

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA



“PROPUESTA PARA LA IDENTIFICACION DE NITROCELULOSA
PROVENIENTE DE RESIDUOS DE DISPARO POR ARMA DE FUEGO EN
PRENDAS DE VESTIR, UTILIZANDO ESPECTROSCOPIA INFRARROJA”
INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE CURSO
DE ESPECIALIZACION

PRESENTADO POR:
ANDREA MARINA ALAS MARTINEZ
CARLOS ADOLFO PINEDA AGUIRRE

PARA OPTAR AL GRADO DE
LICENCIADO(A) EN QUIMICA Y FARMACIA

DICIEMBRE 2022

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

MAESTRO. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

DECANA

LICDA. REINA MARIBEL GALDAMEZ

SECRETARIO INTERINO

MAESTRO ROBERTO EDUARDO GARCÍA ERAZO

DIRECCION DE PROCESOS DE GRADO

DIRECTORA GENERAL

MSC. ENA EDITH HERRERA SALAZAR

TRIBUNAL EVALUADOR

ASESORAS DE AREA

MAESTRA. NANCY ZULEYMA GONZÁLEZ SOSA

LICDA. ANA LUISA CRUZ DE ALEGRIA

TUTORA

LICDA. LORENA MARGARITA RAMIREZ MERCADO

INDICE GENERAL

Resumen	
Capítulo I	
1.0 Introducción	IX
Capitulo II	
2.0 Objetivos	
Capitulo III	
3.0 Marco Teórico	14
3.1 Balística	14
3.1.1 Balística forense	14
3.2 Clases y tipos de armas de fuego	14
3.2.1 Componentes y partes que conforma los diferentes tipos de municiones	14
3.3 Pólvora	16
3.3.1 Clasificación y composición de la pólvora	16
3.3.2 Composición química de la pólvora	17
3.3.3 Cápsula iniciadora	18
3.3.3.1 Composición química de los iniciadores	18
3.4 Análisis forense de los residuos de disparo	19
3.5 Diferentes técnicas instrumentales que se pueden emplear actualmente para la realización de residuos de disparo de arma de fuego	21
3.6 Principios de espectroscopia infrarroja	23
Capitulo IV	
4.0 Diseño Metodológico	26
4.1 Tipo de estudio	26
4.2 Investigación bibliográfica	26
4.3 Procedimiento	27

4.3.1 Búsqueda del material bibliográfico para su selección	
4.3.2 Análisis y selección del material consultado	27
4.3.3 Diseño de una Práctica de laboratorio	
Capítulo V	28
5.0 Práctica de laboratorio	29
Capítulo VI	
6.0 Conclusiones	31
Capítulo VII	
7.0 Recomendaciones	39
Bibliografía	
Anexos	41

RESUMEN

Siendo la violencia un fenómeno global derivado de los conflictos y en la mayoría de los casos involucrando el uso de armas de fuego, es importante conocer la composición de las municiones, realizar las pruebas pertinentes y brindar opiniones científicas y técnicas en los procesos judiciales.

A medida que se fueron desarrollando las municiones, se mejoró su composición, y hoy en día se utilizan las que contienen nitrocelulosa, un compuesto sintético a base de nitrocelulosa, utilizado en la producción de explosivos, por sus propiedades, que también interesan a los fabricantes, por ser un compuesto orgánico, el cual evita que genere humo y, por lo tanto, reduce la generación de residuos.

Desde el punto de vista forense, la identificación de nitrocelulosa en residuos de disparo representa un gran interés, ya que por una parte permite tener información sobre qué tipo de municiones se utilizaron en la escena, por otra parte, la identificación de nitrocelulosa es un indicio ante un tribunal para confirmar que la persona está involucrada en el hecho delictivo.

El objetivo general de esta investigación fue presentar una propuesta para la identificación de nitrocelulosa provenientes de residuos de disparo por armas de fuego en prendas de vestir, utilizando espectroscopia infrarroja.

La metodología utilizada para realizar esta investigación fue de tipo bibliográfica y documental, la cual permitió fundamentar científicamente la práctica de laboratorio que se diseñó para la identificación de nitrocelulosa proveniente de residuos de disparo por arma de fuego en prendas de vestir, utilizando espectroscopia infrarroja. Dicha práctica constituye el producto final del curso de especialización en "Análisis Químico Aplicado a la investigación criminal, de la Facultad de Química y Farmacia, desarrollado en un período de abril a septiembre del 2022, bajo una modalidad a distancia.

Después de investigación realizada se concluye que es posible realizar la identificación de nitrocelulosa, utilizando un método instrumental por espectroscopia infrarroja, tal cual es propuesto, recomendando tomar las debidas precauciones con los indicios de tal manera de evitar alteraciones o contaminaciones de las muestras.

CAPITULO I
INTRODUCCION

INTRODUCCION

La identificación de residuos de disparo presenta un gran interés en la práctica de la investigación forense; debido a que en la resolución de los crímenes asociados a la utilización de armas de fuego se requieren una exhaustiva investigación para conocer quien ha disparado el arma, y así corroborar un posible suicidio o para confirmar si un sospechoso realizó el disparo o utilizo en arma de fuego.

Una de las mejoras en armas y municiones ha sido la sustitución del uso de pólvora negra por pólvora blanca, cuyo componente principal es la nitrocelulosa, la cual genera menos humo y residuos de disparo, evitando de esta manera que las armas se ennegrezcan por los residuos depositados dentro del cañón.

Una gran variedad de técnicas analíticas han sido utilizadas en la investigación forense para determinar dichos residuos, con dicha técnica analítica existe la posibilidad de que los resultados sean erróneos. Actualmente se utilizan métodos muy sofisticados y complejos, con un alto costo; por lo que en esta investigación se propone un método de espectroscopia infrarroja para la identificación de nitrocelulosa como residuo de disparo en prendas de vestir.

La metodología que se utilizó para la investigación fue de tipo bibliográfica y documental a través de la consulta de documentos que respaldan el fundamento teórico del diseño de una propuesta para la identificación de nitrocelulosa proveniente de residuos de disparo por arma de fuego en prendas de vestir por medio de espectroscopia infrarroja, la cual es el producto final del curso de especialización "Análisis Químico Aplicado a la Investigación Criminal" de la Facultad de Química y Farmacia, el cual se ejecutó en un período de abril a septiembre del presente año bajo una modalidad a distancia.

CAPITULO II

OBJETIVOS

2.0 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Presentar una propuesta para la identificación de residuos de nitrocelulosa provenientes de residuos de disparo por armas de fuego en prendas de vestir, utilizando espectroscopia infrarroja.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

2.2.1. Describir la composición de los residuos de disparo por arma de fuego.

2.2.2. Describir las características orgánicas de la nitrocelulosa para su identificación por espectroscopia infrarroja.

2.2.3. Diseñar una propuesta de práctica de laboratorio para identificar restos de nitrocelulosa en muestras de residuos de disparo de arma de fuego por el método de espectroscopia infrarroja.

CAPITULO III
MARCO TEORICO

1.0 MARCO TEORICO

1.1 Balística

“La balística es la ciencia que se encarga de estudiar el movimiento de los cuerpos en el espacio, sobre todo, de los proyectiles disparados por armas de fuego”.⁸

3.1.1. Balística forense

La Balística forense es una rama de la balística, que se encarga del estudio y peritación en los que hay de por medio un arma de fuego o su munición.

Su contenido comprende el estudio de las armas de fuego, la cartuchería, las vainas percutidas (casquillo) y los proyectiles disparados, distancia de determinación de la trayectoria, número de disparos.⁸

La balística forense se clasifica en: balística interior, balística exterior y balística de efecto.

- La balística interior es la responsable del estudio de todos los fenómenos que ocurren en el arma a partir del momento en que la aguja percutora golpea el fulminante del cartucho, hasta que el proyectil sale por la boca de fuego del cañón. También se ocupa de todo lo relativo a la estructura, mecanismo y funcionamiento del arma de fuego.⁹
- “La balística exterior estudia los fenómenos que ocurren al proyectil desde el momento en que sale del arma, hasta que da en el blanco”.⁹
- “La balística de efectos estudia los daños producidos por el proyectil sobre el objeto apuntando u otro que el azar determine”.⁹

1.2 Clases y tipos de armas de fuego

Es todo aquel instrumento, equipo o máquina diseñado para lanzar proyectiles a gran velocidad y en una dirección predeterminada, utilizando

como fuerza impulsora la combustión de la pólvora⁸, la cual puede ser pólvora negra o pólvora blanca la cual es utilizada en la actualidad.

Existen distintos tipos de armas de fuego, los cuales pueden agruparse en arma corta o pistola, arma larga o rifle, o arma de caza o escopeta. Mientras que en las armas de caza lo que se suele propulsar son perdigones, en las armas cortas y largas propulsan únicamente una bala.¹¹ (figura N°1)



Figura N°1. Municion empleada en función del arma.¹¹

3.2.1. Componentes y partes que conforma los diferentes tipos de municiones

Se denomina cartucho a la carga de pólvora y municion, o de pólvora únicamente, correspondiente a cada tiro de un arma de fuego, envuelta en papel o lienzo o encerrada en un tubo metálico, que puede contener solamente la pólvora, o ésta junto con el proyectil, o finalmente, ambos elementos además del cebo o fulminante.⁸

Los proyectiles o balas es la parte más importante del conjunto del cartucho. Generalmente está formada por un núcleo de plomo y antimonio (la pequeña proporción de antimonio proporciona un ajuste del peso y por otro lado le da al conjunto consistencia ante la deformación). Se encuentran normalmente montados en la cartuchería metálica (cartucho), pudiéndose encontrar recubiertos como elemento aglutinante de latón (aleación de cobre

y zinc), que son los denominados perdigones o postas que encontramos en la cartuchería semimetálica.¹⁰

El casquillo es un elemento de cuerpo cilíndrico cerrado por una base con pestaña para la acción de la uña extractora (pieza de las pistolas ubicada en la zona de la recámara encargada de enganchar el casquillo tras el disparo y expulsarlo por la ventana de expulsión). Entre sus características destacan la de presentar buenas propiedades mecánicas, para soportar las altas presiones desarrolladas en el disparo, y la elasticidad, para dilatarse y recuperarse después. Su función es la de aglutinar los distintos elementos del cartucho. En su base el fabricante estampa su marca y el calibre al que corresponde.¹⁰

3.3. Pólvora

Es la sustancia encargada de impulsar el proyectil transformando su masa física en energía, desapareciendo como tal elemento físico y tangible. En este proceso se libera calor y mucho gas, que se traduce en un efecto mecánico que servirá para el accionamiento de partes móviles del arma como la corredera, el martillo, etc. y, principalmente, para el empuje del proyectil. Hoy en día son las más comunes las pólvoras sin humo de simple y doble base, su componente activo es la nitrocelulosa o la nitroglicerina.⁸

3.3.1. Clasificación y composición de la pólvora

A la hora de clasificar la pólvora, hay que basarse en su composición o en la velocidad de deflagración. En base a su composición estas se clasifican en dos grupos:

- Pólvoras ordinarias (negra)
- Pólvoras sin humo (blanca)

Dentro del primer grupo las más importantes son: La pólvora negra y la pólvora parda. El segundo grupo está compuesto por: las pólvoras de nitrocelulosa (de base simple o coloidal), y las pólvoras de doble base

(formadas de nitrocelulosa, nitroglicerina y correctores). También se suele clasificar la pólvora atendiendo a su velocidad de deflagración, y en este caso serán: progresivas, regresivas y de emisión constante. Esta diferencia en la emisión de gases se puede conseguir variando la forma geométrica de los granos o también variando la composición de la pólvora. Cuando las pólvoras están compuestas por granos planos o huecos, se consumen por capas paralelas lo que permite una velocidad de quemado progresiva. En el caso de las pólvoras regresivas los granos son macizos, la superficie exterior es relativamente reducida, y la emisión de gases, según avanza la ignición al interior, va disminuyendo.⁸

3.3.2. Composición química de la pólvora

Hoy en día, la munición suele emplear como propulsor la pólvora basada en nitrocelulosa, también conocida por pólvora sin humo porque deflagra sin producir humo. Este tipo de pólvoras se clasifican según su composición química (ver figura N°2) en pólvoras de simple base, de doble base y de triple base. Esta clasificación atiende al número de componentes energéticos de los que está compuesta la pólvora. Así, en las pólvoras de simple base el componente energético mayoritario es la nitrocelulosa, en las de doble base la nitrocelulosa y la nitroglicerina y en las de triple base la nitrocelulosa, la nitroglicerina y la nitroguanidina.¹¹

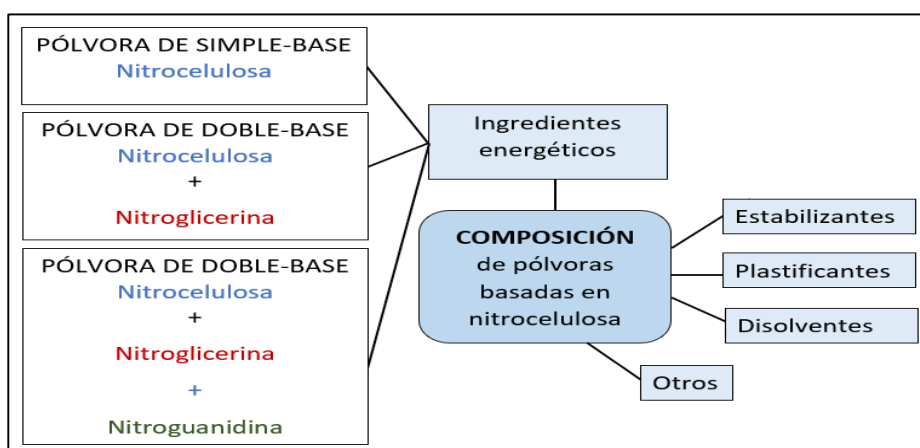


Figura N°2. Composición de la pólvora basada en nitrocelulosa.¹¹

3.3.3 Cápsula iniciadora

Es el elemento responsable de transformar el conjunto inerte y rígido que es el cartucho. Se compone de un cuerpo metálico de latón, a modo de contenedor cilíndrico, que alberga en su interior la mezcla iniciadora con tres componentes principales para la formación de la fracción inorgánica de los residuos, a saber:

- El iniciador, a base de estifnato de plomo ($C_6HN_3O_8Pb$), sustancia que por su gran sensibilidad se activa por rozamiento o fricción.
- El oxidante, compuesto de nitrato de bario, que aporta el oxígeno necesario para que se queme el combustible.
- El sulfuro de antimonio, como combustible de alta velocidad que con los productos de su descomposición activará la pólvora.

Todo el conjunto se encuentra sellado con barnices que garantizan la estanqueidad para evitar la degradación de los productos de la mezcla. Su ubicación se encuentra por lo general en el centro de la base del casquillo, comunicando la energía de activación a la carga de pólvora a través de dos aperturas, los oídos.¹⁰

3.3.3.1 Composición química de los iniciadores

El iniciador es una mezcla de un explosivo primario con diferentes sustancias con funciones específicas para facilitar la iniciación de la reacción explosiva (Tabla N°1). Esta mezcla iniciadora está compuesta por el sensibilizador, que ayuda el comienzo de la reacción explosiva cuando el percutor genera un cambio de presión en el explosivo primario, el combustible, que facilita el mantenimiento de la llama durante el tiempo necesario para que el explosivo propulsor se encienda y el oxidante, que suministra una fuente de oxígeno tanto para el combustible como para el explosivo primario.¹¹

Tabla N°1. Composición química de los iniciadores de algunas municiones típicas.

Fuente: Elaboración propia con base en la referencia.¹¹

Munición		Composición química
Franklord Arsenal		Fulminato de mercurio, clorato de potasio, pólvora negra, polvo de vidrio y goma arábica
Rheinisch-Westfalischen Spengstoff (RWS)		DINOXID: estifnato de plomo, nitrato de bario, sulfuro de antimonio, dióxido de plomo, tetraceno, siliciuro de calcio y polvo de vidrio
Libre de plomo o no toxico	CCI Blazer libre de plomo	Tetraceno, 2,4-dinitrofenol (diazol), pólvora sin humo y nitrato de estroncio
	Winchester Winclean	2,4-dinitrofenol (diazol), nitrato de potasio, boro y nitrocelulosa

La composición de los iniciadores se ha ido modificando a lo largo de los años para reducir su toxicidad ambiental minimizando en su composición la presencia de sustancias tóxicas como el mercurio o los metales pesados o sus efectos corrosivos. Así en 1928, Rheinisch-Westfälischen Sprengstoff (RWS) desarrolló la primera composición de iniciadores no corrosiva y sin mercurio llamada SINOXID. Desde hace unos 70 años, la mezcla del estifnato de plomo, el nitrato de bario y el sulfuro de antimonio en iniciadores sin mercurio y no corrosivos es la que se ha empleado de forma mayoritaria. Este hecho explica el seguimiento de la triada plomo-antimonio-bario (Pb-Sb-Ba) para identificar los residuos de disparo. Sin embargo, hoy en día, para minimizar los metales pesados se emplean municiones con iniciadores compuestos de sustancias sin plomo y otros residuos metálicos como el bario

y el antimonio. Así, la munición CCI Blazer® Libre de plomo, contiene tetraceno, diazodinitrofenol, pólvora sin humo y nitrato de estroncio; mientras que la munición Winchester Winclean™ (como la munición 9 mm y 0.45ACP), contiene diazodinitrofenol, nitrato de potasio, boro y nitrocelulosa.¹¹

3.4 Análisis forense de los residuos de disparo

En un crimen con armas de fuego, los residuos de disparo pueden transferirse al tirador, al arma, a la víctima o al entorno circundante. Por esta razón, la capacidad de identificar los residuos de disparo es una parte muy importante y crucial de la investigación de la escena del crimen y puede proporcionar información valiosa para, identificar la presencia de estos residuos, averiguar el orificio de entrada de la bala o estimar la distancia de disparo. Esta información es muy útil para indicar si una persona pudo ser la ejecutora del disparo o al menos estuvo en el entorno cercano cuando se disparó, e incluso apoyar la hipótesis de lo ocurrido cuando se investiga si una muerte se debe a un suicidio o a un homicidio.¹¹

Para el análisis de estos residuos, lo primero que hay que tener en cuenta, son los aspectos particulares para su recolección. Esta puede hacerse empleando distintas estrategias. El Anexo N°2 muestra cómo los residuos de disparo pueden recogerse empleando un dispositivo para microscopía electrónica con cinta adhesiva, aspirándolos mediante vacío, atrapándolos mediante frotado de la superficie de interés con un hisopo de algodón, entre otros posibles métodos. Pero entre todos ellos, son los dispositivos de microscopía electrónica con adhesivo los que recomienda la guía ASTM E1588-174 para el análisis estándar de los residuos de disparo mediante microscopía electrónica de barrido con espectroscopía de rayos X por dispersión de energía (SEM-EDX). Las muestras pueden recogerse de las manos del tirador, del entorno del disparo (ropa o pelo del sospechoso), de la bala, de la diana sobre la que se ha disparado, de las superficies cercanas al punto de descarga o incluso de la propia arma si esta está disponible. Sin embargo, para el análisis de residuos de disparo provenientes del propulsor

se emplean otras técnicas de análisis como Raman, FTIR o técnicas cromatográficas.¹¹

Pero, además de los ingredientes energéticos que están en proporción mayoritaria (sobre el 90 % del total o incluso más), las pólvoras suelen tener otros componentes con propiedades estabilizantes, plastificantes, disolventes o de otro tipo.¹¹

Tabla N°2. Aditivos de las pólvoras basadas en nitrocelulosa según su propiedad.

Fuente: Elaboración propia con base en la referencia.¹¹

Propiedad	Sustancia
Material energético	Nitrocelulosa, nitroglicerina, nitroguanidina
Estabilizante	Difenilamina y sus derivados, etil o metil centralita
Plastificante	Nitroglicerina, éster de ftalato, nitroglicol, etilenglicol, etil centralita, dinitrotolueno, canfor, acetato de etilo
Disolvente	Acetato de etilo, etanol, acetona, isopropanol
Otros	<p>Modificadores: balísticos: plomo, cobre, cromo y sales de hierro</p> <p>Refrigerantes: sulfato de sodio, sulfato de magnesio, oxalato de sodio</p> <p>Material para recubierta de la superficie y antiestático: grafito</p> <p>Retardante de llama: cloruro de potasio, estaño</p> <p>Agente reductor de cobre: estaño, plomo-estaño, compuestos de plomo</p> <p>Inhibidores: estaño</p>

3.5. Diferentes técnicas instrumentales que se pueden emplear actualmente para la realización de residuos de disparo de arma de fuego.

En Química Forense se persigue el empleo de distintas técnicas analíticas para conseguir una identificación de sustancias (pruebas confirmatorias), una identificación de la clase o tipo de sustancias (pruebas presuntivas) o la comparación de muestras (pruebas de cotejo). Además, distintos grupos de trabajo en los que la identificación es importante. Atendiendo las recomendaciones de estos grupos de trabajo forenses.¹¹ (Tabla N°3)

Tabla N°3. Categorías de las técnicas analíticas dependiendo de su capacidad identificativa.

Fuente: Elaboración propia con base en la referencia.¹¹

CATERGORÍA I (técnicas con alta capacidad identificativa)	CATERGORÍA II (técnicas separativas con una capacidad identificativa intermedia)	CATERGORÍA III (técnicas con poca capacidad identificativa)
Espectroscopia infrarroja (IR)	Cromatografía de gases (GC)	Espectroscopia de absorción UV-Vis
Espectroscopia Raman	Cromatografía de líquidos de alta eficacia (HPLC) y Cromatografía en capa fina (TLC)	
Espectroscopia de masa (MS)	Cromatografía iónica (IC)	
Espectroscopia de rayos X por dispersión de energía (EDS o EDX)	Electroforesis capilar (CE)	

Teniendo en cuenta las muestras analizadas, a las técnicas analíticas incluidas en la tabla anterior y sus acoplamientos instrumentales, es preciso añadirles las técnicas de microscopía. (Tabla N°4)

Tabla N°4. Técnicas analíticas empleadas clasificadas según las muestras analizadas.

Fuente: Elaboración propia con base en la referencia.¹¹

Técnicas analíticas	Muestras analizadas
GC-MS LC-MS	Tóxicos: drogas y muestras toxicológicas (post-mortem y en sujetos vivos).
GC-MS	Incendios: acelerantes de la combustión.
RAMAN IR SEM-EDX HPLC-MS IC O CE	Explosivos en residuos post explosión y de disparo.
Microscopía óptica SEM.EDX Microespectrometría UV-Vis IR RAMAN	Vestigios/trazas materiales: fibras, pinturas, vidrios y suelos.

3.6. Principios de espectroscopia infrarroja

La espectroscopia infrarroja (IR) mide la absorción molecular producida cuando la muestra interacciona con fotones de una fuente de radiación IR. Esta absorción de energía produce vibraciones moleculares y rotaciones incluyendo estiramientos simétricos y asimétricos, tijereteo, balanceo, movimiento arriba-abajo o zigzagueante. Una vibración es activa en IR cuando se induce un cambio en su momento dipolar. Si imaginamos la molécula de

dióxido de carbono a nivel molecular, con sus vectores del momento dipolar debido a la disposición de sus átomos, y la nube electrónica asociada a cada átomo.¹¹

Desde el punto de vista instrumental, los espectrómetros más utilizados hoy en día están constituidos por un interferómetro y aplican la transformación matemática de Fourier (FT) para obtener los espectros IR (registro de la intensidad de absorción o transmitancia en función de número de onda en cm^{-1}). Estos espectrómetros FTIR constan de los siguientes componentes básicos: la fuente de radiación IR, el interferómetro, componentes ópticos para conducir la radiación IR desde la fuente hasta el detector, el detector y un ordenador para el control y adquisición de datos. La fuente IR es un material refractario (óxidos de tierras raras o carburo de silicio, entre otros) calentado a alta temperatura (1000-1800 °C) por medio de un filamento metálico. Cada fuente tiene un intervalo de temperaturas de funcionamiento que se controla mediante un sistema de refrigeración. La luz de la fuente se dirige hacia el interferómetro, que incluye un divisor de haz, un espejo fijo y otro móvil y un láser (helio-neón que emite a 632,8 nm). El láser permite calibrar la escala de números de onda del espectro IR, determinar la ubicación del espejo móvil y comprobar y alinear la óptica del interferómetro. En el interferómetro, el espejo en movimiento se mueve adelante-atrás a una velocidad constante, lo que hace que la intensidad del haz recombinado varíe de una manera sinusoidal para producir el patrón de interferencia. La luz recombinada del interferómetro se dirige a la muestra y finalmente se registra por el detector. Los dos detectores más populares son el detector piroeléctrico deuterado sulfato de triglicina, que funciona a temperatura ambiente y el detector de fotones temio de mercurio que es más sensible, pero necesita refrigeración con nitrógeno líquido. El detector está conectado a un ordenador que permite controlar el sistema, configurar los parámetros instrumentales que afectan al espectro IR (el número de escaneos y el tiempo de exposición) y tratar los datos obtenidos.¹¹

Para el análisis de muestras de vestigios o trazas materiales, como fibras y pinturas, la microscopía FTIR es de enorme utilidad. Esta técnica es el resultado de acoplar la microscopía a la espectroscopía FTIR y permite aunar la información química de esta espectroscopía con la capacidad de medir muestras de tan solo unas micras.¹¹

CAPITULO IV
DISEÑO METODOLOGICO

4.0. DISEÑO METODOLOGICO

4.1. Tipo de estudio:

La investigación se realizó mediante la aplicación de un estudio de tipo bibliográfico y documental.

- Bibliográfico: La investigación se realizó por medio de una búsqueda en diferentes fuentes bibliográficas primarias, que proporcionan la información adecuada sobre el tema de la balística forense para hacer una selección y recopilación de métodos que puedan emplearse para brindar una alternativa en la identificación de residuos de disparo.
- Documental: La investigación se realizó a través de la consulta de documentos (libros, revistas, artículos, etc.) como evidencia para indicar de donde se extrajo la información y poder sustentar con argumentos la propuesta de identificación nitrocelulosa basado en las teorías ya existentes.

4.2. Investigación bibliográfica:

Esta se llevó a cabo utilizando material bibliográfico obtenido de:

- Biblioteca Central de la Universidad de El Salvador, campus central (UES)
- Biblioteca "Dr. Benjamín Orozco" Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador.
- Biblioteca digital de la Universidad de El Salvador y bases de datos pertenecientes al sistema bibliotecario universitario.
- Artículos y revistas científicas.

- Bases de datos encontradas en internet. (EBSCO, Sci-hub, Google académico, NIST, etc.)

4.3. Procedimiento

Debido a que la investigación desarrollada fué completamente de carácter bibliográfico, esta se ejecutó mediante etapas, con la finalidad de seleccionar el material bibliográfico de mayor utilidad para los fines de esta investigación.

Las etapas fueron divididas de la siguiente manera:

4.3.1. Búsqueda del material bibliográfico para su selección.

La búsqueda del material bibliográfico se hizo a través de:

Las palabras clave o frases utilizadas para la búsqueda del material bibliográfico fueron: análisis de residuos de disparo, nitrocelulosa como residuos de disparo, identificación de residuos de disparo en prendas de vestir dentro de su contenido; para el caso de los recursos digitales se hizo uso de palabras clave para facilitar la delimitación de información, algunos ejemplos de palabras claves fueron: balística forense, armas de fuego, residuos de disparo, nitrocelulosa y espectroscopia infrarroja; cabe destacar que las palabras claves fueron escritas en inglés o en español para ampliar la obtención de material.

4.3.2. Selección y análisis de documentos.

Una vez recopilados los libros, artículos, trabajos de grado, revistas científicas y monografías a utilizar, fueron agrupados mediante el uso del software de manejo de referencias “Mendeley”, cuya función fue organizar por medio de filtros los documentos seleccionados. Cabe mencionar que esta herramienta fue utilizada únicamente con aquellos recursos obtenidos de manera digital.

La utilización de esta herramienta fué importante, ya que permitió descartar todos aquellos textos o títulos que no contenían información sobre el tema, y que no poseían importancia o relevancia para la investigación.

En el caso del recurso bibliográfico que se consultó en físico se realizó una lectura rápida del título, introducción, índice y conclusiones, con el fin de identificar cuales recursos aportaban información relevante para la compilación. Al finalizar se seleccionaron algunos documentos de interés sobre el tema, se procedió con la lectura de cada uno de ellos.

Después de la lectura y análisis, se seleccionó solo aquella información pertinente y necesaria para la fundamentación de esta investigación sobre identificación de residuos de disparo en prendas de vestir, utilizando espectroscopia infrarroja.

4.3.3. Diseño de una Práctica de laboratorio.

Una vez finalizada la lectura de cada uno de los recursos bibliográficos seleccionados, se reunió la información más relevante para la fundamentación del tema y del método de análisis a ser aplicado para diseñar una práctica de laboratorio que permitirá brindar una alternativa para identificar la presencia de nitrocelulosa en residuos de disparo provenientes de armas de fuego utilizando un método alternativo como lo es la espectroscopia infrarroja para la identificación. El diseño de la práctica de laboratorio se realizó con base en los lineamientos establecidos. (Anexo N°1)

CAPITULO V
PRACTICA DE LABORATORIO

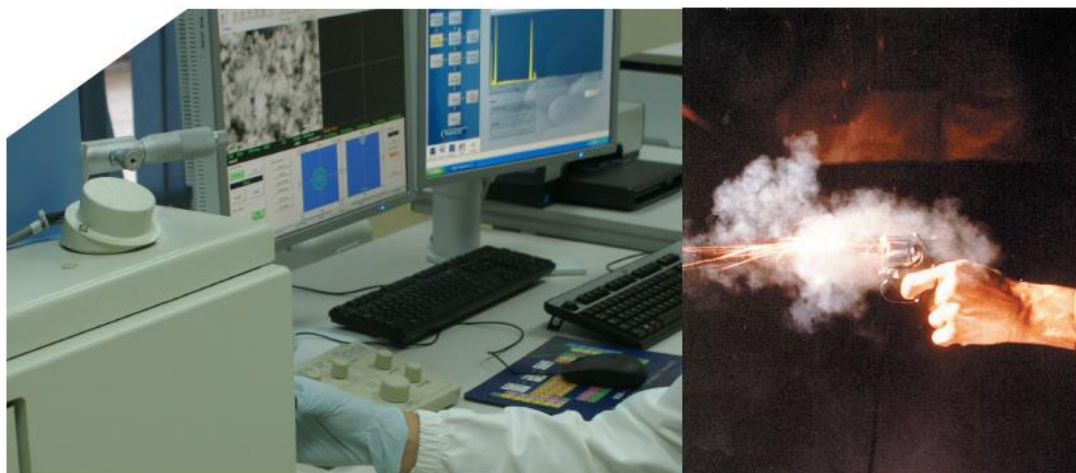
5.0 PRACTICA DE LABORATORIO

Debido a que la nitrocelulosa es uno de los componentes presentes en la pólvora blanca y por tanto debe de encontrarse entre los residuos de disparo por arma de fuego y en base a los conocimientos adquiridos a lo largo de la Licenciatura en Química y Farmacia, en este capítulo se presenta como propuesta un método para la identificación de nitrocelulosa en prendas de vestir por medio de la espectroscopia infrarroja; para ello se fundamenta la utilización del método de espectroscopia infrarroja y se proporcionan algunos conocimientos previos que se deben comprender y tomar en cuenta antes de realizar la práctica, los materiales, equipo y reactivos que se utilizan y se detalla paso a paso el procedimiento de la práctica de laboratorio, además de un esquema que facilita la comprensión de los pasos a seguir.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA



“IDENTIFICACION DE NITROCELULOSA PROVENIENTE DE RESIDUOS
DE DISPARO POR ARMA DE FUEGO EN PRENDAS DE VESTIR,
UTILIZANDO ESPECTROSCOPIA INFRARROJA”



5.1 Objetivos:

- Determinar cualitativamente la presencia de nitrocelulosa, en prendas de vestir que contenga residuos de disparo.
- Analizar por espectrofotometría infrarroja transformada de Fourier las muestras recolectadas de prendas de vestir que contengan residuos de disparo.
- Comparar el espectro obtenido junto al espectro de una sustancia estándar de nitrocelulosa.

5.2 Fundamento Teórico:

Los estudios analíticos infrarrojos se basan en la absorción (o reflexión) de la radiación electromagnética que se encuentra entre 1 y 1000 μm . Esta es una de las técnicas espectro magnéticas más comunes utilizadas para la identificación de compuestos y la medición de concentración en muchas muestras. Este rango espectral se subdivide en tres áreas más pequeñas, el infrarrojo cercano (1-2.5 μm), el infrarrojo medio (2.5-50 μm) y el infrarrojo lejano (más allá de 25 μm). Aunque el infrarrojo cercano es pobre en absorciones específicas, se considera un método importante para aplicaciones cuantitativas. Por el contrario, la región infrarroja media proporciona más información sobre las estructuras de los compuestos y, en consecuencia, se usa mucho como procedimiento para identificar compuestos orgánicos para los que sigue siendo una forma de huella digital de grupos funcionales. El infrarrojo lejano requiere el uso de fuentes y materiales ópticos especializados. Para realizar estos análisis hay una gama compuesta de instrumentos de espectrómetros de transformada de Fourier a una multiplicidad de analizadores de tipos dispersivos o no dispersivos, especializados en la medición de compuestos predefinidos (análisis de gases o vapor) o que permiten análisis continuos en líneas de producción. La espectrometría infrarroja por transformada de Fourier ofrece numerosas

posibilidades para el tratamiento de espectros y tiene aplicaciones para el análisis de micro muestras estructuradas (microanálisis infrarrojo).

Los espectrómetros de IR convencionales se componen de una fuente de luz infrarroja, componentes ópticos (espejos, lentes, divisores de haz, etc.) construidos con materiales adecuados no absorbentes en el IR (típicamente sales como KBr o NaCl) y un fotodetector sensible a la luz IR. La fuente de luz IR es un filamento que se mantiene al rojo vivo mediante el paso de corriente eléctrica. El espectro de emisión de una fuente de este tipo es la correspondiente a un cuerpo negro con la temperatura del filamento. El espectrómetro que utilizaremos en esta práctica cubre gran parte de infrarrojo (de 7500 a 400 cm^{-1}) y utiliza un filamento a 2500K.

Los espectrofotómetros infrarrojos más modernos son del tipo FTIR (infrarrojo por transformada de Fourier). En la Figura 3 se muestra un esquema del sistema óptico de un espectrofotómetro FTIR, cuyo componente esencial es un interferómetro de Michelson que está formado por un divisor de haz y dos espejos, uno fijo y otro móvil. Cuando la luz colimada procedente de la fuente incide sobre el divisor de haz se divide en dos rayos que se reflejan en cada uno de los espejos y vuelven al divisor de haz, donde se recombinan y salen del interferómetro para ser finalmente conducidos por un sistema de espejos a través de la muestra y hasta el detector. El objeto de dividir el haz es conseguir la interferencia de dos rayos de luz infrarroja que recorren distancias distintas. Esta diferencia de distancia se regula con la posición del espejo móvil. Es posible demostrar que la Transformada de Fourier del correspondiente interferograma es el espectro de absorción IR de la muestra.

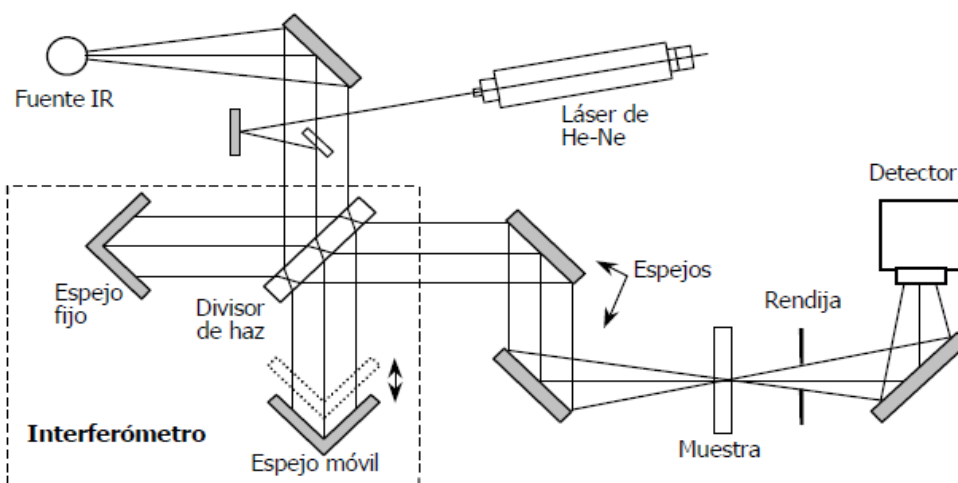


Figura N°3 Esquema del sistema óptico de un espectrofotómetro FTIR.¹²

La información de absorción infrarroja, que varía con las longitudes de onda de radiación seleccionadas, generalmente se presenta en forma de espectro, que es el documento básico emitido por el espectrómetro. La ordenada del gráfico registra la relación de las intensidades transmitidas, es decir con y sin muestra, calculada por cada longitud de onda marcada en la abscisa. Esta relación se llama transmitancia (T); en el gráfico, a menudo se reemplaza por el porcentaje de transmitancia o la absorbancia (A), el logaritmo de la base 10 del recíproco de la transmitancia: $A = \log_{10} 1/T$. Finalmente, ha llegado a ser apropiado sustituir los valores de las longitudes de onda por si equivalente expresado en número de onda cuyas unidades en cm^{-1} ($\tilde{\nu} \text{cm}^{-1} = 1/\lambda \text{cm}$).

5.3 Equipo, Materiales y Reactivos:

- Equipo
 - Espectrofotómetro infrarrojo
 - Prensa

- Materiales
 - Indumentaria de Bioseguridad (gabacha, guantes, lentes, cubre bocas)
 - Muestra de tela con indicios de residuos de disparo
 - Beakers
 - Espátula
 - Mortero y pistilo

- Reactivos
 - Nitrocelulosa
 - Acetona
 - KBr
 - Cloruro de Metileno

5.4 Conocimientos Previos.

Conocimientos técnicos de laboratorio analítico e instrumental, buenas prácticas de laboratorio.

Para realizar el procedimiento de la cadena de custodia que debe seguir la evidencia antes de su análisis, es necesario tener claro su ubicación, fijación, recolección, embalaje y traslado de la misma, cuando se recolecta en la escena del crimen garantizando que el procedimiento empleado ha sido exitoso. El procedimiento a seguir es el siguiente:

- 5.4.1. Recolección: esta etapa incluye la recolección y el embalaje individualmente de los indicios para no alterar, modificar o contaminarlos, teniendo las medidas de bioseguridad necesarias para conservarlos en su forma original; realizando el levantamiento de la respectiva acta y la debida identificación (rotulado) de los indicios descubiertos o identificados.
- 5.4.2. Transporte: tomando en cuenta la naturaleza del indicio, las condiciones climatológicas, la temperatura, la presión, el

movimiento se realiza una viñeta con la duración del indicio y se describe el tipo de transporte o traslado con todas las precauciones que se debe tomar en cuenta, para garantizar la integridad de la muestra, ya que de lo contrario puede producir la alteración o destrucción del indicio, en el traslado desde la recolección hasta el lugar donde se realizarán los análisis pertinentes.

- 5.4.3. Conservación: se debe embalar y almacenar en un lugar adecuado y seguro, donde no tengan acceso personas ajenas a su análisis, para conservar su inalterabilidad y evitar una contaminación, deterioro o destrucción.

5.5 PROCEDIMIENTO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE NITROCELULOSA PROVENIENTE DE RESIDUOS DE DISPARO POR ARMA DE FUEGO EN PRENDAS DE VESTIR, UTILIZANDO ESPECTROSCOPIA INFRARROJA.¹²

Nota: Antes de iniciar con el procedimiento se debe colocar la gabacha, guantes, lentes, cubre bocas para evitar contaminar la muestra a analizar.

- 5.5.1 Recorte un trozo de tela alrededor del área donde hizo contacto la bala o en el caso que la muestra es de quien disparó el arma recortar de la parte frontal de la camisa.
- 5.5.2 En un beaker colocar el trozo con medida 10 cm x 10 cm de tela y cubrir con acetona. Espere unos minutos mientras los compuestos se solubilizan.
- 5.5.3 Retirar la prenda de la solución.
- 5.5.4 Dejar que se evapore la solución de acetona.
- 5.5.5 Con la ayuda de un mortero y pistilo homogenizar 150 mg KBr más 2mg del residuo que genera la muestra cuando se volatiliza la acetona.
- 5.5.6 Adicionar 1-2 gotas de cloruro de metileno, para obtener un disco homogéneo y tener un espectro puro y eliminar así los aditivos que puedan servir de interferencia en el análisis.
- 5.5.7 Comprimir la molienda con la mano o prensa hidráulica para formar un disco claro.
- 5.5.8 Colocar la muestra en el equipo de espectroscopia infrarroja y poder a analizar la muestra a una longitud de onda entre 4000 y 1300 cm^{-1} .
- 5.5.9 Guardar el espectro de la muestra, para su posterior comparación con un patrón de nitrocelulosa calidad reactivo.
- 5.5.10 Repetir el proceso con una muestra de nitrocelulosa reactivo.

Esquema de trabajo

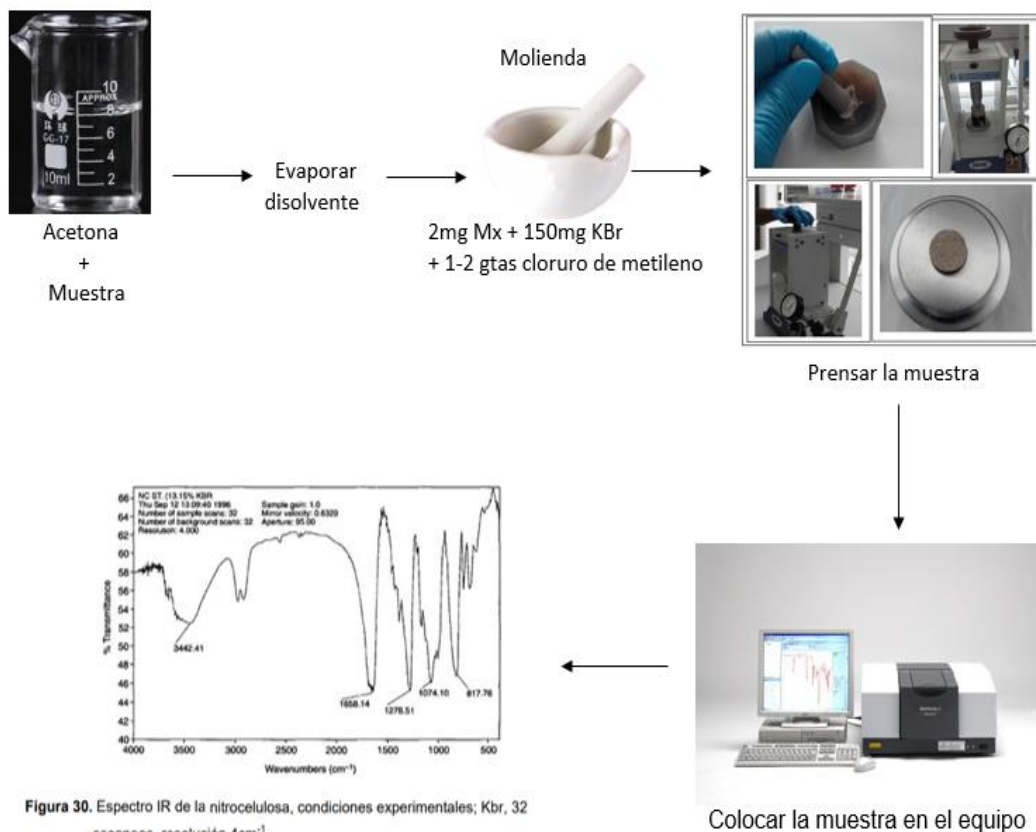


Figura 30. Espectro IR de la nitrocelulosa, condiciones experimentales; Kbr, 32 escaneos, resolución 4cm^{-1} .

Figura N°4 Esquema de trabajo

Fuente: Elaboración propia

Bibliografía:

Suárez Ramírez B. Guía de análisis forense post-exposición para explosivos de baja potencia. [Tesis para obtener por el título de Químico Farmacéutico Biólogo] México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, 2014. Disponible en: https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/qfb/tesis/tesis_suarez_ramirez_bernal.pdf

CAPITULO VI
CONCLUSIONES

6.0 CONCLUSIONES

1. EL análisis orgánico es fundamental en la identificación de compuestos, en el caso de la nitrocelulosa no cuenta con mucha información al respecto, por lo que con esta investigación se brindara un método alternativo para la identificación de nitrocelulosa por medio de espectroscopia infrarroja, que puede ser aplicada al área de investigación criminal.
2. La propuesta de práctica de laboratorio presentada como producto de esta investigación contribuye en la actualización de prácticas de laboratorio en el área forense en vista que la Facultad de Química y Farmacia cuenta con el equipo de espectrofotómetro Infrarrojo.
3. La implementación de la práctica de laboratorio diseñada en esta investigación, constituirá una experiencia de gran utilidad en la aplicación de conocimientos teóricos y prácticos de los estudiantes.
4. La implementación del curso de especialización de Análisis Químico Aplicado a la Investigación Criminal es de mucha utilidad para la aplicación de conocimientos teóricos y prácticos adquiridos en la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador, para las mejoras frente a los avances tecnológicos.

CAPITULO VII
RECOMENDACIONES

7.0 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los estudiantes de la asignatura Química Forense y Toxicología, realizar un estudio más exhaustivo al implementar el método para poder determinar de manera más precisa los espectros obtenidos tanto en prendas de vestir que contengan residuos de pólvora negra como en prendas con residuos de pólvora blanca, efectuando sus comparaciones,
2. Se recomienda a las autoridades de la Facultad de Química y Farmacia gestionar mediante las autoridades pertinentes documentos y algunas muestras de pólvora y muestras de prendas de vestir con residuos de disparo, para analizarlas y obtener un banco de espectros infrarrojos que sirvan de manera educativa.
3. Se recomienda a la Coordinación de la asignatura de Química Forense y Toxicología de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador, implementar la práctica de laboratorio diseñada en nuestra investigación.

BIBLIOGRAFIA

1. Ladero, R. R., Ruiz, C. G., López, M. L., & Roldán, M. T. (2009). La nitrocelulosa en explosivos: propiedades y caracterización química. In Anales de la Real Sociedad Española de Química (No. 4, pp. 265-270). Real Sociedad Española de Química.
2. Hernández, A. M. B., & Laura, I. W. L. (2018). Determinación de Residuos de Disparo por Arma de Fuego mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica. REVISTA MEXICANA DE MEDICINA FORENSE Y CIENCIAS DE LA SALUD, 3(1).
3. Flores R. 876 armas de fuego coinciden en múltiples escenas [Internet]. La Prensa Gráfica. 2022 [citado 20 enero 2019]. Disponible en: <https://www.laprensagrafica.com/elsalvador/876-armas-de-fuego-coinciden-en-multiples-escenas-20190120-0159.html>
4. Fiscalía General de la Republica. Manual de procesamiento de la escena del delito. Disponible en: https://escuela.fgr.gob.sv/wp-content/uploads/Leyes/Leyes2/Manual_Procesamiento_Escena_del_Delito.pdf
5. La tragedia de las armas | Noticias UCA. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. <https://noticias.uca.edu.sv/editoriales/la-tragedia-de-las-armas>.
6. InSight Crime. «Balance de InSight Crime de los homicidios en 2021», 1 de febrero de 2022. <https://es.insightcrime.org/noticias/balance-insight-crime-homicidios-2021/>.

7. Portal de Transparencia del Órgano Judicial. Instituto de Medicina Legal. [Internet] El Salvador: [Consultados abril de 2021] Disponible en: <https://transparencia.oj.gob.sv/es/lectura/18304>
8. Sevilla Royo T. Balística forense y armamento [En Línea]. Panamá: Editorial Seguridad y Defensa, 2014. Disponible en: <https://elibro.net.minerva.remotexs.co/es/ereader/biblioues/119436?page=8>
9. Moreno González, L. Rafael. *Balística forense*. 3. ed., corr.Aum. México: Porrúa, 1986.
10. Corte esquemático de un cartucho de munición de proyectil único. Ibáñez Peinado J. Técnicas de investigación criminal (2a. ed.) [En Línea]. Madrid: Dykinson, 2015. Disponible en: <https://elibro.net.minerva.remotexs.co/es/ereader/biblioues/96849?page=58>
11. García Ruiz C. Introducción a la Química Forense [En Línea]. Barcelona: J.M. BOSCH EDITOR, 2020. Disponible en: <https://elibro.net.minerva.remotexs.co/es/ereader/biblioues/174455?page=407>
12. Suárez Ramírez B. Guía de análisis forense post-explosión para explosivos de baja potencia. [Tesis para obtener por el título de Químico Farmacéutico Biólogo] México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, 2014. Disponible en: https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/qfb/tesis/tesis_suarez_ramirez_bern_al.pdf

ANEXOS

ANEXO 1

LINEAMIENTOS PARA LA ELABORACION DE LA PRÁCTICA

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA**

**CURSO DE ESPECIALIZACIÓN
“ANÁLISIS QUÍMICO APLICADO A LA INVESTIGACIÓN CRIMINAL”
ESTRUCTURA DE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO**

El presente documento establece el contenido a ser considerado para la estructuración de la propuesta de práctica de laboratorio, que presentarán los egresados al concluir el Curso de Especialización y contendrá los siguientes apartados:

Portada:

Nombre de la Facultad (Centrado)

Nombre de la Práctica (Centrado)

Imagen alusiva a la temática (Centrado)

Objetivos:

Establecer un mínimo de tres Objetivos, no es necesario diferenciar entre objetivo general y específicos.

Fundamento Teórico:

Deberá incluirse el fundamento químico, puede incluirse reacciones químicas que ayuden a la comprensión del tema.

Equipo, Materiales y Reactivos:

Debe desglosarse cada uno de estos requerimientos para el desarrollo de la práctica.

En cuanto del equipo deben ser incluidas las especificaciones.

Los materiales deben ser detallados, de igual manera se deberán incluir las especificaciones.

Los reactivos, deben detallarse los que se utilizarán en estado puro y los preparados, incluyendo información como concentraciones, en caso de ser necesario.

Conocimientos Previos:

Plasmar cualquier conocimiento previo que sea necesario para que el estudiante comprenda de manera íntegra la práctica que va a desarrollar y que no se contempla en el fundamento teórico.

Procedimiento:

Deberá ser presentado paso a paso de manera secuencial, podrá incluir un esquema que permita visualizar mejor el proceso.

Referencias Bibliográficas:

De acuerdo a Normas VANCOUVER

Anexos:

Principalmente los que complementen al apartado de Equipo, Materiales y Reactivos; para este último se deberá incluir la forma de preparación de aquellos que no se utilicen en forma pura.

La práctica diseñada, constituirá un capítulo del informe final, como producto de haber concluido el Curso de Especialización, como modalidad de trabajo de grado.

ANEXO N°2:



Figura N°5 Formas posibles de toma de muestras de residuos de disparo.¹¹