciones gubernamentales.

De hecho, el gobierno como entidad administradora de los recursos y proveedora del orden y de la seguridad del conjunto de la sociedad, está obligado a atender y resolver los problemas públicos de la misma y, en consecuencia, a llevar a cabo el proceso de diseño, elaboración, implementación y evaluación de las políticas públicas que sean necesarias para tal fin.

Es la encargada de ejecutar la investigación técnico científica entregando los suficientes elementos de convicción que sustenten la acusación fiscal, permitiendo afianzar los fallos y decisiones por parte de la administración de justicia.

Dentro del servicio de Criminalística se ejecutan pericias a todos los indicios que son recolectados en el lugar de los hechos y de aquellos que disponga la autoridad competente, mediante la aplicación de metodologías analíticas con apoyo de personal especializado y equipo técnico, que cumplen con los requisitos necesarios para garantizar la calidad de las mismas, y aportar con elementos de convicción a la Administración de Justicia en las diferentes áreas de acción:

Balística.- Identifica y determina el funcionamiento de armas de fuego, trayectorias, cotejamiento y distancia de disparo de un arma de fuego.

Microscopía Electrónica de Barrido.- Estará encargada de identificar residuos de disparo y analizar la composición química estructural de elementos orgánicos e inorgánicos; así como buscar y analizar los residuos, adherencias, fibras y elementos pilosos y muestras orgánicas.

Tratamiento de prendas, objetos y pertenecías.

Documentología.- Será la encargada de analizar los documentos, textos, firmas, tintas, soportes, papel moneda.

Audio, Video y Afines.- Será la encargada de analizar los dispositivos de almacenamiento análogo/digital, con contenido de audio, video e imagen.

Informática Forense.- Será la encargada de analizar el contenido digital procedente de fuentes informáticas, electrónicas y telemáticas para la obtención de datos e información.

Análisis de Numeraciones Seriales (Revenidos Químicos).- Será la encargada de analizar grabados, marcas seriales, impresos sobre superficies metálicas, vehículos objetos de valor u otros que se requiera.

Marcaciones y Remarcaciones.- Será la encargada de realizar remarcación y marcaciones de automotores, marcación de Unidades de Carga.

Química Forense.- Analiza estupefacientes, precursores químicos, explosivos, fibras, pinturas y otras sustancias químicas.

Genética.- Determina el perfil genético, realiza la identificación de personas, cadáveres y restos óseos, mediante el perfil genético.

Papiloscopía.- Analiza rastros dactilares de la escena del delito, desaparecidos, cadáveres y cadáveres NN.

Identidad Morfológica y Fisonómica.- Realiza la identificación de personas o cadáveres, mediante la aplicación de los diferentes métodos o sistemas de identificación física humana.

Inspección Ocular Técnica.- Aplicar la metodología de IOT en el lugar de los hechos, donde se presume que ocurrió un hecho delictivo, por disposición de la autoridad competente.

Realizar la reconstrucción de los hechos con el apoyo de versiones y/o indicios levantados en el lugar de los hechos.

Fotografía Forense: Respalda con fotografías todos los informes periciales de las diferentes secciones técnicas.

Planimetría Forense: Proporciona apoyo a las demás secciones en la elaboración de planos en 2D y 3D, croquis y dibujos.

Registro de Armas: Realizar el registro de armas de fuego policiales; el registro Biométrico de personas naturales, jurídicas y agentes de seguridad privada; el registro Biométrico de servidoras y servidores de Fuerzas Armadas.

Centro de Acopio Temporal de Evidencias: Realizar el registrar de ingresos, movimientos, traslados, egresos y devoluciones de indicios y/o evidencias.



En cuanto al proceso en el presente trabajo consiste, la emisión del informe pericial del análisis de residuos de disparo a través de microscopía electrónica de barrido, mediante el análisis químico elemental y morfológico de partículas de Plomo, Bario y Antimonio, provenientes de la cápsula iniciadora de municiones para armas de fuego (residuos de disparo).

El administrado es la Fiscalía General del Estado. El Servicio Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses se encuentra al servicio de la administración de justicia del país, y realiza las pericias bajo pedido expreso del órgano de la justicia competente. Requisito obligatorio oficio de solicitud de informe pericial por parte de Fiscalía.

El custodio de la Fiscalía entrega la solicitud de la pericia en la recepción de documentación de la planta baja del Edificio del Servicio Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses.

El custodio de la Fiscalía entrega las evidencias en el centro de acopio del Laboratorio de Ciencias Forenses en la planta baja del Edificio del Servicio Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses.

El informe pericial será entregado a la autoridad de justicia competente a través de servicio de mensajería de manera física, una vez realizado el correspondiente análisis técnico pericial por los peritos designados.

El trámite no tiene costo.

A partir de este estudio se tendrá una guía con aporte técnico científico sobre el análisis de residuos de disparo inorgánicos; sin embargo, la utilidad de esta bibliografía debe estar apegada a la normativa nacional. En este sentido, las técnicas que se estudien deben estar apegadas al Código Orgánico Integral Penal (COIP) (Asamblea, 2018).

*Artículo 1.- Este Código tiene como finalidad normar el poder punitivo del Estado, tipificar las infracciones penales, establecer el procedimiento para el juzgamiento de las*

*personas con estricta observancia del debido proceso, promover la rehabilitación social de las personas sentenciadas y la reparación integral de las víctimas. (p. 7)*

Así mismo, el COIP dicta las directrices respecto a los análisis forenses o peritajes que se realizan sobre los indicios recolectados relacionados en un hecho punible, en este sentido es importante tomar en cuenta el artículo 473 del COIP que indica:

*Artículo 473.- Alteración, disposición o destrucción de bienes o sustancias.- Si para practicar la pericia es necesario alterar o destruir el bien o sustancia que ha de reconocerse, la o el fiscal dispondrá que, de ser posible, se reserve una parte para que se conserve bajo su custodia.(p. 171)*

Basados en estos artículos es importante destacar que, al momento de escoger una técnica instrumental, se debe dar mayor valor a aquellas que sean de carácter no destructivo o poco invasivo, a fin de preservar los indicios y/o evidencias sujetas a estudio (Asamblea, 2018).

## **2.3 Fundamentación Teórica**

### ***2.3.1 Introducción al análisis de residuos de disparo inorgánicos***

Los residuos de disparo inorgánicos son partículas microscópicas que se generan en el proceso de disparo de un arma de fuego. Estas partículas están compuestas principalmente por sustancias inorgánicas, como plomo, antimonio, bario y otros elementos metálicos, y se depositan en la mano del tirador o en otras superficies cercanas al arma tras la detonación. El análisis de residuos de disparo inorgánicos juega un papel fundamental en la investigación de casos relacionados con armas de fuego (Converso, Mirakian, & Baez, 2021)

Estas partículas son indicativas de la presencia de un arma en el lugar del incidente y pueden proporcionar información crucial para establecer conexiones entre una persona y el uso de un arma de fuego. El estudio de estos residuos permite determinar la distancia y dirección desde la cual se efectuó el disparo, así como el tipo de arma y munición utilizados.

Estos datos son esenciales para reconstruir los eventos en una escena del crimen y pueden ayudar a esclarecer la dinámica de un tiroteo, proporcionando pruebas fundamentales en investigaciones criminales (Converso et al., 2021).

La cápsula iniciadora se encuentra ubicada en la base de las municiones para armas de fuego, ésta contiene una mezcla explosiva, sensible a variaciones de presión, que, al ser detonada por la acción mecánica de la aguja percutora del arma de fuego, produce un aumento de la temperatura que produce la deflagración de la pólvora, generando la acción de un disparo (Converso et al., 2021).

Cuando se realiza un disparo por arma de fuego, se genera una nube expansiva que contienen sustancias sólidas y gaseosas, a las cuales se les denomina residuos de disparo (GSR por sus siglas en inglés, gunshot residue). Las partículas sólidas liberadas están conformadas por: los residuos detonados de manera parcial o total provenientes de las sales contenidas en la cápsula iniciadora de municiones para armas de fuego; residuos total o parcialmente combustiónados de la pólvora; los componentes metálicos del blindaje y núcleo de la munición y residuos metálicos de los componentes del arma de fuego (Converso et al., 2021).

Los residuos de disparo pueden ser de tipo orgánico (OGSR) o de tipo inorgánico (IGSR); los IGSR, están conformados por aleaciones metálicas provenientes principalmente de la cápsula iniciadora de municiones para armas de fuego y los OGSR están conformados por compuestos orgánicos derivados de la pólvora. Para este estudio, las partículas de interés son las derivadas de los IGSR (Converso et al., 2021).

Dependiendo de la casa fabricante de la munición, la mezcla de las sales inorgánicas contenida en la cápsula iniciadora podrá variar en su composición; sin embargo, la mezcla iniciadora comúnmente utilizada, está compuesta por, trinitroresorcinato de plomo, agentes como nitrato de bario, sulfuro de antimonio, goma arábiga, silicato de calcio, nitrocelulosa,

carbón, y polvos metálicos de aluminio, magnesio o sus aleaciones. Debido a sus componentes, entre las partículas que se generan al detonar esta mezcla se encuentran las aleaciones de los metales de las sales que la conforman (Converso et al., 2021).

Existen diversas investigaciones en las cuales se realiza análisis de residuos de disparo mediante técnicas instrumentales.

### ***2.3.2 Fundamentos de las técnicas instrumentales***

Las técnicas instrumentales se refieren a una variedad de métodos y procedimientos utilizados en diversas disciplinas y campos para llevar a cabo mediciones, análisis, investigaciones y experimentos utilizando instrumentos científicos o técnicos específicos. Estas técnicas suelen ser precisas y reproducibles, lo que las hace fundamentales en la investigación y el análisis en campos como la ciencia, la tecnología, la ingeniería y la medicina.

(Skoog, Holler, & Crouch, 2008).

Entre las técnicas instrumentales utilizadas para el análisis de residuos de disparo inorgánicos, destacan diversas metodologías que permiten identificar y cuantificar elementos químicos presentes en los residuos generados por armas de fuego. Estas técnicas incluyen, la Espectroscopia de Absorción Atómica (AA), la Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS), la Microscopía Electrónica de Barrido con Detección de Sispersión de Energía de Rayos X (SEM-EDX), la Espectroscopia de Emisión Óptica (OES), la Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X (XRF) y Análisis por Activación de Neutrones (NAA).

#### **2.3.2.1 Espectroscopia de Absorción Atómica (AA)**

La espectroscopía de absorción atómica es una técnica analítica utilizada en química y ciencias afines para determinar la concentración de elementos metálicos en una muestra líquida o gaseosa. Esta técnica se basa en la capacidad de los átomos de absorber radiación

electromagnética a longitudes de onda específicas cuando están en estados excitados. La espectroscopía de absorción atómica se basa en la absorción de luz por parte de los átomos de un elemento específico en la muestra. Cuando una muestra se atomiza, es decir, se convierte en átomos individuales mediante un proceso de vaporización a alta temperatura, los átomos pueden absorber luz a longitudes de onda específicas. Esta absorción de luz está relacionada con la concentración de ese elemento en la muestra.

Para generar la radiación adecuada, se utiliza una lámpara de cátodo hueco que emite luz a longitudes de onda específicas correspondientes al elemento de interés. Cada elemento tiene líneas espectrales únicas que pueden ser utilizadas para identificarlo y cuantificarlo. La luz emitida por la lámpara de cátodo hueco pasa a través de la muestra atomizada. Si hay átomos del elemento de interés presentes en la muestra, absorberán la luz a las longitudes de onda específicas correspondientes. La cantidad de luz absorbida está relacionada con la concentración de ese elemento en la muestra (Skoog et al., 2008).

#### **2.3.2.2 Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)**

La espectrometría de masas acoplada inductivamente a plasma (ICP-MS), es una técnica analítica avanzada que combina dos tecnologías poderosas: la espectrometría de masas y la espectrometría de plasma acoplada inductivamente. Esta técnica se utiliza para la determinación cuantitativa y cualitativa de una amplia variedad de elementos y sus isotopos en muestras líquidas, sólidas o gaseosas. Es especialmente valiosa en el análisis de trazas de elementos en una amplia gama de aplicaciones. La ICP es una fuente de ionización que se crea mediante la introducción de un gas (generalmente argón) en una antorcha de plasma y la generación de un campo electromagnético de alta frecuencia. Esto produce un plasma extremadamente caliente, con temperaturas que pueden superar los 10,000°C. En este estado, los átomos de la muestra se ionizan, es decir, se convierten en iones cargados.

La muestra que se requiere analizar se introduce en el plasma ICP, donde se descompone en átomos o iones y se ioniza. Los iones generados se caracterizan por su masa y su relación masa/carga ( $m/z$ ). Los iones generados en el plasma se introducen en el analizador de masas. Los iones se detectan y se cuantifican en función de su  $m/z$ . La intensidad de la señal está directamente relacionada con la concentración de los elementos o isótopos en la muestra. La técnica es altamente sensible, lo que permite la detección de trazas de elementos a niveles extremadamente bajos.

La ICP-MS es una técnica analítica extremadamente versátil y precisa que se utiliza en una amplia variedad de campos, desde la investigación medioambiental hasta la geoquímica, la industria farmacéutica y la investigación biomédica. Su capacidad para detectar y cuantificar elementos a niveles de trazas y su versatilidad en términos de tipos de muestras la convierten en una herramienta esencial en la investigación y el análisis científico (Skoog et al., 2008).

### **2.3.2.3 Microscopía Electrónica de Barrido con Detección de Dispersión de Energía de Rayos X (SEM-EDX)**

La Microscopía Electrónica de Barrido con Detección de Dispersión de Energía de Rayos X, MEB-EDX, es una técnica de análisis que combina dos métodos complementarios: la microscopía electrónica de barrido (MEB) y la espectroscopía de dispersión de energía de rayos X (EDX). Esta técnica se utiliza para estudiar la morfología y composición elemental de muestras a una escala microscópica. La MEB es un tipo de microscopía que utiliza electrones para obtener imágenes de alta resolución de la superficie de una muestra. En un microscopio electrónico de barrido, el haz de electrones se enfoca y se dirige hacia la muestra. Cuando los electrones chocan con la superficie de la muestra, interactúan con los átomos y generan una variedad de señales, incluyendo electrones retrodispersados (BSE), electrones secundarios (SE), y rayos X característicos.

Los electrones retrodispersados proporcionan información sobre la topografía y densidad de la muestra, mientras que los electrones secundarios ofrecen detalles sobre la textura y características de la superficie. Además de la obtención de imágenes, el MEB-EDX también utiliza un detector de rayos X para analizar la composición elemental de la muestra. Cuando los electrones del haz interactúan con la muestra, pueden excitar los electrones internos de los átomos, haciendo que estos electrones vuelvan a caer a sus niveles de energía originales y emitan rayos X característicos. Estos rayos X son específicos para cada elemento químico presente en la muestra.

El MEB-EDX es una herramienta extremadamente útil en una variedad de campos, como la ciencia de materiales, la geología, la biología, la metalurgia, la nanotecnología y la investigación forense, entre otros. Permite estudiar la morfología y la composición de las muestras con una gran resolución espacial y proporciona información valiosa sobre la estructura y la composición de materiales a escalas microscópicas, de manera no destructiva o poco invasiva (Skoog et al., 2008).

### **2.3.2.3 Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X (XRF)**

La Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X (XRF) es una técnica analítica utilizada para determinar la composición elemental de una muestra, tanto en términos cualitativos como cuantitativos. Esta técnica se basa en la interacción de los rayos X con la materia, que provoca la emisión de rayos X fluorescentes característicos por parte de los elementos químicos presentes en la muestra.

En la espectrometría de fluorescencia de rayos X, se utiliza una fuente de rayos X, para irradiar la muestra, cuando los rayos X incidentes interactúan con los átomos de la muestra, pueden desplazar electrones de los niveles de energía internos. Esto provoca que los electrones de nivel superior caigan a niveles de energía inferiores, liberando energía en forma de rayos X fluorescentes.

Los electrones en los átomos de diferentes elementos tienen diferencias en sus niveles de energía; cuando los electrones de la muestra caen desde niveles superiores a inferiores después de ser excitados por los rayos X, emiten rayos X fluorescentes con energías específicas, características de los elementos y se utilizan para identificarlos. Los rayos X fluorescentes emitidos por la muestra se recopilan y se dirigen hacia un detector de energía de rayos X. Este detector mide las energías de los rayos X emitidos, lo que permite determinar qué elementos están presentes en la muestra.

La espectrometría de fluorescencia de rayos X se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo la investigación geológica, la metalurgia, el control de calidad industrial, el análisis de materiales arqueológicos y artísticos, el análisis ambiental y la caracterización de materiales en la ciencia de materiales. Es una técnica no destructiva que permite el análisis rápido y preciso de la composición elemental de una muestra sin dañarla, lo que la hace invaluable en numerosos campos científicos y aplicaciones industriales (Skoog et al., 2008).

#### **2.3.2.4 Análisis por Activación de Neutrones (NAA)**

El análisis por activación de neutrones es una técnica analítica que se utiliza para determinar la composición elemental de una muestra, especialmente en términos de la presencia de elementos traza y la concentración de elementos específicos. Esta técnica se basa en la interacción de neutrones con los núcleos atómicos de la muestra, lo que lleva a la activación nuclear y a la emisión de radiación característica que puede ser detectada y analizada.

La muestra que se desea analizar se expone a una fuente de neutrones, que puede ser un reactor nuclear o un acelerador de partículas. Cuando los neutrones inciden en los núcleos atómicos de la muestra, pueden ser absorbidos por algunos núcleos, lo que da lugar a la formación de núcleos radiactivos o isótopos activados; cuando un núcleo atómico absorbe



un neutrón, puede cambiar su estado energético y convertirse en un núcleo radiactivo. Estos núcleos activados pueden ser inestables y liberar radiación en forma de partículas beta, rayos gamma u otras partículas. La radiación emitida es característica del elemento y del isótopo involucrado.

Después de la irradiación, la muestra se retira del irradiador y se coloca en un detector de radiación adecuado. Este detector registra la radiación emitida por los núcleos activados y permite la identificación de los elementos presentes en la muestra.

El análisis por activación de neutrones es una técnica poderosa y versátil que se utiliza en una variedad de aplicaciones, incluyendo la geología, la arqueología, la metalurgia, la ciencia de materiales, la investigación medioambiental y la seguridad nuclear, entre otros. Algunas de las ventajas de esta técnica incluyen su capacidad para analizar una amplia gama de elementos, su sensibilidad para detectar trazas de elementos, y su no destructividad, lo que significa que no daña la muestra durante el análisis. Sin embargo, también tiene algunas limitaciones, como la necesidad de acceso a fuentes de neutrones y la generación de residuos radiactivos que requieren manejo y eliminación adecuados (Skoog et al., 2008).

#### **2.3.2.5 Espectroscopia de Descomposición Inducida por Láser (LIBS)**

Es una técnica analítica que se utiliza para determinar la composición química de un material, en estado sólido, líquido o gaseoso. Esta técnica emite un pulso láser de alta energía y corta duración sobre la muestra que se desea analizar. La energía del láser es suficiente para vaporizar y ionizar una pequeña porción de la muestra, creando un plasma caliente y altamente ionizado en la superficie de la muestra. Este plasma contiene átomos e iones de los elementos que componen la muestra; cuando el plasma se enfría y se desexcita, emite luz en forma de radiación electromagnética. La luz emitida por el plasma se recopila y se analiza utilizando un espectrómetro para determinar las longitudes de onda y las intensidades

de las líneas espectrales. Cada elemento y compuesto químico tiene líneas espectrales únicas que permiten su identificación.

Los datos espectroscópicos obtenidos se comparan con bibliotecas de espectros conocidos para identificar los elementos y compuestos presentes en la muestra. Además, la intensidad de las líneas espectrales se utiliza para cuantificar la concentración de los elementos.

La LIBS es una técnica analítica versátil que se utiliza en diversas aplicaciones, como análisis de materiales, control de calidad industrial, análisis ambiental y estudios geológicos. Es especialmente adecuada para muestras sólidas y líquidas, y puede proporcionar resultados rápidos y precisos. Sin embargo, la LIBS puede requerir cierta preparación de la muestra y calibración adecuada para obtener mediciones cuantitativas precisas (Hahn & Omenetto, 2012).

#### **2.3.2.6 Metodologías de muestreo para recolección de residuos de disparo inorgánicos**

La recolección de las muestras para su posterior análisis es crucial en los análisis forenses, ya que el método de recolección está directamente ligado al tipo de análisis que se realizará.

El de muestreo para análisis de residuos de disparo inorgánicos, se puede clasificar en dos grupos; métodos húmedos y por métodos secos; la elección de un método u otro dependerá de la técnica instrumental que se utilizará para realizar el análisis. Los métodos húmedos se realizan a partir de lavados o frotis utilizando mezclas ácidas como soluciones de ácido clorhídrico y ácido nítrico. Los métodos secos se implementan utilizando insumos físicos que a través de la adherencia puedan recolectar las muestras por transferencia de una superficie a otra, un ejemplo de estos insumos son las cintas adhesivas de carbono (Priya & Suman, 2021). Entre los métodos húmedos se pueden encontrar: lavado con soluciones

ácidas, consiste en lavar la región o superficie de estudio con soluciones diluidas de ácido nítrico y/o ácido clorhídrico, este lavado se realiza sobre las manos o sobre materiales sólidos; el residuo de este lavado será la muestra que se someterá a preparación para su posterior análisis. Frotis con hisopos o algodones, a partir de este método se humedecen algodones o hisopos con soluciones de ácido nítrico y/o ácido clorhídrico, los cuales se frotran sobre la superficie de las manos, los algodones o hisopos ya recolectados serán las muestras que pasarán a proceso de digestión o preparación para su posterior análisis (Priya & Suman, 2021). Los métodos secos se pueden aplicar como: levantamiento con cintas, utilizando cintas adhesivas especiales se realizan percusiones sobre las manos, prendas de vestir o superficie de interés a muestrear, sobre esta cinta quedan adheridos los indicios que en algunos casos pasarán a preparación de muestras y en otros más comunmente utilizados serán analizados directamente. Otro método seco es la recolección por vacío, la muestra que debe recolectarse se aspira con un sistema de vacío y se recoge en una trampa filtrada acoplada al sistema, esta trampa puede ser un filtro de celulosa, el cual posteriormente será sometido a un método de preparación de muestra para su posterior análisis o en algunos casos será directamente analizado, esta técnica de recolección se aplica sobre prendas de vestir (Priya & Suman, 2021).

### **2.3.2.7 Metodologías de preparación de muestras para análisis de residuos de disparo inorgánicos**

Una vez recolectados la muestra, dependiendo de la técnica instrumental que se vaya a utilizar para su análisis y caracterización, se debe escoger una metodología adecuada para su preparación, controlando parámetros de interferencias, contaminación cruzada o degradación de la muestra.

Para análisis mediante espectroscopía de absorción atómica se utilizan métodos de recolección húmedo y la preparación de muestras se realiza por digestión ácida utilizando

ácido nítrico (Bautista & Larico, 2018). Para análisis por espectrometría de masas acoplada inductivamente a plasma, la recolección de la muestra se realiza por vía húmeda y la preparación de la muestra se lleva a cabo a partir de digestión ácida con ácido nítrico, con agitación, calentamiento (Costa et al., 2016) y reflujo (Menking et al., 2021). Para análisis mediante espectroscopía de fluorescencia de rayos X, la preparación de la muestra dependerá del método de recolección que se haya utilizado, para las muestras que son levantadas mediante métodos húmedos, éstas deben ser lavadas con soluciones de ácido nítrico, el lixiviado obtenido se coloca sobre los soportes del XRF, se evapora el líquido y se analiza el precipitado (Sarapurab, 2019). Si el método de recolección de muestras fue por métodos secos, las muestras pueden ser analizadas directamente en los portamuestras del equipo sin ser sometidas a un proceso de preparación (Schumacher & Ludwig, 2010).

En el caso de los análisis mediante microscopía electrónica de barrido con dispersión de energía de rayos X, las muestras son recolectadas por adherencia en los portamuestras diseñados para esta técnica instrumental y son analizados directamente en el equipo sin ningún tipo de preparación de muestras (Chohra et al., 2015), (Redoute et. al, 2020). Así mismo, en el caso de realizar el análisis de residuos de disparo mediante análisis por activación de neutrones, las muestras son recolectadas directamente en los portamuestras con cinta adhesiva de carbono para su análisis sin procesos de preparación de muestras (Chohra et al., 2015). Para el análisis mediante LIBS, las muestras pueden ser analizados directamente en la superficie de las prendas de vestir o ser recolectadas sobre cintas de carbono características y sobre estas realizar el análisis (Trejos, 2021).

#### **2.3.2.8 Caracterización de los residuos de disparo inorgánicos**

En el caso de los análisis que se realizan mediante MEB-EDX, existe la norma internacional: ASTM E1588-20 “Standard Practice for Gunshot Residue Analysis by Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray Spectrometry”, estandariza el

estudio de residuos de disparo mediante MEB-EDX. Ésta ratifica que los resultados de los estudios de GSR se deben informar teniendo en cuenta su morfología y su composición química elemental, sin que la morfología sea un criterio excluyente, ya que la misma puede ser variable. La composición química elemental es la propiedad más significativa de diagnóstico para determinar si una partícula podría ser IGSR.

La norma indica que las partículas características de IGSR, son aquella en las cuales su formación sólo está asociadas a la descarga de un arma de fuego, tendrán la siguiente composición elemental Plomo (Pb), Bario (Ba) y Antimonio (Sb).

Así mismo, se definen las partículas consistentes con IGSR, las cuales pueden estar asociadas con la descarga de un arma de fuego, pero también pueden tener otras fuentes de formación no relacionadas con la descarga de un arma de fuego, tendrán una de las siguientes composiciones elementales: Plomo (Pb), Bario (Ba), Calcio (Ca) y Silicio (Si); Bario (Ba), Calcio (Ca) y Silicio (Si); Antimonio (Sb) y Bario (Ba); Plomo (Pb) y Antimonio (Sb); Bario (Ba) y Aluminio (Al); Plomo (Pb) y Bario (Ba).

En este sentido, la norma define las partículas comunmente asociadas con IGSR, como aquellas que pueden estar relacionadas con la descarga de un arma de fuego, pero también pueden tener otras fuentes no relacionadas con la descarga de un arma de fuego y sólo son consideradas cuando estén en presencia de partículas características y/o consistentes. Tendrán las siguientes composiciones elementales: Plomo (Pb); Bario (Ba); Antimonio (Sb).

Existen municiones, libres de plomo o clasificadas como no tóxicas, en este caso la norma clasifica los siguientes tipos de partículas: Las partículas características con IGSR libres de plomo/no tóxicas, son aquella en las cuales su formación sólo está asociadas a la descarga de un arma de fuego con iniciadores libres de plomo/no tóxicas, tendrán la

siguiente composición elemental: Gadolinio (Gd), Titanio (Ti) y Zinc (Zn); Galio (Ga), Cobre (Cu) y Estaño (Sn) (ASTM E1588-20).

En el Ecuador el estudio que se realiza hace referencia a las partículas características IGSR con la composición química elemental de Plomo (Pb), Bario (Ba) y Antimonio (Sb).

Respecto al análisis de residuos de disparo mediante otras técnicas instrumentales se tiene que a partir de análisis por activación de neutrones, los elementos estudiados son Bario (Ba), Antimonio (Sb), Zinc (Zn), Hierro (Fe) y Bromo (Br) (Chohra y colaboradores, 2015) No se realiza análisis de Plomo a través de esta técnica instrumental debido a las interferencias generadas.

Bautista & Larico, (2018) analizaron a partir de espectroscopía de absorción atómica muestras en las que caracterizaron Plomo (Pb), Bario (Ba) y Antimonio (Sb) de manera cuantitativa (Bautista & Larico, 2018)

(Menking et al., 2021), realizaron análisis de residuos de disparo inorgánicos a través de espectrometría de masas acoplada inductivamente a plasma, caracterizando de manera cuantitativa los elementos químicos Plomo (Pb), Bario (Ba) y Antimonio (Sb) (Menking et al. 2021). (Sarapurab, 2019), realizaron análisis de residuos de disparo inorgánicos, identificando espectros característicos de Plomo (Pb), Bario (Ba) y Cobre (Cu) a través de espectroscopía de fluorescencia de rayos x, reportan que no es posible reportar el antimonio a partir de esta técnica con la metodología de trabajo utilizada, debido a las interferencias producidas por el calcio en la matriz de la muestra (Sarapurab, 2019).

#### **2.3.2.9 Estudios realizados para el análisis de residuos de disparo inorgánicos**

Schumacher, (2010), realizó el trabajo titulado Investigación de patrones de residuos de disparos mediante técnicas milli-XRFT: Primeras experiencias en casos prácticos; en esta investigación los autores realizaron los análisis mediante un espectrómetro de fluorescencia mili-rayos X (M-xRF) con análisis automatizado para adquirir mapeos XRF de áreas

relativamente grandes (hasta 20 x 20 cm) en resolución milimétrica; los análisis se realizaron directamente sobre las prendas de vestir. Los autores concluyeron que la técnica de XRF resultó ser un complemento útil para los métodos convencionales en el análisis de residuos de disparo (GSR), particularmente en la estimación distancia de disparo y la caracterización de municiones que contienen imprimaciones sin plomo o el análisis de prendas de vestir manchadas de sangre (Schumacher & Ludwig, 2010).

Chohra et al., (2015), realizaron el estudio titulado Estudio de residuos de disparo por NAA y ESEM/EDX utilizando varios tipos de armas y municiones. Para el estudio realizaron pruebas de disparo utilizando diferentes tipos de armas y municiones para recolectar muestras de residuos de disparo (GSR). Las muestras fueron recolectadas mediante adherencia en dispositivos de recolección de muestras para análisis mediante microscopía electrónica de barrido; las muestras recolectadas fueron analizadas directamente sin preparación física o química.

El análisis de las muestras revelaron la presencia de diversas partículas metálicas, proporcionando información sobre la composición de las partes del cartucho. La distribución espacial de los residuos dependía del arma utilizada y de la mano que operaba el disparo. Se encontró que el método SEM/EDX era más adecuado para este tipo de análisis, aunque el NAA siguió siendo un método complementario. La presencia de partículas de residuos de disparo en individuos adyacentes a la zona de acción de los disparos alertó sobre los riesgos de contaminación cruzada. El conteo gamma detectó elementos específicos en las muestras, como el antimonio (Sb), el hierro (Fe), el bario (Ba) y el bromo (Br), lo que los diferenció de las impurezas que se encuentran en los soportes en blanco, sin embargo a través de esta técnica no se puede caracterizar el plomo (Chohra et al., 2015)

Bautista & Larico, (2018), realizaron el trabajo titulado Determinación de Residuos de Disparo por Arma de Fuego mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica, bajo

condiciones controladas realizaron disparos con municiones convencionales, recolectaron las muestras de la superficie de interés mediante la técnica de frotis con hisopos humedecidos en ácido nítrico, prepararon la muestra mediante un proceso de digestión ácida para su análisis mediante espectrofotometría de absorción atómica. Los elementos medidos fueron Plomo (Pb), Bario (Ba) y Antimonio (Sb), concluyeron que la espectroscopía de absorción atómica es una técnica sensible y específica para la determinación de residuos de disparo por arma de fuego (Bautista & Larico, 2018).

Sarapurab, (2019), realizaron el trabajo titulado Aplicación de la fluorescencia de rayos X a la determinación de residuos de disparo. El análisis examinó específicamente la relación entre tres elementos: cobre, bario y plomo. A partir de esta técnica no se analizó el antimonio (Sb), por las interferencias que causa con el calcio (Ca) presente en la matriz sobre la cual se recolectaron las muestras. El procedimiento de muestreo se realizó mediante frotis con hisopos de algodón impregnados en ácido nítrico aplicados en el dorso de la mano del tirador.

El artículo mencionó la importancia de la GSR en el análisis forense, ya que puede aportar pruebas relacionadas con una posible distancia de tiro o vincular a una persona en particular con un delito. Los autores concluyen que esta técnica instrumental demuestra un rendimiento de clasificación muy elevado para la detección de residuos de pólvora (Pb-Ba-Cu) en el dorso de la mano (Sarapurab, 2019).

Redoute et al., (2020), realizaron un trabajo titulado, recolección y análisis combinado de residuos inorgánicos (IGSR) y orgánicos (OGSR), en la investigación los autores realizaron la recolección de residuos de disparo utilizando tres protocolos de recolección no invasivos, utilizando cinta adhesiva de carbono. El análisis de IGSR se realizó mediante microscopía electrónica de barrido con detección de dispersión de energía de rayos X (MEB-EDX), para el análisis de OGSR el análisis mediante espectrometría de



masas con cromatografía líquida de ultra alta eficiencia (UPLC-MS). En la investigación los autores concluyeron que mediante la misma muestra se puede realizar el análisis de IGSR y posteriormente el de OGSR, la esventaja de este tipo de recolección está asociada a la preparación de muestras para el análisis de OGSR, ya que implica digestión completa de la muestra con acetonitrilo, metanol y ácido fórmico (Redoute et al., 2020)

Menking et al., (2021), realizaron una investigación titulada Desarrollo de estándares de micropartículas de residuos de disparo inorgánicos a medida (IGSR) y caracterización con un enfoque de múltiples técnicas. En este trabajo los autores obtuvieron los estándares de residuos de disparo mediante la descarga de diferentes municiones con plomo y sin plomo en condiciones controladas y creando suspensiones en un medio orgánico.

La caracterización de los estándares de micropartículas IGSR se realizaron mediante las técnicas instrumentales Microscopía Electrónica de Barrido-Espectroscopía de Dispersión de Energía de Rayos X (SEM-EDX), Espectroscopía de Descomposición Inducida por Láser (LIBS) y Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS). Realizaron la recolección de muestras por métodos húmedos, y la preparación de acuerdo a la técnica instrumental a utilizar; para el análisis mediante ICP-MS la preparación de la muestra se realizó mediante digestión ácida, con reflujo y temperatura; para los análisis mediante MEB-EDX y LIBS, no se realizó preparación de muestras, las muestras fueron soportadas directamente en los portamuestras para su análisis.

Los autores concluyeron que la LIBS proporcionó información complementaria sobre la composición elemental de las micropartículas y confirmó la presencia de elementos detectados por las otras técnicas, la caracterización del tamaño de partículas únicamente se puede realizar mediante MEB-EDX, los tamaños de partículas encontrados fueron de 0,5  $\mu\text{m}$  a 10  $\mu\text{m}$ . Los elementos caracterizados para las municiones convencionales fueron plomo (Pb), bario (Ba) y antimonio (Sb) (Menking et al., 2021).

## **Capítulo 3**

### **Diseño Metodológico**

En el desarrollo de este capítulo se estudiaron los enfoques, métodos, técnicas e instrumentos que se utilizaron en esta investigación, los cuales fueron aplicados a la muestra de la población en relación con el objetivo principal y específicos. Así mismo, se analizaron los conceptos y definiciones de diferentes autores que facilitan el desarrollo de esta investigación.

#### **3.1 Tipo y característica de la investigación**

La investigación es un proceso teórico y práctico que comprende un conjunto de técnicas implementadas sistemáticamente, con la finalidad de profundizar sobre un tema, y ampliar o desarrollar el conocimiento, con interés científico, humanístico, social o tecnológico (Coelho, 2021).

En el tema que se desarrolla el método aplicado es con la finalidad de analizar de la mejor manera sobre las técnicas instrumentales para el análisis de residuos de disparo inorgánicos, también se podría mencionar que se puede extender o desarrollar el conocimiento, desde el punto de vista científico.

#### **3.2 Enfoque de la Investigación**

La presente investigación fue diseñada, con un enfoque mixto, ya que éste se ajusta a las necesidades de la investigación. Para estudiar el enfoque mixto, se definen los enfoques cuantitativo y cualitativo así como la relación con la investigación realizada.

##### **3.2.1 Enfoque Cuantitativo**

Este enfoque se basa en la recopilación y el análisis de datos para dar respuesta a las interrogantes de la investigación. La investigación cuantitativa se emplea en las áreas

científicas ya que su metodología basa los resultados en datos medibles o cuantificables. (Coelho, 2021)

El enfoque cuantitativo fundamenta los resultados en datos medibles; es así que desde el inicio del estudio los objetivos a investigar son específicos y delimitados. En el desarrollo de la investigación planteada, se aplicó parte del enfoque cuantitativo utilizando el método estadístico, a partir de la aplicación de encuestas, para estudiar el conocimiento de la aplicación de las técnicas instrumentales para análisis de residuos de disparo inorgánicos en el Ecuador.

### **3.2.2 Enfoque Cualitativo**

Este enfoque se utiliza para el manejo de datos descriptivos, se fundamenta en la expresión oral y escrita desde y hacia las personas, además es la conducta observable, sin medición numérica (Blasco, 2007). En la presente investigación del enfoque cualitativo se tomarán el método etnográfico a través de la entrevista para estudiar el análisis de residuos de disparo inorgánicos en el Ecuador, con la contribución de los especialistas que realizan estos análisis.

### **3.2.3 Enfoque Mixto**

Como su nombre lo indica es un método que integra el enfoque cualitativo y el cuantitativo, con la finalidad de obtener una visión general de la investigación objeto de estudio. A partir de este enfoque se recolecta y analiza la información cuantitativa y cualitativa de un mismo estudio (Tashakkori y Teddlie, 2003, citado en (Barrantes, 2014), p.100).

Es así que en este estudio se aplicaron encuestas, entrevistas y una minuciosa revisión bibliográfica con la finalidad de estudiar las técnicas instrumentales utilizadas para análisis de residuos de disparo inorgánicos.

### **3.3 Método**

Los métodos que se utilizarán en esta investigación se describen a continuación:

#### **3.3.1 Método inductivo**

El método inductivo general es un método sistemático para analizar datos de evaluación cualitativa, proporcionando un enfoque simple y directo para derivar hallazgos. (Thomas, 2006). En esta investigación se aplica el método inductivo porque se desarrollan las conclusiones basadas en observaciones y datos específicos.

#### **3.3.2 Método estadístico**

Es un procedimiento para el tratamiento de datos cualitativos y cuantitativos de una investigación. Las características de este proceso metodológico dependen del diseño de investigación elegido para demostrar resultados de investigación comprobables. Las etapas del método estadístico son: recolección (medición), recuento (cómputo), presentación, síntesis y análisis (Obregón, 2016). En conclusión, el objetivo de los métodos estadísticos es recopilar y analizar cuantitativamente un conjunto de datos para analizar una pregunta o situación específica.

En esta investigación, la recopilación de datos se llevó a cabo a partir de un cuestionario de encuesta, el recuento de estos resultados se presenta en gráficos, los cuales fueron analizados en función de los objetivos planteados.

##### **3.3.2.1 Muestra**

A partir del método estadístico y los datos que se esperan recolectar, se debe definir la muestra a estudiar.

Una muestra estadística se refiere a un subconjunto de una población que se selecciona para su análisis con el fin de hacer inferencias sobre toda la población (Mair, 2017).

Para la población en estudio, se debe tomar una muestra para definir a cuántos y a quienes se aplicará la encuesta. El tamaño de la muestra se calcula a partir de la calculadora

estadística, utilizando el tamaño total de la población, un nivel de confianza del 95%, y margen de error de 5%, específicamente para el caso de estudio, la muestra es de 35 servidores policiales del área de criminalística de las Provincias de Cotopaxi y Chimborazo, y el tipo de muestra será probabilística aleatoria, ya que todos los servidores policiales del área de criminalística de las Provincias mencionadas tienen iguales posibilidades de ser escogidos para el estudio.

### **3.4 Técnicas de Investigación**

#### **3.4.1 Recolección bibliográfica**

La investigación bibliográfica es una herramienta clave para apoyar la investigación y el estudio científico, involucrando la catalogación y organización de los recursos bibliotecarios (Maggio et al., 2018)

Esta técnica ha sido implementada desde el inicio del estudio, desde el planteamiento del problema se ha realizado una revisión bibliográfica minuciosa, consultando bases de datos actualizadas, que permitieran profundizar en el tema y estudiarlo desde el punto de vista teórico.

#### **3.4.2 Encuesta**

La encuesta es una técnica de investigación utilizada para recopilar datos de los participantes haciéndoles una serie de preguntas cerradas, relacionadas con el tema en estudio (Dwi, 2018).

La encuesta es una técnica conexas al método estadístico ya que ofrece resultados medibles, utiliza como instrumento el cuestionario de encuesta que incluye preguntas cerradas estandarizadas, en el cual todos los participantes tengan las mismas opciones de respuesta. A partir de esta técnica se realizarán mediciones objetivas de la realidad a fin de obtener resultados que se puedan presentar de una manera gráfica.

En la presente investigación se aplicará el cuestionario de encuesta al personal del de las Unidades de Apoyo Criminalístico de la Provincias de Cotopaxi y Chimborazo, con la finalidad de relacionar los resultados con los objetivos planteados.

### **3.4.3Entrevista**

Una entrevista es un método de investigación que se utiliza comúnmente como herramienta de recolección de datos en métodos de investigación cualitativa, para obtener información sobre un tema específico; implica una conversación entre un entrevistador y un entrevistado, donde el entrevistador hace preguntas y el entrevistado brinda respuestas. Las entrevistas se pueden realizar en diversos formatos, como entrevistas estandarizadas (formales o estructuradas), no estandarizadas (informales o no directivas) o semi-estandarizadas (orientadas-semiestructuradas o enfocadas). El objetivo de una entrevista es recopilar datos y obtener información sobre las experiencias, perspectivas y opiniones del entrevistado (Dursun, 2023).

Para el desarrollo de esta investigación se realizaron dos entrevistas estructuradas, una a la responsable de la gestión operativa microscopía electrónica de barrido del Servicio Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses y otra al jefe de grupo de la sección evitencia traza de la Jefatura Zonal de Criminalística DMQ, a través de esta técnica se analizará y recolectará información sobre las técnicas instrumentales para análisis de residuos de disparo inorgánicos que se utilizan en Ecuador.

### **3.5Instrumentos**

En la metodología de esta investigación se emplearán los siguientes instrumentos:

#### **3.5.1Cédula de entrevista a la responsable de la gestión operativa Microscopía**

##### **Electrónica de Barrido del SNMLCF**

1. Nombre
2. ¿Cuál es su Profesión u Oficio?

3. ¿En qué institución labora?
4. ¿Qué cargo ocupa?
5. ¿Hace cuánto tiempo realiza análisis de residuos de disparo inorgánicos?
6. ¿A partir de qué técnica instrumental analiza los residuos de disparo inorgánicos?
7. ¿Podría explicar el fundamento técnico de la aplicación de esta técnica instrumental para el análisis de residuos de disparo inorgánicos?
8. ¿Conoce otras técnicas instrumentales a partir de las cuales se pueda realizar análisis de residuos de disparo inorgánicos, podría indicar por qué estas técnicas no se utilizan en Ecuador?
9. ¿Desde su punto de vista técnico científico, cuál es la mejor técnica para análisis de residuos de disparo inorgánicos y por qué?
10. ¿Qué factores considera que se deben tomar en cuenta al momento de escoger una técnica instrumental para análisis de residuos de disparo inorgánicos en el Ecuador?

### **3.5.2 Cédula de entrevista para el jefe de grupo de Evidencia Traza de la Jefatura**

#### **Zonal de Criminalística DMQ**

1. Nombre
2. ¿Cuál es su Profesión u Oficio?
3. ¿En qué institución labora?
4. ¿Qué cargo ocupa?
5. ¿Qué tipo de residuos de disparo analiza?
6. ¿A partir de qué técnica instrumental analiza los residuos de disparo inorgánicos?
7. ¿Por qué utilizan esta técnica instrumental para realizar el análisis de residuos de disparo?

8. ¿Cuáles técnicas instrumentales se pueden utilizar para realizar análisis de residuos de disparo inorgánicos, podría indicar por qué estas técnicas no se utilizan en Ecuador?

9. ¿Considera que la técnica instrumental que usted utiliza podría estar ubicada a nivel nacional, es decir un laboratorio en cada provincia, (Por qué)?

10. ¿Cualquier técnica instrumental que se utilice para análisis de residuos de disparo inorgánicos podría estar ajustada al Código orgánico integral penal?

### 1.3.1 Cuestionario de encuesta

1. ¿Qué tipo de residuos de disparo se analizan en el Ecuador?
2. ¿Conoce la técnica Instrumental mediante la cual se realizan análisis de residuos de disparo en el Ecuador?
3. ¿Ha recolectado indicios para análisis de residuos de disparo?
4. Si su respuesta anterior es afirmativa, indique lo siguiente:
5. La recolección de indicios para los análisis de residuos de disparo que se realizan en el Ecuador es:
  - Invasiva
  - No invasiva
6. Si para realizar la recolección de indicios para análisis de residuos de disparo, se realiza un frotis de manos con un hisopo impregnado en ácido clorhídrico-ácido nítrico, la recolección sería de tipo
  - Invasiva
  - No invasiva



7. Desde el enfoque criminalístico y en cumplimiento con el Código Orgánico Integral Penal, qué tipo de técnica ofrece mayores ventajas para análisis de residuos de disparo

- Técnicas instrumentales cuantitativas, no específicas para aleaciones, con preparación de muestras destructivas que no permiten reanálisis o contraperitajes
- Técnicas instrumentales cualitativas, específicas para aleaciones, que no requieren preparación de muestras y permiten reanálisis o contraperitajes

8. Indique cuál de las siguientes técnicas se utiliza para realizar análisis de residuos de disparo en el Ecuador

- Microscopía Electrónica de Barrido con Detección de Dispersión de Energía de Rayos X (MEB/EDX)
- Análisis por Activación de Neutrones (NAA)
- Espectroscopía de Absorción Atómica (AA)
- Espectrometría de Masas con Plasma de Argón Acoplado Inductivamente (ICP-MS)

## Capítulo 4

### Análisis y Discusión de los Resultados

#### 4.1 Análisis Descriptivo de los Resultados

Las técnicas instrumentales en química analítica son métodos de análisis químico que utilizan instrumentos especializados para medir propiedades físicas y químicas de sustancias y muestras. Estas técnicas se diferencian de los métodos químicos clásicos en que dependen en gran medida de la instrumentación para realizar mediciones precisas y sensibles. Las técnicas instrumentales son ampliamente utilizadas en la química analítica y otras disciplinas científicas debido a su capacidad para proporcionar datos cuantitativos y cualitativos de alta calidad.

En la investigación realizada se estudiaron técnicas analíticas que tuvieran antecedentes en el análisis de residuos de disparo inorgánicos. En la Tabla 1, se resumen estas técnicas, su funcionamiento, ventajas y desventajas desde el punto de vista analítico.

**Tabla 1** Técnicas instrumentales para análisis de residuos de disparo inorgánicos.

<b>TÉCNICAS INSTRUMENTALES PARA ANÁLISIS DE RESIDUOS DE DISPARO INORGÁNICOS</b>			
<b>Técnica</b>	<b>Principio de funcionamiento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Espectroscopia de Absorción Atómica (AA)	Medición de absorción de radiación por metales	Alta sensibilidad para inorgánicos	Limitada a elementos específicos, no permite visualizar partículas individuales, necesita preparación compleja de la muestra
Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)	Ionización y medición de relación masa-carga de elementos inorgánicos	Alta sensibilidad y capacidad para múltiples elementos	Requiere equipos y mantenimiento costosos, necesita preparación compleja de la muestra
Microscopía Electrónica de Barrido con Energía Dispersiva de Rayos X (SEM-EDX)	Observación de partículas y análisis de composición elemental	Análisis no destructivo. Permite visualización de partículas individuales	Técnica no cuantitativa para superficies irregulares.
Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X (XRF)	Medición de emisión de rayos X por elementos presentes	Análisis no destructivo, detección simultánea	Menor sensibilidad para elementos

Análisis de Neutrones	por Medición de la radiación característica de los radios nucleidos formados al irradiar materiales con neutrones	de la Análisis destructivo, cualitativa y cuantitativa	múltiples no técnica y	ligeros, limitado a análisis superficial Interferencia provocada por otros elementos presentes en la muestra, generación de residuos radioactivos.
Espectroscopia de Descomposición Inducida por Láser (LIBS)	Determinación de las longitudes de onda y las intensidades de las líneas espectrales para identificación de elementos	Análisis destructivo, cualitativa y cuantitativa, detección simultánea de múltiples elementos	no técnica y	Interferencias por efecto matriz o por solapamiento de elementos químicos en la muestra. La intensidad del láser puede causar daños en la muestra.

En este orden de ideas, una vez estudiados los fundamentos de las técnicas instrumentales que tienen aplicaciones para análisis de residuos de disparo inorgánicos, se concluye que se deben tomar en cuenta las capacidades de las técnicas instrumentales para el tipo de análisis que se desea realizar, en el caso de la investigación realizada, la aplicación es en el área de criminalística y ciencias forenses. La elección de una técnica instrumental para análisis forense debe realizarse cuidadosamente y tener en cuenta una serie de factores clave para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados. Algunos de los factores que deben considerarse al seleccionar una técnica instrumental para análisis forense incluyen:

La naturaleza de la muestra, ya que la composición y el estado físico de la muestra pueden influir en la elección de la técnica adecuada.

El tipo de análisis requerido, se debe determinar el tipo de información que se necesita obtener de la muestra, identificación de sustancias químicas específicas, la cuantificación de elementos, entre otros. La técnica seleccionada debe ser capaz de proporcionar los datos necesarios.

La sensibilidad y límites de detección, se debe evaluar la sensibilidad de la técnica para detectar trazas de compuestos o elementos en la muestra. Los límites de detección deben ser adecuados para los niveles de concentración esperados en la muestra forense.

La técnica debe ser lo suficientemente específica como para distinguir entre sustancias o elementos similares. Esto es esencial en análisis forenses donde la identificación precisa es crucial. Se debe verificar si la técnica es compatible con el tipo de evidencia forense que se analizará. Algunas técnicas son más adecuadas para ciertos tipos de evidencia, como muestras biológicas, balísticas, químicas, etc.

Así mismo, se debe determinar el tiempo de análisis, si se requiere un análisis rápido en tiempo real o si un tiempo de respuesta más largo es aceptable. Esto puede variar según el tipo de investigación forense y las circunstancias del caso.

En el área forense en la medida de lo posible, es importante que la técnica no dañe o altere la muestra de manera significativa, especialmente si se trata de evidencia que debe ser preservada para futuras investigaciones o juicios.

El tamaño y disponibilidad de la muestra, se debe considerar para el análisis, ya que algunas técnicas requieren volúmenes significativos, mientras que otras pueden funcionar con muestras muy pequeñas.

Por otra parte se debe tomar en cuenta el equipamiento y recursos disponibles; la disponibilidad de la instrumentación y el personal capacitado para realizar el análisis. Esto incluye la inversión en equipo y la capacitación necesaria para utilizar la técnica. Los costos asociados con la adquisición, operación y mantenimiento del equipo necesario para la técnica. Esto puede incluir la inversión inicial, consumibles y otros gastos relacionados.

La técnica debe ser reproducible y que se haya validado para su aplicación específica en análisis forense. La validación es esencial para garantizar la confiabilidad de los

resultados, en cumplimiento con las normativas y regulaciones aplicables en análisis forense. La técnica seleccionada debe cumplir con los estándares y requisitos legales.

Considerando estos factores estos factores se realizó una evaluación de las investigaciones realizadas respecto al análisis de residuos de disparo inorgánicos a través de técnicas instrumentales, en este caso se realizó un cuadro resumen de la aplicación de las técnicas descritas con anterioridad específicamente para la aplicación del análisis de IGSR (Tabla 2).

**Tabla 2** Aplicación de las técnicas instrumentales para análisis de residuos de disparo inorgánicos.

<b>TÉCNICAS INSTRUMENTALES PARA ANÁLISIS DE RESIDUOS DE DISPARO INORGÁNICOS</b>			
<b>Técnica</b>	<b>Método de recolección</b>	<b>Método de Preparación de Muestras</b>	<b>Resultado obtenido</b>
Espectroscopia de Absorción Atómica (AA)	Frotis mediante hisopos impregnados con ácido nítrico (Bautista & Larico, 2018)	Digestión ácida (Bautista & Larico, 2018).	Análisis cuantitativo de cada elemento (Bautista & Larico, 2018), no genera un espectro característico ni la morfología de las partículas encontradas.
Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)	Frotis mediante hisopos impregnados con ácido nítrico (Costa et al., 2016) y (Menking et al., 2021).	Digestión ácida (Costa et al., 2016), con reflujo y temperatura (Menking et al., 2021).	Análisis cuantitativo de cada elemento y algunos de sus isótopos (Costa et al., 2016) y (Menking et al., 2021), no genera un espectro característico ni la morfología de las partículas encontradas.
Microscopía Electrónica de Barrido con Detección de Dispersión de Energía de Rayos X	Recolección mediante cintas adhesivas de carbono (Chohra et al.2015), (Costa et al., 2016), (Redoute et al., 2020) y (Menking et al., 2021).	No requiere preparación de las muestras una vez recolectadas en los dispositivos stubs, el análisis se realiza directamente sobre los dispositivos (Chohra et al., 2015), (Costa et al., 2016), (Redoute et al.,	Genera una micrografía de la muestra y el espectro característico de la misma, demostrando la presencia de los elementos característicos en aleación en cada partícula encontrada.

Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X (XRF)	Recolección invasiva mediante frotis humedecido con ácido nítrico (Sarapurab, 2019). No requiere recolección en las prendas de vestir (Schumacher & Ludwig, 2010).	2020) y (Menking et al., 2021). Digestión ácida de la muestra (Sarapurab, 2019). No requiere preparación de muestras en las prendas de vestir (Schumacher & Ludwig, 2010).	Generación de un espectro característico de residuos de disparo inorgánicos, sin poder identificar el antimonio debido al efecto matriz (Sarapurab, 2019). No genera imagen de las partículas características de IGSR, pero si un mapa de su distribución (Schumacher & Ludwig, 2010). Generación de un espectro característico de residuos de disparo inorgánicos, generación de residuos radioactivos, no se genera una imagen de las partículas características de IGSR ni de su distribución (Chohra et al., 2015). Generación de un espectro característico de residuos de disparo inorgánicos, no genera imagen de las partículas características de IGSR, muestras (Menking et al., 2021), pero si un mapa de su distribución (Trejos, 2021).
Análisis por Activación de Neutrones	Recolección no invasiva mediante cintas adhesivas de carbono (Chohra et al., 2015).	No requiere preparación de muestras (Chohra et al., 2015).	Generación de un espectro característico de residuos de disparo inorgánicos, no genera imagen de las partículas características de IGSR ni de su distribución (Chohra et al., 2015). Generación de un espectro característico de residuos de disparo inorgánicos, no genera imagen de las partículas características de IGSR, muestras (Menking et al., 2021), pero si un mapa de su distribución (Trejos, 2021).
Espectroscopia de Descomposición Inducida por Láser (LIBS)	Recolección no invasiva mediante cintas adhesivas de carbono, en las prendas de vestir no requiere recolección (Menking et al., 2021). y (Trejos, 2021)	No requiere preparación de muestras (Menking et al., 2021) y (Trejos, 2021).	Generación de un espectro característico de residuos de disparo inorgánicos, no genera imagen de las partículas características de IGSR, muestras (Menking et al., 2021), pero si un mapa de su distribución (Trejos, 2021).

Tomando en cuenta el cuadro resumen del comportamiento de las técnicas instrumentales para el análisis de IGSR, la caracterización de las partículas IGSR en municiones convencionales y la normativa vigente en el Ecuador; sólo las técnicas no destructivas y sin recolección invasiva serían aplicables en el Ecuador para el análisis de

IGSR. Las técnicas instrumentales que cumplen con estos factores son Microscopía Electrónica de Barrido con Detección de Dispersión de Energía de Rayos X (MEB-EDX), Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X (XRF), Análisis por Activación de Neutrones (NAA) y Espectroscopia de Descomposición Inducida por Láser (LIBS).

Por otra parte, es importante tomar en cuenta que los únicos análisis normalizados para IGSR son los realizados mediante MEB-EDX, los cuales están estandarizados mediante la norma técnica internacional ASTM E1588-20; así mismo, el análisis mediante MEB-EDX es el único análisis instrumental que ofrece resultados químicos y morfológicos de manera simultánea para la caracterización de IGSR.

#### **4.2 Descripción Estadística**

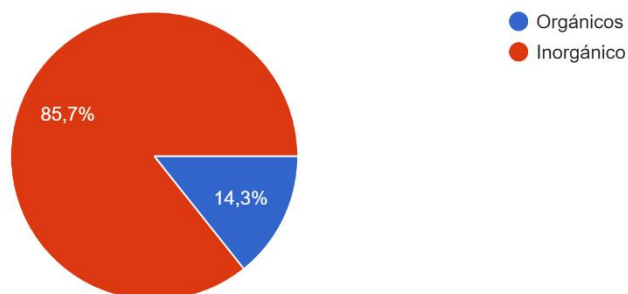
Una vez realizado el estudio estadístico con la muestra calculada a partir de la calculadora estadística, la muestra fue de 35 colaboradores, y el tipo de muestra fue probabilística aleatoria, ya que todos los colaboradores de las Unidades de Apoyo Criminalístico de Cotopaxi y Chimborazo tuvieron iguales posibilidades de ser escogidos para el estudio.

Através de la encuesta se evaluó el conocimiento del personal técnico operativo de las Unidades de Apoyo Criminalístico de Cotopaxi y Chimborazo, sobre el tipo de residuos de disparo que se analiza en el Ecuador, obteniendo que el 85,7% (Gráfico 1) de la muestra conoce que en el Ecuador se realiza análisis de IGSR.

Figura 1 *Pregunta 1*

¿Qué tipo de residuos de disparo se analizan en el Ecuador?

35 respuestas



Fuente: Google forms 2023.

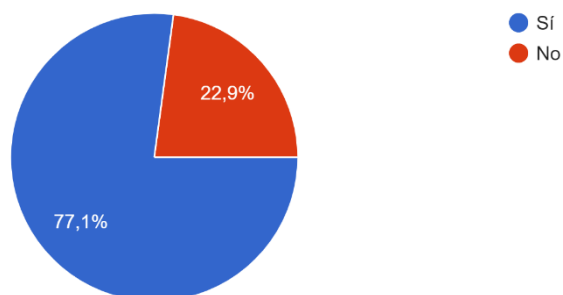
Así mismo, la mayoría de la muestra encuestada conoce mediante que técnica instrumental se realizan los análisis de IGSR en el país (Gráficos 2 y 3). Es importante que el personal conozca el tipo de residuo de disparo que se analiza a nivel nacional y la técnica de análisis, ya que esta capacidad puede tener un impacto significativo en la resolución de casos, la seguridad pública y la prevención del crimen. El personal de criminalística debe estar capacitado y actualizado en esta área forense para llevar a cabo investigaciones efectivas y brindar apoyo a las investigaciones criminales y procesos judiciales relacionados con armas de fuego.



**Figura 2** *Pregunta 2*

¿Conoce la técnica Instrumental mediante la cual se realizan análisis de residuos de disparo en el Ecuador?

35 respuestas

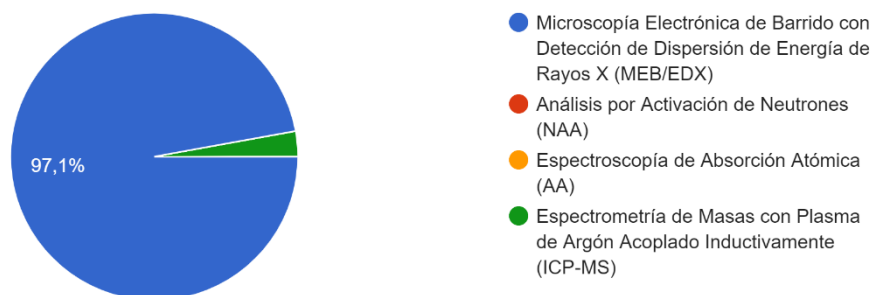


Fuente: Google forms 2023.

**Figura 3** *Pregunta 3*

Indique cuál de las siguientes técnicas se utiliza para realizar análisis de residuos de disparo en el Ecuador

35 respuestas



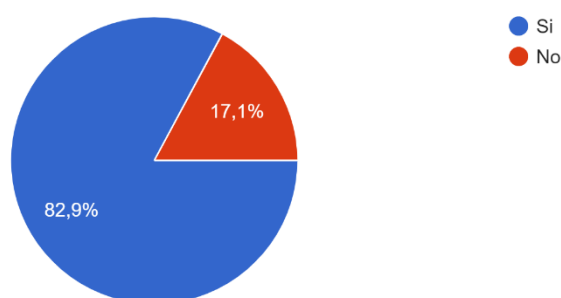
Fuente: Google forms 2023.

El personal técnico operativo de las Unidades de Apoyo Criminalístico de Cotopaxi y Chimborazo, se encarga de la recolección de muestras de residuos de disparo para su posterior análisis mediante MEB-EDX en el Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido del SNMLCF en la ciudad de Quito, en este sentido es importante indagar sobre el

conocimiento y la experiencia de este personal técnico operativo sobre la recolección de muestras de interés en esta investigación. De los resultados obtenidos en los gráficos 4, 5 y 6; se tiene que la mayoría del personal ha recolectado muestras para análisis de residuos de disparo mediante MEB-EDX, conocen la diferencia entre una recolección de tipo invasiva y una de tipo no invasiva y distinguen que la técnica para la recolección de muestras de IGSR que se realiza en el Ecuador es de carácter no invasivo, en concordancia con la normativa nacional. Es de gran importancia que el personal operativo conozca y aplique una buena técnica de recolección de IGSR, para garantizar la preservación, la precisión y la confiabilidad de la evidencia en investigaciones forenses y judiciales relacionadas con armas de fuego. La correcta recolección de las muestras contribuye a la obtención de datos válidos que pueden ayudar en la resolución de casos en los cuales estén involucradas armas de fuego, la reconstrucción de eventos y la administración de la justicia de manera efectiva.

**Figura 4** *Pregunta 4*

¿Ha recolectado indicios para análisis de residuos de disparo?  
35 respuestas

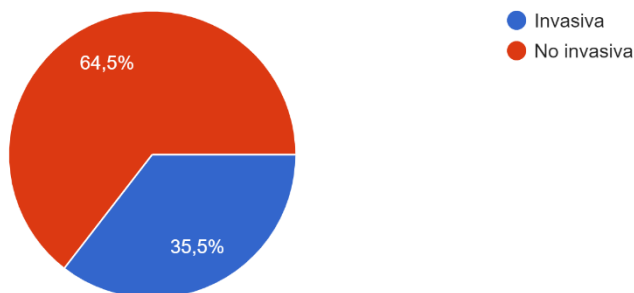


Fuente: Google forms 2023.

**Figura 5** *Pregunta 5*

Si su respuesta anterior es afirmativa, indique lo siguiente: La recolección de indicios para los análisis de residuos de disparo que se realizan en el Ecuador es:

31 respuestas

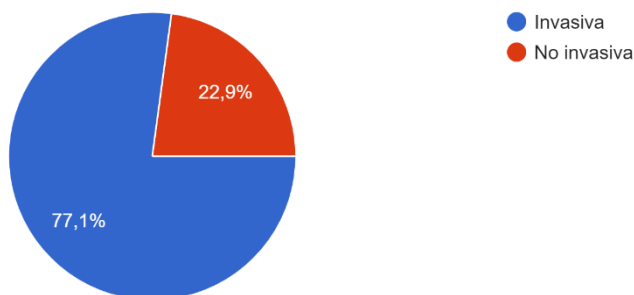


Fuente: Google forms 2023.

**Figura 6** *Pregunta 6*

Si para realizar la recolección de indicios para análisis de residuos de disparo, se realiza un frotis de manos con un hisopo impregnado en ácido clorhídrico-ácido nítrico, la recolección sería de tipo:

35 respuestas



Fuente: Google forms 2023.

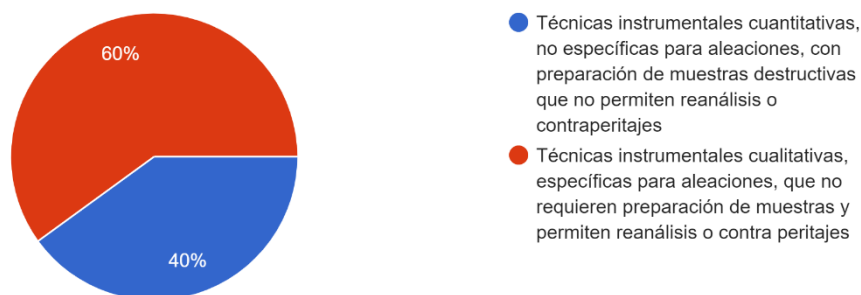
En este orden de ideas, es crucial que el personal de criminalista tenga criterio suficiente para comparar las técnicas instrumentales, sus ventajas, desventajas y su correcta

implementación ajustados a la normativa nacional. En el gráfico 7, se puede observar que la mayoría de los colaboradores indica que desde el punto de vista criminalístico y según la normativa, las técnicas instrumentales que ofrecen mayores ventajas para análisis de residuos de disparo, son las técnicas instrumentales cualitativas, específicas para aleaciones, que no requieren preparación de muestras y permiten reanálisis o contra peritajes.

**Figura 7** *Pregunta 7*

Desde el enfoque criminalístico y en cumplimiento con el Código Orgánico Integral Penal, qué tipo de técnica ofrece mayores ventajas para análisis de residuos de disparo

35 respuestas



Fuente: Google forms 2023.

En concordancia con lo estudiado en la bibliografía y ajustado a la normativa nacional e internacional, la técnica MEB-EDX ofrece mayores ventajas para el análisis de IGSR en el Ecuador; sin embargo, podría ser complementada con la técnica LIBS o XRF para análisis de IGSR en prendas de vestir.

#### 4.3 Descripción Cualitativa

Para la aplicación del método cualitativo se realizaron dos entrevistas una a la responsable de la gestión operativa Microscopía Electrónica de Barrido del SNMLCF MSc.

Maraid Sosa y otra al jefe de grupo de Evidencia Traza de la Jefatura Zonal de Criminalística DMQ Teniente de Policía Juan Salazar, quienes colaboraron oportuna y voluntariamente para el desarrollo de las entrevistas y son los especialistas que realizan los análisis de IGSR a nivel nacional.

Al realizar las entrevistas cualitativas tanto la MSc. Sosa como el Teniente Salazar, indican que los residuos de disparo inorgánicos se analizan a través de la técnica instrumental de microscopía electrónica de barrido con detección de dispersión de energía de rayos X. Así mismo, indican que es una técnica no destructiva o poco invasiva lo que permite realizar reanálisis o contra peritajes (Sosa, 2023) y (Salazar, 2023), en concordancia con los resultados de las encuestas aplicadas. La MSc. Sosa, argumenta que los análisis de IGSR son específicos y característicos porque de acuerdo con la normativa internacional las partículas características de IGSR, solo se pueden formar a partir de la cápsula iniciadora de municiones para armas de fuego, por lo que el reconocimiento e identificación de las mismas es característico (Sosa, 2023).

Así mismo los especialistas de ambas instituciones resaltan que al escoger una técnica instrumental para realizar los análisis de IGSR se deben tomar en cuenta diversos factores que incluyen, la especificidad de la técnica, la reproducibilidad, la normalización y que esté adecuada a la normativa nacional (Sosa, 2023) y (Salazar, 2023). Así mismo M. Sosa recalca que para los análisis forenses es fundamental la preservación de la muestra, por lo que preferentemente se utilizarán técnicas instrumentales no destructivas o poco invasivas (Sosa, 2023).

Ambos especialistas conocen las diversas técnicas instrumentales reportadas que se han utilizado para análisis de IGSR; al igual que en el resultados de las encuestas concuerdan que la técnica MEB-EDX es adecuada para el análisis de IGSR porque la recolección de muestras es no invasiva garantizando la integridad de las personas a quien se les recolecta,

porque no requiere preparación de muestras y por ser una técnica no destructiva, los análisis se pueden realizar muchas veces sobre la misma muestra sin que esta sufra modificaciones o alteraciones (Sosa, 2023) y (Salazar, 2023). Así mismo (Sosa, 2023), recalca que la técnica instrumental MEB-EDX es la única que brinda resultados físicos y químicos de manera simultánea, ya que a través de esta técnica instrumental se genera el reporte fotográfico de la o las partículas encontradas y el espectro característico de cada partícula (Sosa, 2023).

Del análisis cualitativo se desprende que los especialistas tienen experiencia y conocimiento en el área que se desempeñan lo que es fundamental en las áreas de criminalística y ciencias forenses, así mismo, son capaces de reconocer y escoger las técnicas instrumentales para IGSR, que se encuentren enmarcados en la normativa nacional e internacional.

De los análisis cuantitativos y cualitativos realizados en esta investigación, así como de la revisión bibliográfica se obtiene que, en el Ecuador se estudian los IGSR debido a que las aleaciones que los componen son características de la cápsula iniciadora de municiones para armas de fuego. Así mismo, se deduce que las técnicas instrumentales adecuadas para investigar y analizar los IGSR, en concordancia con la normativa internacional y en cumplimiento con la normativa nacional, son las técnicas instrumentales no destructivas o poco invasivas, es decir, aquellas donde la recolección de indicios sea por métodos físicos y secos, no requieran preparación de muestras y el análisis no implique transformación del estado físico o químico de la muestra.

Las técnicas instrumentales que cumplen con dichas condiciones son MEB-EDX y NAA, para muestras recolectadas en regiones anatómicas y prendas de vestir; también las técnicas LIBS y XRF específicamente para prendas de vestir. En el caso de NAA, no se recomienda su utilización por la generación de isótopos radioactivos contaminantes.

La técnica instrumental que se utiliza en el Ecuador para el análisis de IGSR es la MEB-EDX, que brinda resultados efectivos y característicos sin que esto implique destrucción o modificación del indicio; sin embargo, esta técnica podría ser complementada por otras técnicas instrumentales como son XRF o LIBS, con la finalidad de fortalecer los análisis que se llevan a cabo.

## 5. Conclusiones

- En el Ecuador se analizan residuos de disparo inorgánicos (IGSR) porque su composición química y las aleaciones generadas de estos son características de la cápsula iniciadora de municiones para armas de fuego, siendo estas partículas características las aleaciones metálicas de plomo, bario y antimonio (Pb-Ba-Sb), los tres elementos en la misma partícula.
- De los estudios cualitativos y revisión bibliográfica analizada se desprende que los IGSR han sido estudiados mediante al menos seis técnicas analíticas instrumentales (AA, ICP-MS, NAA, MEB-EDX, XRF Y LIBS), de las cuales sólo tres podrían ser aplicadas en el Ecuador en cumplimiento con la normativa nacional e internacional, estas técnicas son MEB-EDX, XRF y LIBS.
- En el Ecuador se utiliza la técnica instrumental MEB-EDX para el análisis de residuos de disparo inorgánicos, por su reproducibilidad y por no requerir modificación de la muestra, lo cual está en concordancia con la normativa nacional e internacional.
- El personal técnico operativos de las Unidades de Apoyo Criminalístico de Cotopaxi y Chimborazo, muestran capacidad suficiente para la recolección de muestras para análisis de IGSR y reconocen las ventajas de utilizar una técnica instrumental de acuerdo con la normativa nacional.
- El personal especializado que realiza los análisis de IGSR, tienen el conocimiento y la experiencia necesarios para la ejecución de estos análisis y las ventajas de utilizar una técnica instrumental no destructiva, normada internacionalmente y que ofrece resultados físicos y químicos.



## **6. Recomendaciones**

- Del análisis realizado se recomienda que los estudios mediante MEB-EDX, pueden ser complementados con otras técnicas instrumentales como LIBS y XRF, para fortalecer los reportes ofrecidos a la administración de justicia.
- Es importante continuar y fortalecer las capacitaciones y actualizaciones constantes en el tema de recolección y análisis de IGSR, para el personal técnico operativo de la Unidades de Apoyo Criminalístico, ya que a pesar de que la mayoría conoce la técnica de recolección y análisis de IGSR en el Ecuador, hay un pequeño porcentaje del personal que muestra desconocimiento en este tema.

## 7. Referencias Bibliográficas

- Asamblea. (2018). Código Orgánico Integral Penal. COIP.
- Atuesta, S. (2016). La Química Forense en la Investigación Criminal. *Repositorio Universidad Industrial de Santander*, 1-6. From <https://semillerocif.com/wp-content/uploads/2017/10/El-Rol-Del-Quimico-Forense-En-La-Investigacion-Criminal.pdf>
- Barrantes, R. (. (2014). Investigación, Un camino al conocimiento, Un Enfoque Cualitativo, Cuantitativo y Mixto. San José, Costa Rica: Editorial EUNED.
- Bautista, A., & Larico, I. (2018). Determinación de Residuos de Disparo por Arma de Fuego mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica. *Rev Mex Med Forense*. From <https://www.medigraphic.com/pdfs/forense/mmf-2018/mmf181e.pdf>
- Blasco, J. E. (2007). Metodologías de investigación en las ciencias de la actividad física y el deporte: ampliando horizontes. Editorial Club Universitario . From <https://www.eumed.net/tesis-doctorales/2012/mirm/bibliografia.html>
- Cano, M. (2007). Análisis de elementos residuales depositados en la mano después de disparar un arma de fuego usando Espectroscopia de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (Doctoral dissertation). *Repositorio Dspace* . From <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/7101>
- Chohra, M., Beladel, B., Baba.L., Mouzai, M., Akretche, D., Zeghdaoui, A., & Mansouri, A. (2015). Study of gunshot residue by NAA and ESEM/EDX using several kinds of weapon and ammunition. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 404-410. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jrras.2015.02.012>
- Coelho, F. (2021). Significado de Investigación. From <https://www.significados.com/investigacion/>

- Converso, D., Mirakian, N., & Baez, F. (2021). *Metodo recomendado para la toma de muestra y análisis de residuos de disparo*. From [https://mail.google.com/mail/u/0?ui=2&ik=c76fe7aa21&attid=0.1&permmsgid=msg-f:1780191164067081771&th=18b4826e8e81ee2b&view=att&disp=inline&realattid=f\\_inx83w260](https://mail.google.com/mail/u/0?ui=2&ik=c76fe7aa21&attid=0.1&permmsgid=msg-f:1780191164067081771&th=18b4826e8e81ee2b&view=att&disp=inline&realattid=f_inx83w260)
- Costa, R., Motta, L., Destefani, C., Rodrigues, R., Do Espirito Santo, K., Aquije, G., & Romao, W. (2016). Gunshot residues (GSR) analysis of clean range ammunition using SEM/EDX, colorimetric test and ICP-MS: A comparative approach between the analytical techniques. *Microchemical Journal*(Nro. 129), 339-347.
- Daniel, C., Nadia, M., & Fernando, B. (2021). *Generalidades sobre cartuchería y residuos de disparos*. From [https://mail.google.com/mail/u/0?ui=2&ik=c76fe7aa21&attid=0.1&permmsgid=msg-f:1780191164067081771&th=18b4826e8e81ee2b&view=att&disp=inline&realattid=f\\_inx83w260](https://mail.google.com/mail/u/0?ui=2&ik=c76fe7aa21&attid=0.1&permmsgid=msg-f:1780191164067081771&th=18b4826e8e81ee2b&view=att&disp=inline&realattid=f_inx83w260)
- Dursun, B. (2023). A Qualitative Research Technique: Interview. *Interview. Journal of Interdisciplinary Educational Research, Vol. 7*(Nro. 14), 100-113. doi:DOI: 10.57135/jier. 1245193
- Dwi, M. (2018). Survey by knocking the door and response rate enhancement technique in international business research". *Problems and Perspectives in Management*. doi:http://dx.doi.org/10.21511/ppm.16(2).2018.14
- Hahn, D., & Omenetto, N. (2012). *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS), PartII: Review of Instrumental and Methodological Approaches to Material Analysis and Applications to Different Fields*. From

[https://mail.google.com/mail/u/0?ui=2&ik=c76fe7aa21&attid=0.1&permmsgid=msg-g-1780244219428784466&th=18b4b2af787ec952&view=att&disp=inline&realattid=f\\_lny2b0kb0](https://mail.google.com/mail/u/0?ui=2&ik=c76fe7aa21&attid=0.1&permmsgid=msg-g-1780244219428784466&th=18b4b2af787ec952&view=att&disp=inline&realattid=f_lny2b0kb0)

Jiménez, C. (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. *Revista Colombiana de Medicina Legal y Ciencias Forenses*, Vol. 1(Nro. 1 ), 8-1. From [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35710015/Revista\\_Colombiana\\_de\\_Medicina\\_Legal\\_y\\_Ciencias\\_Forenses-libre.pdf?1416848323=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCreacio\\_n\\_del\\_formato\\_Consentimiento\\_u\\_n.pdf&Expires=1687531261&Signature=BRUu1](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35710015/Revista_Colombiana_de_Medicina_Legal_y_Ciencias_Forenses-libre.pdf?1416848323=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCreacio_n_del_formato_Consentimiento_u_n.pdf&Expires=1687531261&Signature=BRUu1)

Jiménez, C. (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*, Vol. 1(Nro. 1), 8-1. From [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35710015/Revista\\_Colombiana\\_de\\_Medicina\\_Legal\\_y\\_Ciencias\\_Forenses-libre.pdf?1416848323=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCreacio\\_n\\_del\\_formato\\_Consentimiento\\_u\\_n.pdf&Expires=1687542046&Signature=fk3s9](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35710015/Revista_Colombiana_de_Medicina_Legal_y_Ciencias_Forenses-libre.pdf?1416848323=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCreacio_n_del_formato_Consentimiento_u_n.pdf&Expires=1687542046&Signature=fk3s9)

Lozano, R., López, E., & Cabrera, M. (2023). Falsos positivos y falsos negativos de las técnicas colorimétricas para la identificación de residuos provenientes de armas de fuego. *Revista Mexicana de Ciencias Penales*, Vol.6(Nro. 20), 123-136 . doi:<https://doi.org/10.57042/rmcp.v6i20.635>

- Machaca, E. (2018). Valor probatorio del examen pericial por espectrofotometría de absorción atómica, en los juzgados penales del cercado de Arequipa 2016-2017. *Repositorio Universidad San Agustín de Arequipa*. Arequipa, Perú: (Bachelours Tesis. Post Grado). From <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/217664a0-6977-4fe4-9ac8-b91eaaba0d66/content>
- Maggio, A., Kuffer, J., & Lazzari, M. (2018). Advances and trends in bibliographic research: Examples of new technological applications for the cataloguing of the georeferenced library heritage. *Journal of Librarianship and Information Science*, 1-14. doi:DOI: 10.1177/0961000616652134
- Mair, A. (2017). Statistical Assessment of Sample. Test Results. *Springer International Publishing AG*. doi:10.1007/978-3-319-49710-5\_3
- Meneses, J., Laverde, J., & Rodríguez, G. (2018). La pólvora una evidencia difícil de eliminar. *Repositorio Universidad de la Gran Colombia*. (Bachelor's thesis, Universidad La Gran Colombia). From <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/2757>
- Menking, K., C., M., Vander, C., & Heller, E. (2021). Development of tailor-made inorganic gunshot residue (IGSR) microparticle standards and characterization with a multi-technique approach. *Talanta*, Vol. 25. doi:<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121984>
- Obregón, J. (2016). Método Estadístico. *UNAM*. From (<http://paginas.facmed.unam.mx/deptos/sp/wpcontent/uploads/2015/11/03REYNA GA1>).
- Priya, V., & Suman, N. (2021). Gunshot residue detection technologies—a. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*. doi:<https://doi.org/10.1186/s41935-021-00223-9>

- Redoute, V., Werner, D., Schnerider, D., & Manganelli, M. (2020). Combined Collection and Analysis of Inorganic and Organic Gunshot Residues. *Journals Forensic Sciences* . doi:doi: 10.1111/1556-4029.14314
- Salazar, J. (2023). Entrevista personal.
- Sarapurab, P. (2019). Application of total X-Ray fluorescence to gunshot residue determination. *Applied Radiation and Isotopes, Vol. 153*. doi:https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2019.108841
- Schumacher, M., & Ludwig, D. (2010). Investigation of Gunshot Residue Patterns using milli-XRF-Techniques: First Experiences in Casework. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. From [https://www.researchgate.net/publication/253097148\\_Investigation\\_of\\_Gunshot\\_Residue\\_Patterns\\_using\\_milli-XRF-Techniques\\_First\\_Experiences\\_in\\_Casework](https://www.researchgate.net/publication/253097148_Investigation_of_Gunshot_Residue_Patterns_using_milli-XRF-Techniques_First_Experiences_in_Casework)
- Skoog, D., Holler, J., & Crouch, S. (2008). *Principios de análisis instrumental*. From [https://mail.google.com/mail/u/0?ui=2&ik=c76fe7aa21&attid=0.1&permmsgid=msg-f:1779970978499976381&th=18b3ba2c9bfedcbd&view=att&disp=inline&realattid=f\\_Intr4zcr0](https://mail.google.com/mail/u/0?ui=2&ik=c76fe7aa21&attid=0.1&permmsgid=msg-f:1779970978499976381&th=18b3ba2c9bfedcbd&view=att&disp=inline&realattid=f_Intr4zcr0)
- Sosa, M. (2023). Entrevista personal.
- Thomas, D. (2006). *A General Inductive Approach for Analyzing Qualitative Evaluation Data*. From [https://drive.google.com/file/d/1zVvCpH4g4BApuva5UiJMJnbMESwLga9u/view?usp=drive\\_web](https://drive.google.com/file/d/1zVvCpH4g4BApuva5UiJMJnbMESwLga9u/view?usp=drive_web)
- Trejos, T. (2021). Fast screening of firearm discharge residues by laser-based spectrochemical methods, electrochemical sensors, and chemometrics. *National Institute of Justice*.

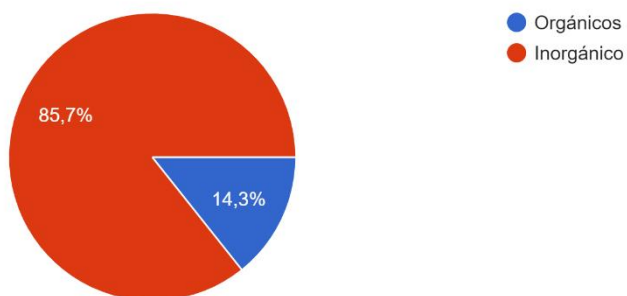
## 8. Apéndice

En este apartado se incluirán aquellos documentos propios del autor que creó en función de una adición al informe principal.

### 8.1 Apéndice A Resultados de la encuesta.

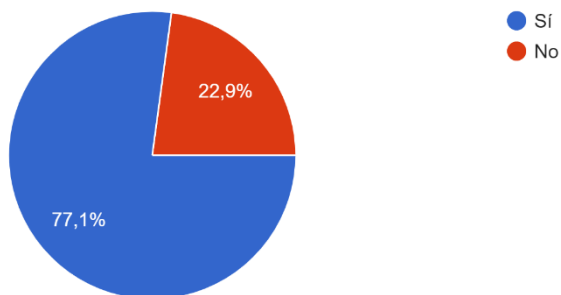
¿Qué tipo de residuos de disparo se analizan en el Ecuador?

35 respuestas



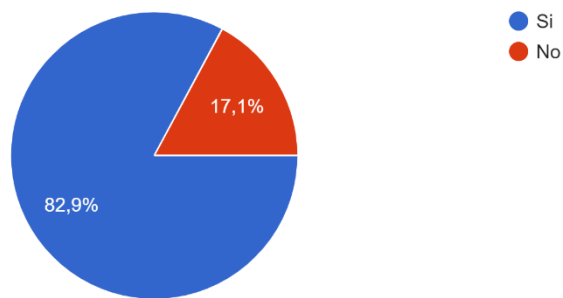
¿Conoce la técnica Instrumental mediante la cual se realizan análisis de residuos de disparo en el Ecuador?

35 respuestas



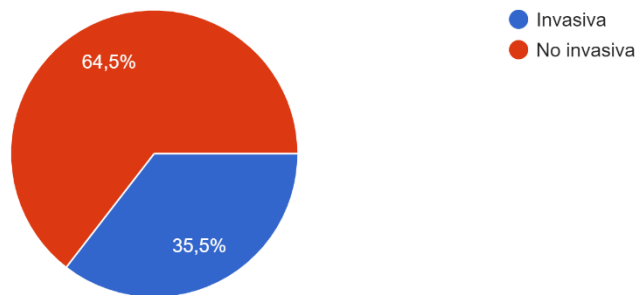
¿Ha recolectado indicios para análisis de residuos de disparo?

35 respuestas



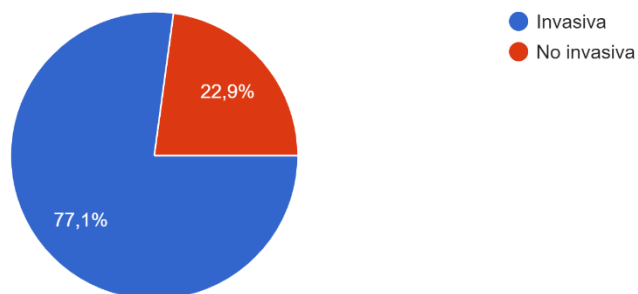
Si su respuesta anterior es afirmativa, indique lo siguiente: La recolección de indicios para los análisis de residuos de disparo que se realizan en el Ecuador es:

31 respuestas



Si para realizar la recolección de indicios para análisis de residuos de disparo, se realiza un frotis de manos con un hisopo impregnado en ácido clorhídrico-ácido nítrico, la recolección sería de tipo:

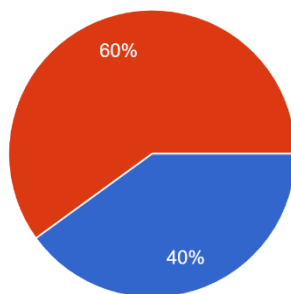
35 respuestas





Desde el enfoque criminalístico y en cumplimiento con el Código Orgánico Integral Penal, qué tipo de técnica ofrece mayores ventajas para análisis de residuos de disparo

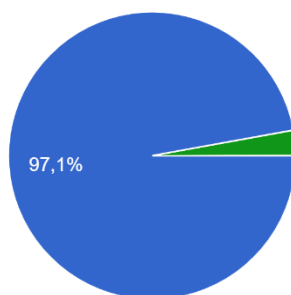
35 respuestas



- Técnicas instrumentales cuantitativas, no específicas para aleaciones, con preparación de muestras destructivas que no permiten reanálisis o contra peritajes
- Técnicas instrumentales cualitativas, específicas para aleaciones, que no requieren preparación de muestras y permiten reanálisis o contra peritajes

Indique cuál de las siguientes técnicas se utiliza para realizar análisis de residuos de disparo en el Ecuador

35 respuestas



- Microscopía Electrónica de Barrido con Detección de Dispersión de Energía de Rayos X (MEB/EDX)
- Análisis por Activación de Neutrones (NAA)
- Espectroscopía de Absorción Atómica (AA)
- Espectrometría de Masas con Plasma de Argón Acoplado Inductivamente (ICP-MS)

## 8.2 Apéndice B. Entrevista 1

3.5.1 Cédula de entrevista a la responsable de la gestión operativa Microscopía Electrónica de Barrido del SNMLCF

1. Nombre: Maraid Sosa de Angel

2. ¿Cuál es su Profesión u Oficio?

Magister en Química, perito en Microscopía Electrónica de Barrido

3. ¿En qué institución labora?

Servicio Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses

4. ¿Qué cargo ocupa?

Perito en Microscopía Electrónica de Barrido, responsable de la gestión operativa Microscopía Electrónica del SNMLCF.

5. ¿Hace cuánto tiempo realiza análisis de residuos de disparo inorgánicos?

13 años

6. ¿A partir de qué técnica instrumental analiza los residuos de disparo inorgánicos?

Microscopía Electrónica de Barrido con Detección de Dispersión de Energía de Rayos X

7. ¿Podría explicar el fundamento técnico de la aplicación de esta técnica instrumental para el análisis de residuos de disparo inorgánicos?

A través de esta técnica instrumental se hace incidir un haz de electrones sobre los indicios o muestras que ingresan al microscopio, la interacción del haz de electrones con la muestra, genera distintos tipos de señales electromagnéticas que al ser decodificadas por los detectores acoplados al equipo, brindan información sobre la morfología, brillo, contraste y elementos químicos presentes en la muestra. El reporte que se genera es una micrografía de

las partículas encontradas y el espectro característicos de los elementos que componen a la partícula.

8. ¿Conoce otras técnicas instrumentales a partir de las cuales se pueda realizar análisis de residuos de disparo inorgánicos, podría indicar por qué estas técnicas no se utilizan en Ecuador?

Si, se reportan estudios de residuos de disparo inorgánicos mediante, espectroscopía de absorción atómica, espectrometría de masas acoplada a inductivamente a plasma de argón, espectroscopía de fluorescencia de rayos X, análisis por activación de neutrones y espectroscopia de descomposición inducida por láser (LIBS).

9. ¿Desde su punto de vista técnico científico, cuál es la mejor técnica para análisis de residuos de disparo inorgánicos y por qué?

La mejor técnica instrumental para el análisis de residuos de disparo inorgánicos, es aquella que cumpla con la normativa nacional e internacional, que brinde resultados característicos y que sea no destructiva o poco invasiva. Desde mi criterio científico la mejor técnica instrumental para estos análisis es la microscopía electrónica de barrido con detección de dispersión de energía de rayos X, porque además de cumplir con los criterios que ya te mencioné, es la única técnica que permite obtener resultados físicos y químicos de manera simultánea, ya que genera reportes de la micrografía de la o las partícula(s) encontradas acompañadas del espectro característicos de los elementos encontrados en esa partícula.

10. ¿Qué factores considera que se deben tomar en cuenta al momento de escoger una técnica instrumental para análisis de residuos de disparo inorgánicos en el Ecuador?

Costo beneficio de la técnica instrumental, que cumpla con el Código Orgánico Integral Penal, la capacidad no destructiva o poco invasiva porque en criminalística lo principal es preservar las muestras como evidencia, y la reproducibilidad de los análisis.

### 8.3 Apéndice C. Entrevista 2.

Buenas tardes Teniente Juan Salazar bienvenido a ésta entrevista para que nos pueda ayudar en este lapso de tiempo compartir sus conocimientos y experiencia a través de este tema del ámbito de las técnicas para análisis de residuos de disparo inorgánico.

Primero me gustaría saber un poco de ud.

1. Nombre

Como está buenas tardes Cyntia, soy el Teniente de Policía Juan Carlos Salazar Naranjo.

2. ¿Cuál es su Profesión u Oficio?

Oficial de Policía

3. ¿En qué institución labora?

En la Policía Nacional del Ecuador- Jefatura zonal de Criminalística del Distrito Metropolitano de Quito.

4. ¿Qué cargo ocupa?

Me desempeño como Jefe del grupo operativo de evidencia traza.

5. ¿Qué tipo de residuos de disparo analiza?

Como yo también presto funciones como perito en el área de balística forense entonces en las 2 áreas tanto aquí en evidencia traza o llamada microscopía electrónica y balística se analizan los residuos de disparos orgánicos e inorgánicos.

6. ¿A partir de qué técnica instrumental analiza los residuos de disparo inorgánicos?

Los inorgánicos únicamente se analizan a través del microscopio electrónico de barrido con el dispersor de energía de rayos x.

7. ¿Por qué utilizan esta técnica instrumental para realizar el análisis de residuos de disparo?

Primero lo importante es una técnica no invasiva que permite la reproducibilidad de las técnicas por cuanto el haz de electrones únicamente se genera una interacción electromagnética al interior de la recámara de la misma y la muestra permite que una vez analizada pueda volverse a reanalizar en el caso de que se solicite otra experticia o que otra entidad fuera de la practica pericial del servicio nacional o de la policía la realice, de igual forma es un equipo que se lo ha venido trabajando ya desde algún tiempo tengo entendido que desde el 2009- 2010 en donde se ha venido trabajando con ésta técnica y como técnicas instrumentales a nivel mundial es una técnica también que otorga 99% de confiabilidad a la realización de la misma.

8. ¿Cuáles técnicas instrumentales se pueden utilizar para realizar análisis de residuos de disparo inorgánicos, podría indicar por qué estas técnicas no se utilizan en Ecuador?

Tengo entendido que hay algunas entre estas está el método de activación de neutrones, ICP masas, tengo entendido que también se utiliza un poco de espectroscopia infrarroja para realizarla y una que otra que se me va por alto por el momento.

No se utilizan en Ecuador primeramente por la cuestión de falta de equipamiento, mantenimiento y obviamente el costo de producción y costo de realización que se realizaría en cada una de ellas. Al igual que éstas técnicas son de carácter destructivo por cuanto requiere consumir o analizar la muestra en su totalidad para poder otorgar los resultados deseados, es decir para una futura pericia no se tuviera ya el elemento de prueba.

9. ¿Considera que la técnica instrumental que usted utiliza podría estar ubicada a nivel nacional, es decir un laboratorio en cada provincia, (Por qué)?

Si, se debería considerar pero obviamente un espacio adecuado que cumpla con las características que requiere el microscopio pero se debería desconcentrar el equipamiento.

10. ¿Cualquier técnica instrumental que se utilice para análisis de residuos de disparo inorgánicos podría estar ajustada al Código orgánico integral penal?

Si por cuanto lo que primero se requiere para que pueda estar de acuerdo al código orgánico integral penal es primero que se cuente con las especificaciones técnicas y más que todo los, que todo esté normado más que todo a través del servicio nacional que es la unidad que regula los procesos de ciencias forenses a nivel nacional se encuentren con la respectiva normalización y acreditación tanto del equipo como de los peritos que realizan la pericia a nivel nacional.