



**Universidad Autónoma Metropolitana**

**Unidad Xochimilco**

División de Ciencias Biológicas y de la Salud

Licenciatura en Química Farmacéutica Biológica

Informe de conclusión para “Actividades relacionadas con la profesión” del servicio social.

***“Mejora Continua de los Procesos Jurídicos, Administrativos, Económicos, Tecnológicos y de Comunicación de la Fiscalía General de la República.”***

**Autor:** Ayala González Brenda Denisse

**Matrícula:** 2192051293

**Asesor interno:** M. en C Francisco López Naranjo

**Núm. Económico:** 18198

**Asesor externo:** Lic. Irma González Hernández

**Núm. Cédula:** 3372323

**Lugar de realización:** Unidad de Laboratorios Criminalísticos del Centro Federal Pericial Forense de la Fiscalía General de la República

**Fecha de inicio y de término:** 01 de febrero al 01 de agosto del 2024

CDMX, Septiembre 2024

**Asesor interno**

M en C Francisco López Naranjo  
División CBS- Dpto de Sistemas  
Biológicos  
N.º económico: 18198

**Asesor externo**

Lic. Irma González Hernández  
Centro Federal Pericial Forense  
N.º cédula: 3372323

# Índice

<b>Introducción.....</b>	<b>3</b>
<b>Objetivo general .....</b>	<b>3</b>
<b>Objetivos particulares.....</b>	<b>4</b>
<b>Descripción específica de las actividades desarrolladas .....</b>	<b>4</b>
1. Limpieza de equipos e instrumentos .....	4
2. Verificar el funcionamiento del equipo.....	5
3. Preparación de soluciones de trabajo .....	5
Metodología solución buffer de fosfatos .....	6
Metodología solución estándar (cloroformo:difenilamina).....	7
<b>4. Análisis, extracción e identificación de analitos presentes en muestras de fentanilo.....</b>	<b>8</b>
Metodología para la cuantificación del fentanilo por GC/MS .....	10
Resultados de GC/MS .....	11
Análisis y discusión de resultados de GC/MS.....	13
Metodología para determinar el agente de corte por FTIR-ATR.....	15
Resultados de FTIR-ATR.....	16
Análisis y discusión de resultados de FTIR-ATR.....	17
<b>5. Elaboración y organización de documentos .....</b>	<b>18</b>
<b>Descripción del vínculo de las actividades desarrolladas con los objetivos de formación del plan de estudios de la Universidad Autónoma Metropolitana</b>	<b>18</b>
<b>Conclusión.....</b>	<b>19</b>

## **Introducción**

La Fiscalía General de la República (FGR), según lo establecido en su sitio web oficial, es un órgano constitucional autónomo cuyos propósitos incluyen la investigación de delitos y el esclarecimiento de hechos, otorgar la procuración de justicia efectiva y legalmente fundamentada para combatir y reducir la inseguridad, la prevención del delito, el fortalecimiento del Estado de derecho en México, la persecución del culpable para evitar la impunidad.<sup>1</sup>

Un componente central del compromiso social de la FGR es la protección y promoción de los derechos humanos. Esta institución se dedica a asegurar que los derechos de las víctimas y de la sociedad sean respetados y garantizados, incluyendo los derechos de verdad, reparación integral y no repetición. Además, se compromete a actuar con transparencia y rendir cuentas a la sociedad, asegurando que sus acciones y decisiones sean claras y accesibles al público. Para optimizar sus recursos y mejorar su eficacia, la FGR utiliza tecnologías de vanguardia y fomenta la profesionalización continua de su personal. Este compromiso integral refleja su enfoque en promover una justicia equitativa y fortalecer la confianza en el sistema de justicia mexicano.<sup>1</sup>

Dentro de la estructura de la FGR se encuentra la Agencia de Investigación Criminal (AIC), la cual tiene la finalidad de convertirse en un referente nacional e internacional en la investigación del delito y la lucha contra los grandes mercados criminales, mediante la aplicación de métodos, técnicas y estrategias táctico-operativas avanzadas, así como el uso de tecnologías de vanguardia, con el fin de optimizar los recursos materiales y humanos y fomentar la integración y profesionalización continua del personal.<sup>2</sup>

La transparencia y la rendición de cuentas son pilares fundamentales del compromiso social de la AIC. La agencia se esfuerza por actuar con transparencia en todas sus acciones y decisiones, asegurando que sus procesos sean claros y accesibles al público. Este enfoque integral refleja la dedicación de la AIC a promover una justicia efectiva, proteger los derechos humanos y fortalecer la confianza de la sociedad en el sistema de justicia penal.<sup>2</sup>

### **Objetivo general**

- Optimizar la eficiencia y precisión en los procesos de extracción, análisis e identificación de muestras de fentanilo mediante el uso adecuado de equipos especializados y la implementación de los conocimientos químicos, con el propósito de mejorar la calidad y confiabilidad de los resultados obtenidos, y así lograr contribuir al avance científico.

## **Objetivos particulares**

- Describir detalladamente las actividades desarrolladas durante el servicio social.
- Analizar el vínculo entre las actividades realizadas y los objetivos de formación del plan de estudios de la Universidad Autónoma Metropolitana.

## **Descripción específica de las actividades desarrolladas**

### **1. Limpieza de equipos e instrumentos**

Se llevó a cabo la limpieza general de los equipos y materiales de laboratorio, incluyendo balanzas analíticas, cromatógrafos de gases, espectroscopios IR, matraces volumétricos, tubos de ensayo, espátulas y otros instrumentos. Este proceso es crucial para eliminar residuos y evitar contaminaciones, garantizando así la precisión y fiabilidad de los resultados experimentales, además de cumplir con las normas de calidad.

Primero, para la limpieza de la balanza analítica nos aseguramos que esté completamente apagada. Posteriormente, se retiró el plato de pesaje y con ayuda de una brocha eliminamos el polvo o las partículas presentes en el equipo. Luego, con un paño húmedo en alcohol isopropílico al 70%, limpiamos tanto el interior como el exterior de la balanza. Finalmente, se colocó nuevamente el plato de pesaje y se calibró el equipo. Al seguir estos pasos, nos aseguramos que la balanza analítica se mantenga en buenas condiciones y proporcione mediciones precisas.

Para el cromatógrafo de gases, se inició retirando cuidadosamente la microjeringa del equipo para poder realizar su limpieza. El procedimiento se basa en llenar y purgar la microjeringa varias veces con dos solventes adecuados, para asegurar la disolución completa de las muestras previamente inyectadas. Después, se insertó la microjeringa y se verificó que el sistema de limpieza del equipo tenga los disolventes apropiados, comenzando con uno polar, como el agua destilada, seguido de uno menos polar, como el acetato de etilo.

En el caso del espectro IR, la limpieza es similar a la de la balanza analítica. Primero, aseguramos que el equipo esté apagado. Luego, usamos una brocha para eliminar el polvo y, con un paño húmedo en agua, se limpió el plato, el punzón y el diamante del equipo, con el propósito de eliminar cualquier rastro de las muestras previamente analizadas. Finalmente, secamos bien todo el espectro.

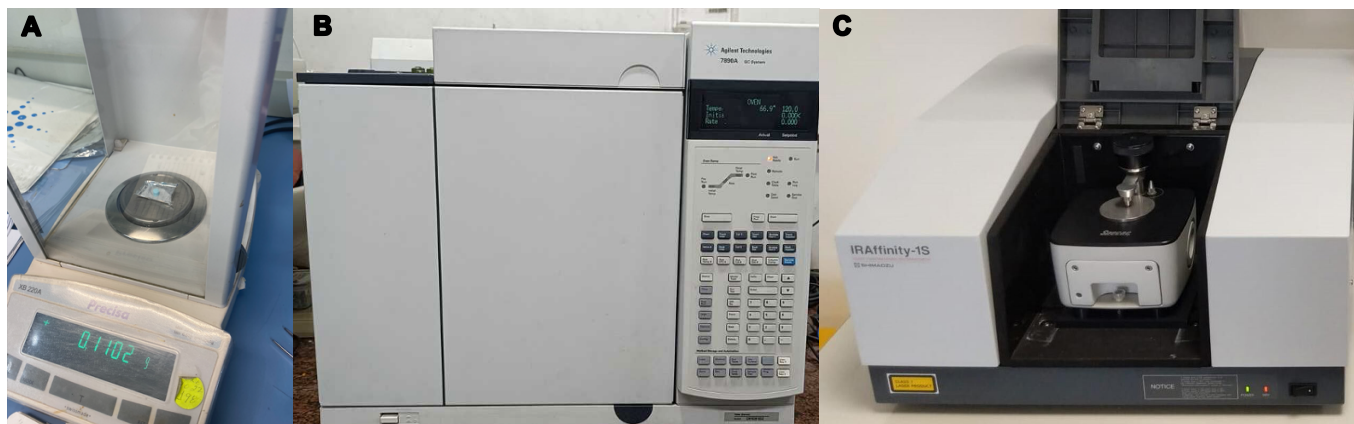
Por último, se recomienda lavar todo el material de laboratorio con detergente y desinfectarlo con alcohol isopropílico al 70% antes y después de su uso.

## 2. Verificar el funcionamiento del equipo

Antes de analizar las muestras, es necesario verificar el funcionamiento del equipo para asegurar que opera de manera óptima, garantizando la precisión y exactitud de los resultados obtenidos. Esta verificación también ayuda a cumplir con las normativas y estándares de calidad, que exigen revisiones regulares del equipo, y contribuye a evaluar la seguridad en el laboratorio, reduciendo así los riesgos dentro de las instalaciones.

Para comenzar, nos aseguramos de que las balanzas estén limpias, correctamente calibradas y que enciendan adecuadamente antes de realizar cualquier pesaje de los analitos (Figura 1A). En cuanto al cromatógrafo, es crucial verificar que se haya seleccionado el método adecuado para el analito y ser cuidadoso al ingresar la información (Figura 1B). También es necesario comprobar que haya un flujo adecuado de aire y gases acarreadores hidrógeno ( $H_2$ ) y helio ( $He$ ) y verificar que el sistema de inyección tenga los disolventes necesarios para limpiar la microjeringa y evitar la contaminación de la muestra.

Finalmente, para el espectrofotómetro infrarrojo (IR), comenzamos verificando si el equipo enciende correctamente y se deja calentar durante el tiempo recomendado por el fabricante (Figura 1C). Posteriormente, se abre el software y se crea un nuevo documento para evitar la pérdida de información. Antes de analizar la muestra, se debe realizar una limpieza y una medición de fondo (background scan) sin ninguna muestra en el haz de luz para establecer una línea base de referencia.



**Figura 1. Fotografías de los equipos. (A) Balanza analítica. (B) Cromatógrafo de gases acoplado a espectrometría de masas. (C) Espectro infrarrojo FTIR con un accesorio de reflectancia total atenuada (ATR).**

## 3. Preparación de soluciones de trabajo

Se llevó a cabo la preparación de diversas soluciones de trabajo, que incluyen soluciones buffer de fosfato y soluciones estándar.

Las soluciones buffer tienen la función de mantener un pH constante en los sistemas de análisis, incluso cuando se le adicionan otros ácidos o bases. Estas soluciones son fundamentales porque ayudan a obtener resultados experimentales precisos y reproducibles, evitando errores causados por las variaciones en el pH. Además, protegen las muestras y reactivos sensibles a estos cambios, previniendo reacciones adicionales que podrían alterar los resultados.<sup>3,4</sup>

Por otro lado, las soluciones estándar son esenciales para la calibración y validación de los equipos. También, permiten realizar análisis cuantitativos con concentraciones específicas de solutos en los disolventes. Su objetivo es validar y verificar métodos analíticos, asegurando que los procedimientos utilizados sean precisos y confiables. Además, contribuyen al cumplimiento de los estándares de control de calidad.<sup>5,6</sup>

### Metodología solución buffer de fosfatos

Para la preparación de una solución buffer de fosfato de dihidrógeno de sodio ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y fosfato de monohidrógeno de sodio ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). Se determinaron las concentraciones necesarias empleando la ecuación de Henderson-Hasselbalch, la cual relaciona el pH deseado de la solución con las concentraciones del ácido y su base conjugada.

$$pH = pka + \log \left( \frac{[\text{Base conjugada}]}{[\text{Ácido débil}]} \right)$$

En esta ecuación, el fosfato monohidrogenado ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) actuó como la base conjugada y el fosfato de dihidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_4\text{P}^-$ ) como el ácido débil, teniendo un pKa de 7.2. Para determinar la relación de concentración necesaria, se sustituyeron los datos en la ecuación de Henderson-Hasselbalch:

$$pH = pka + \log \left( \frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{O}_4\text{P}^-]} \right)$$

$$7.7 = 7.2 + \log \left( \frac{\text{HPO}_4^{2-}}{\text{H}_2\text{O}_4\text{P}^-} \right) \quad \rightarrow \quad 7.7 - 7.2 = \log \left( \frac{\text{HPO}_4^{2-}}{\text{H}_2\text{O}_4\text{P}^-} \right)$$

$$0.5 = \log \left( \frac{\text{HPO}_4^{2-}}{\text{H}_2\text{O}_4\text{P}^-} \right) \quad \rightarrow \quad 10^{0.5} = \left( \frac{\text{HPO}_4^{2-}}{\text{H}_2\text{O}_4\text{P}^-} \right)$$

$$3.16 = \left( \frac{\text{HPO}_4^{2-}}{\text{H}_2\text{O}_4\text{P}^-} \right)$$

Este resultado significa que la concentración de  $\text{HPO}_4^{2-}$  debe ser aproximadamente 3.16 veces más, la concentración de  $\text{H}_2\text{O}_4\text{P}^-$ . Por lo tanto, para preparar 100 mL de la solución buffer con una concentración total de fosfatos de 0.1 M, se realizaron los siguientes cálculos para determinar las concentraciones de cada compuesto:

**Ecuación 1:**

$$x + 3.16x = 0.1 \text{ M} \rightarrow 4.16x = 0.1 \text{ M}$$

$$x = \frac{0.1}{4.16} = 0.024 \text{ M de } \text{H}_2\text{O}_4\text{P}^-$$

**Ecuación 2:**

$$3.16 (0.024) = 0.076 \text{ M de } \text{HPO}_4^{2-}$$

Posteriormente, se calcularon las masas molares y las cantidades requeridas para preparar las soluciones:

$$\text{Masa molar de } \text{NaH}_2\text{PO}_4 * 2\text{H}_2\text{O} = 156 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$0.024 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0.1 \text{ L} \times 156 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0.3744 \text{ g de } \text{NaH}_2\text{PO}_4$$

$$\text{Masa molar de } \text{Na}_2\text{HPO}_4 * 7\text{H}_2\text{O} = 268 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$0.076 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0.1 \text{ L} \times 268 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 2.037 \text{ g de } \text{Na}_2\text{HPO}_4$$

Una vez obtenidas las cantidades, se procedió a pesar exactamente 0.3744 g de fosfato de dihidrógeno de sodio y 2.037 g de fosfato de monohidrógeno de sodio utilizando una balanza analítica. Ambas muestras se transfirieron a un matraz volumétrico de 100 mL, donde se añadió agua destilada hasta completar el aforo. La solución se agitó con ayuda de un vórtex hasta que ésta fuera homogénea y, finalmente, se transfirió a un frasco ámbar previamente rotulado y se conservó en refrigeración.

**Metodología solución estándar (cloroformo:difenilamina)**

Para la solución estándar, se preparó un volumen de 100 mL con una concentración específica de cloroformo:difenilamina (0.8 mg / 1 mL). Se realizaron los siguientes cálculos para lograr determinar la cantidad exacta de difenilamina requerida y así, alcanzar la concentración deseada en la solución final:

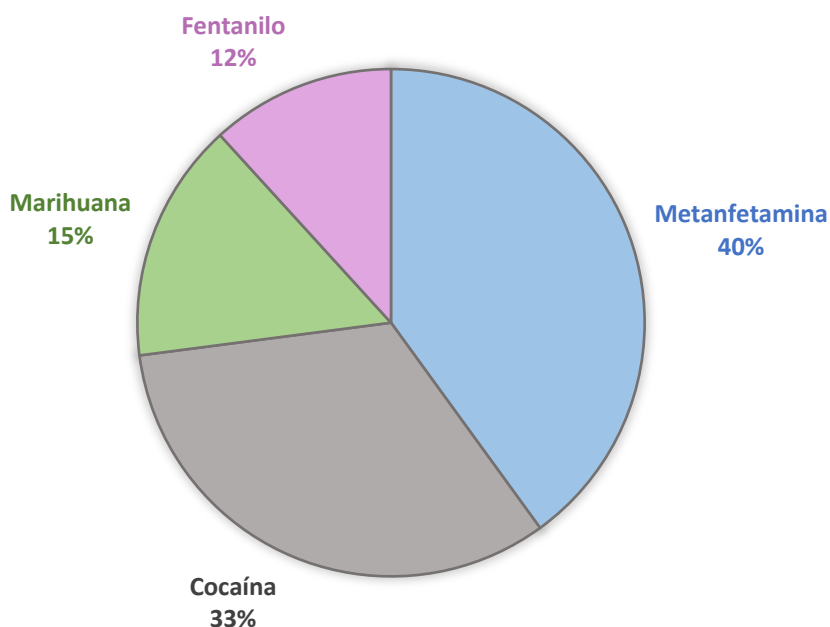
***Masa soluto = Concentración específica x Volumen solvente***

$$\text{Masa soluto} = \frac{0.8 \text{ mg}}{1 \text{ mL}} \times 100 \text{ mL} = 80 \text{ mg}$$

Posteriormente, se procedió a triturar la difenilamina hasta obtener un polvo fino. Con ayuda de una balanza analítica, se pesaron exactamente 80 mg del soluto, los cuales se transfirieron a un matraz volumétrico de 100 mL. Luego, en una campana de extracción, se añadió cloroformo hasta el aforo. La solución se agitó en un vórtex hasta alcanzar una homogeneidad. Finalmente, la solución estándar se almacenó en un frasco ámbar previamente rotulado y se conservó en refrigeración.

#### **4. Análisis, extracción e identificación de analitos presentes en muestras de fentanilo**

Durante el periodo de seis meses de servicio social, se recibieron aproximadamente 85 muestras de diversas sustancias ilícitas cada semana. De estas, 34 correspondían a metanfetamina (40%), 28 a cocaína (33%), 13 a marihuana (15%) y 10 a fentanilo (12%) (Figura 2).



**Figura 2. Gráfica de muestras semanales.**

Sin embargo, únicamente realicé el análisis y la extracción de las muestras de fentanilo para la identificación y cuantificación de los analitos presentes. El método de separación e identificación utilizados en esta actividad fueron la cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas (GC/MS) y la espectroscopía de



infrarrojo por transformada de Fourier equipado con un accesorio de reflexión total atenuada (FTIR-ATR).

La cromatografía es un método de análisis cualitativo y cuantitativo que facilita la separación, identificación y determinación de componentes específicos en mezclas complejas. En este método, la muestra se transporta mediante una fase móvil (FM), que fluye a través de una fase estacionaria (FE) inmisible y fija. Estas fases se seleccionan de manera que los componentes de la muestra se distribuyan en grados diferentes entre la FM y la FE. Los componentes que son retenidos más fuertemente por la FE se desplazan lentamente con el flujo de la FM, mientras que aquellos con menor afinidad por la FE se mueven más rápidamente. Como resultado de estas diferencias en las velocidades de desplazamiento, los componentes de la muestra se separan en bandas, lo que permite su análisis.<sup>7,8</sup>

Entre las técnicas cromatográficas utilizadas con fines analíticos, la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC/MS) es probablemente la más empleada, ya que ninguna otra ofrece la combinación de sensibilidad y capacidad selectiva del detector de masas. Esta combinación permite analizar y cuantificar compuestos en trazas dentro de mezclas complejas con un alto grado de efectividad. La técnica es adecuada para la separación de compuestos con un peso molecular inferior a 1000 y con una temperatura máxima de trabajo de aproximadamente 400° C, lo que implica que estos compuestos deben ser orgánicos volátiles o semivolátiles.<sup>8,9</sup>

Para realizar una separación mediante GC/MS, se inyecta una pequeña cantidad de la muestra en una corriente de un gas inerte, como H<sub>2</sub> o He, a elevada temperatura. Esta corriente de gas atraviesa una columna cromatográfica, donde los componentes de la mezcla se separan por mecanismos de partición (cromatografía gas-líquido), de adsorción (cromatografía gas-sólido), o, en muchos casos, por una combinación de ambos. Los componentes separados emergen de la columna a intervalos discretos y son registrados por un detector de MS, obteniendo un espectro de masas que representa la abundancia de diferentes tipos de iones en función de la relación masa/carga de cada uno de ellos.<sup>8,9</sup>

Por otro lado, la espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) es una de las técnicas ópticas más ampliamente utilizadas en la comunidad científica, ya que permite identificar los grupos funcionales de un compuesto. Esto se debe a que, cuando una molécula absorbe radiación infrarroja, sus vibraciones intramoleculares se intensifican a frecuencias que coinciden con la radiación, generando señales correspondientes a la vibración de enlaces específicos.<sup>10</sup>

El FTIR puede estar equipado con un accesorio de reflexión total atenuada (ATR), donde la luz infrarroja (IR) se propaga a través de un cristal y se refleja internamente al menos una vez en la interfaz entre el cristal y la muestra. La luz reflejada es entonces dirigida al detector FTIR. Durante la reflexión interna, una fracción de la luz IR penetra en la muestra, donde puede ser absorbida; este fenómeno se conoce como onda evanescente. La profundidad de penetración de esta onda en la muestra depende de la diferencia en el índice de refracción entre la muestra y el cristal ATR. Para adaptarse a diferentes tipos de muestras y requisitos de longitud de ruta, se utilizan diversos cristales ATR con diversos índices de refracción.<sup>11,12</sup>

### Metodología para la cuantificación del fentanilo por GC/MS

Las muestras de fentanilo generalmente consistían en diez tabletas (Figura 3). Para iniciar el proceso de cuantificación, se pesaron todas las tabletas con el fin de determinar el peso promedio (Q) (Figura 4).



Figura 3. Fotografía de las tabletas de fentanilo.

Tableta	Peso
1	0.1201
2	0.1103
3	0.1026
4	0.1238
5	0.1051
6	0.1126
7	0.1177
8	0.1143
9	0.107
10	0.1053
<b>Q</b>	<b>0.11188</b>

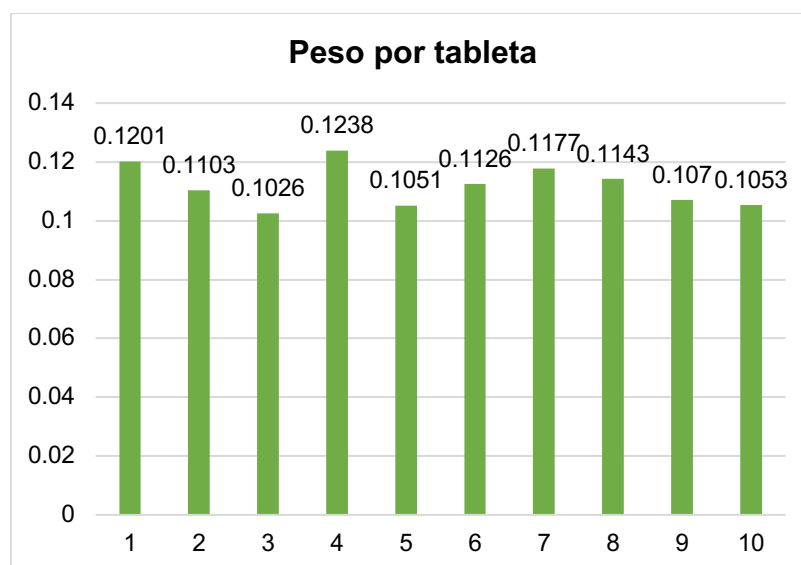


Figura 4. Tabla y gráfica que muestran los pesos de las tabletas de fentanilo.

Al obtener estos datos, en una campana de extracción se trituraron 5 tabletas hasta obtener un polvo fino y se pesó lo equivalente a Q. La muestra se colocó en un tubo de ensayo rotulado. A continuación, se añadieron 2 mL de metanol y se agitó la mezcla en un vórtex durante 1 minuto. Luego, se centrifugó a 3,000 rpm durante 10 minutos y se transfirió el extracto metanólico a un tubo de ensayo limpio. Este proceso se repitió, combinando ambos extractos en el mismo tubo.

Los extractos y la sección insoluble obtenidos, se evaporaron hasta sequedad en una estufa a una temperatura de 70° C. La sección insoluble se utilizó para determinar el agente de corte mediante FTIR-ATR.

Posteriormente, los tubos con los extractos metanólicos se reconstituyeron con 1 mL de agua y se agitaron en vórtex hasta disolver. Luego, se añadieron 5 gotas de NH<sub>4</sub>OH concentrado y se agregaron 2 mL de la solución estandar, después se agitó nuevamente en vórtex al máximo durante 1 minuto y se centrifugó a 3,000 rpm por 10 minutos. Finalmente, con ayuda de una pipeta pasteur de vidrio y una jeringa, se transfirió el extracto a un vial, ajustando su volumen a 0.7 mL, para ser inyectado en el GC/MS para su análisis.

Una vez que se inyecta la muestra en el sistema GC/MS, el proceso de adquisición de datos se realiza en dos etapas principales. Primero, en la fase cromatográfica (GC), los componentes de la muestra se separan en función de sus propiedades de volatilidad y afinidad con la columna cromatográfica, eluyendo en tiempos característicos conocidos como tiempos de retención, que ayudan a identificar el analito. Posteriormente, en la fase de espectrometría de masas (MS), cada componente separado se ioniza y se descompone en fragmentos, los cuales son detectados y cuantificados en función de su relación masa-carga (m/z). La respuesta instrumental se obtiene a partir de la intensidad de los iones detectados o el área del pico correspondiente en el cromatograma, proporcionando así una medida de la concentración de cada analito presente en la muestra.

### **Resultados de GC/MS**

Se obtuvo un cromatograma (Figura 5) de la muestra de fentanilo, en el cual se observaron los picos correspondientes a los analitos presentes. La integración de los picos permitió calcular las áreas bajo la curva, utilizadas para la cuantificación de las sustancias. Asimismo, se obtuvo el patrón de fragmentación (Figura 6) mostró los iones característicos del fentanilo, lo que facilitó su identificación al correlacionar estos datos con los espectros de masas de referencia.

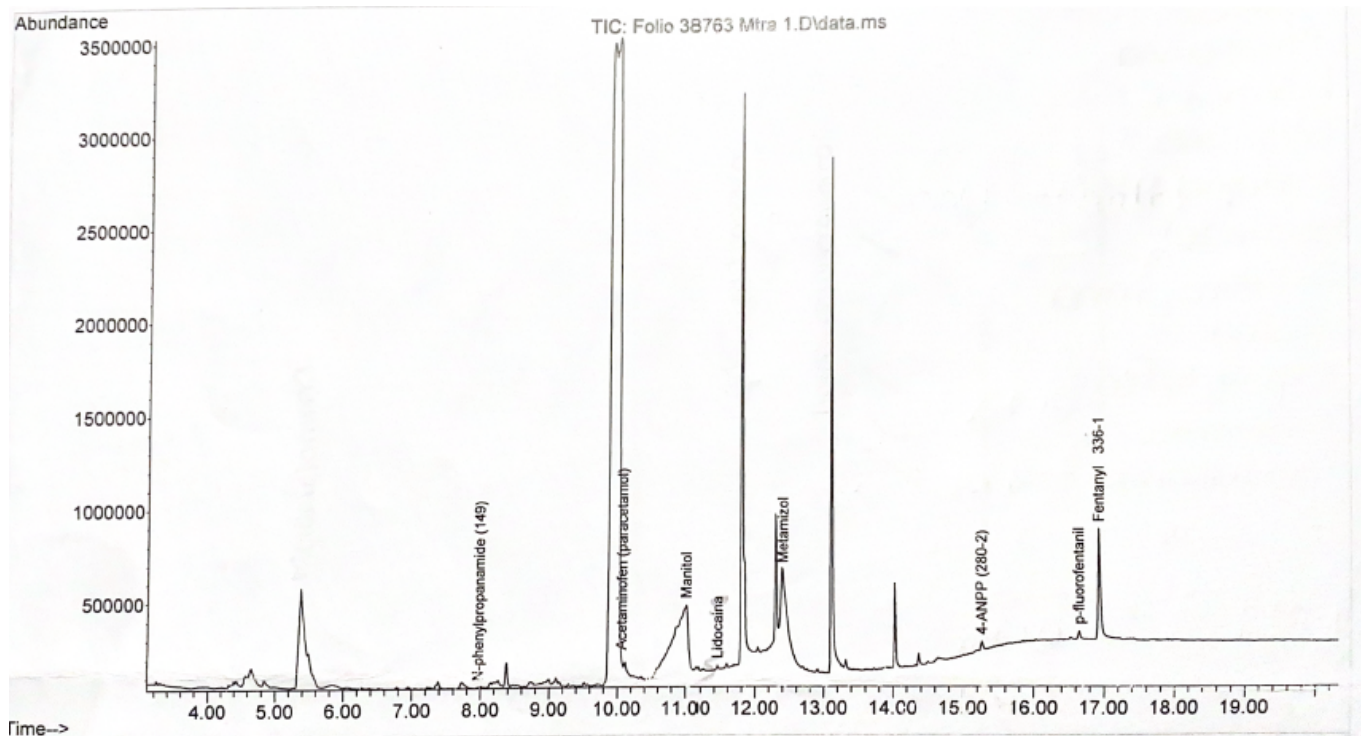


Figura 5. Cromatograma obtenido de una muestra de fentanilo.

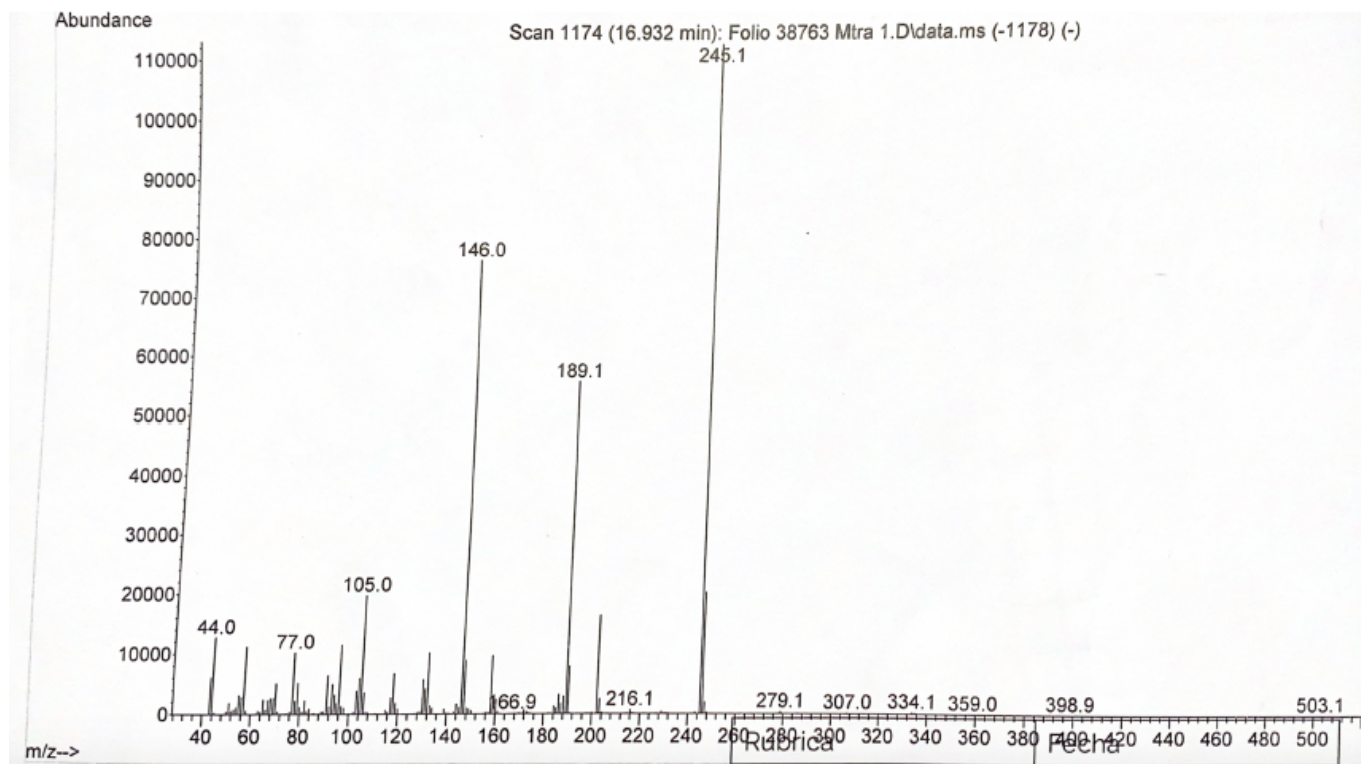
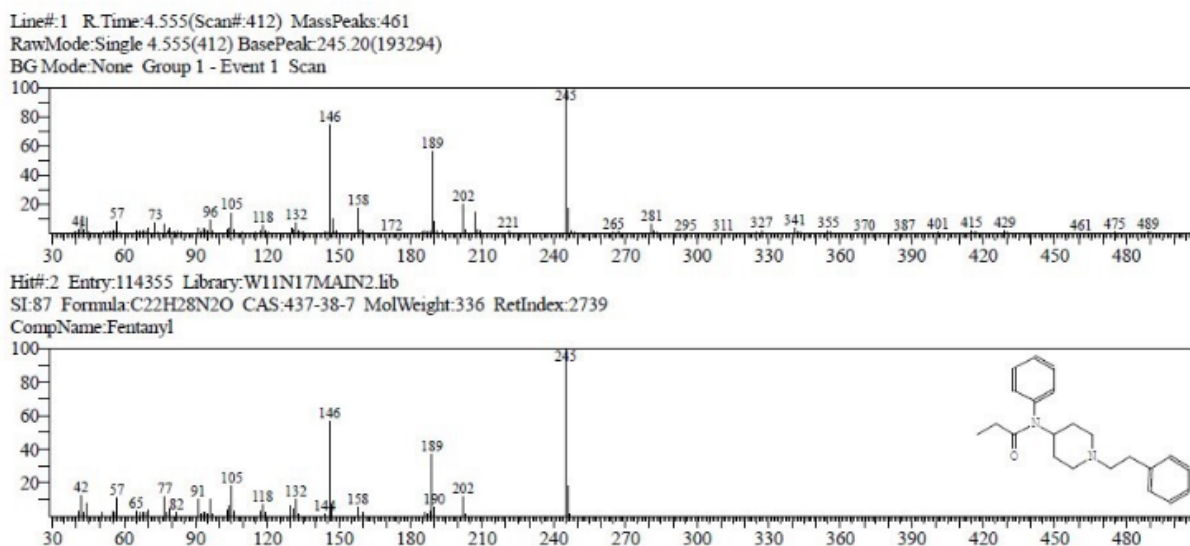


Figura 6. Patrón de fragmentación de los iones del fentanilo.

## Análisis y discusión de resultados de GC/MS

Para el análisis de los datos obtenidos, se llevó a cabo la integración de los picos en el cromatograma. En este análisis, se identificó un pico correspondiente al fentanilo, con un tiempo de retención de aproximadamente 17 minutos, lo que confirma su presencia en la muestra. Asimismo, se detectaron otros compuestos, evidenciados por la aparición de picos relacionados con principios activos como el acetaminofén, la lidocaína y el metamizol, así como azúcares como el manitol. Además, se observó un pico correspondiente al p-fluorofentanil, un derivado del fentanilo.

Por otro lado, la correlación de los patrones de fragmentación con los espectros de referencia permitió identificar el fentanilo en la muestra. La combinación de la separación cromatográfica con la caracterización de los fragmentos mediante espectrometría de masas facilitó un análisis detallado, confirmando la estructura del fentanilo a partir de sus iones específicos. De igual manera, se realizó una revisión bibliográfica con el objetivo de confirmar el patrón de fragmentación del fentanilo, el artículo "*Optimización de métodos GC-MS para la detección de metanfetamina, cocaína y fentanilo*", en el cual se identifican las sustancias con el método de GC/MS, realizando una modificación para reducir su tiempo de retención. Este artículo proporciona tanto el cromatograma obtenido en su práctica como el espectro de fragmentación de masas correspondiente (Figura 7).<sup>13</sup>

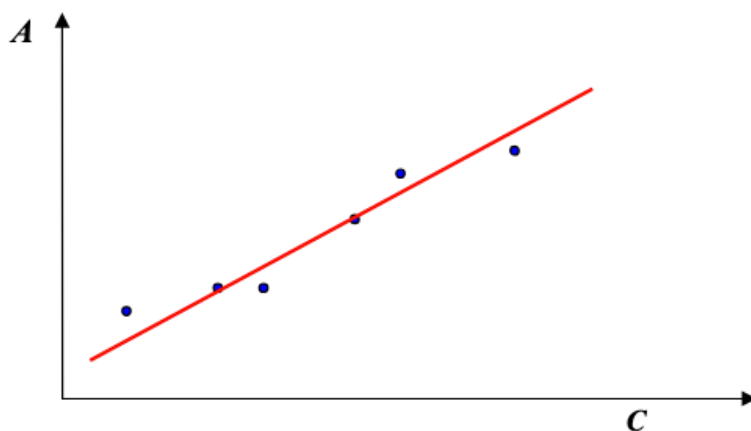


**Figura 7. Espectro de fragmentación de masas para de identificación del fentanilo.**

**Nota:** Adaptado de *Optimización de métodos GC-MS para la detección de metanfetamina, cocaína y fentanilo empleando la estrategia Lean Six Sigma* por Bejarano, M. de J., Caudillo, J., Magdaleno, F., & Saldaña, A., 2022. Revista Digital de Ciencia Forense, 1(2), 13-26. <https://recif.unam.mx/index.php/revista/issue/view/2>

Una técnica para traducir los valores de integración proporcionados por el instrumento de cromatografía en porcentajes significativos, que reflejan la concentración del fentanilo, es la elaboración de una curva de calibración o curva patrón (Figura 8). Esta curva gráfica muestra la relación entre la señal medida y la concentración del analito. En este procedimiento, se compara la respuesta del analito en la muestra con la de estándares de concentración conocida, ya sea del mismo analito o de uno con propiedades muy similares, para determinar la concentración del analito en la muestra desconocida.<sup>14</sup>

Para construir la curva de calibración en un análisis de GC/MS, se emplean disoluciones patrón o estándar con concentraciones conocidas del analito, preparadas de manera independiente a partir de una o varias soluciones madre. Es fundamental contar con al menos cinco puntos de calibración para asegurar la confiabilidad de la curva y minimizar la variabilidad, sin embargo, un mayor número de puntos incrementará la precisión. Además, es importante realizar la lectura del "blanco" para evaluar la respuesta del procedimiento analítico a posibles impurezas en la muestra.<sup>14,15</sup>



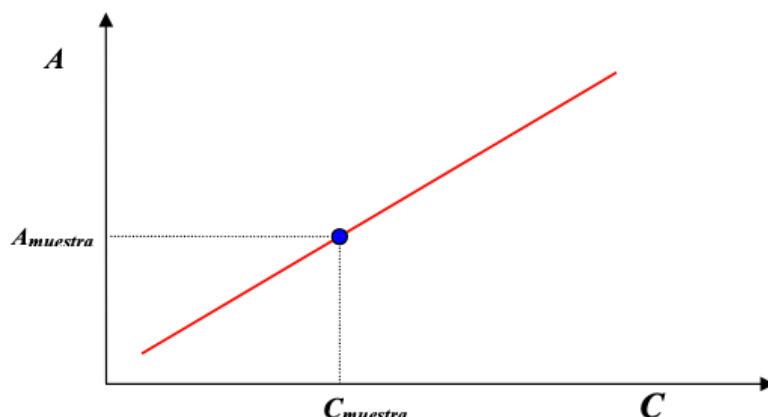
**Figura 8. Ejemplo de la curva de calibración**

**Nota:** Adaptado de "Análisis químico, medir es comparar" (s. f.), AGQ Labs. Recuperado el 15 de agosto de 2024, de <https://www.agq.com.es/article-es/analisis-quimico-medir-comparar>

La calibración analítica se realiza mediante la construcción de un modelo lineal, que consiste en encontrar la recta de calibrado que mejor se ajuste a una serie de "n" puntos experimentales. Cada punto está definido por una variable "x" (generalmente la concentración del analito de interés) y una variable "y" (generalmente la respuesta instrumental). La recta de calibrado se define por una ordenada al origen (b) y una pendiente (m), según la ecuación:

$$y = mx + b$$

La linealidad de la curva se evalúa a través del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el cual debe ser mayor a 0.995 para garantizar la adecuación del modelo. Esta se determina mediante el método de regresión de mínimos cuadrados, que optimiza la correspondencia entre la concentración del analito y la respuesta observada (Figura 9).<sup>14,15</sup>



**Figura 9. Interpolación gráfica**

**Nota:** Adaptado de “Análisis químico, medir es comparar” (s. f.), AGQ Labs. Recuperado el 15 de agosto de 2024, de <https://www.agq.com.es/article-es/analisis-quimico-medir-comparar>

Luego, al momento de realizar la medición de una muestra, lo que se obtiene es una respuesta instrumental que se interpola en la recta de calibración, esto último nos permite obtener la concentración del analito.<sup>14,15</sup>

En resumen, los resultados obtenidos al utilizar GC/MS incluyen tanto la concentración como la identidad del analito de interés en las muestras. Esta técnica permite la separación de compuestos en una mezcla según sus propiedades químicas, seguida de la identificación y cuantificación de esos compuestos. La cromatografía de gases separa los compuestos volátiles, mientras que la espectrometría de masas proporciona información sobre la masa y la estructura de los fragmentos resultantes, facilitando la identificación del analito. La combinación de estas dos técnicas ofrece una herramienta potente y detallada para el análisis cualitativo y cuantitativo de diversas sustancias en una muestra.

### **Metodología para determinar el agente de corte por FTIR-ATR**

Para iniciar la lectura de IR, se limpió y calibró correctamente el espectrómetro FTIR-ATR, luego se seleccionó el rango espectral adecuado para la detección de los grupos funcionales relevantes del agente de corte. Posteriormente, se colocó la muestra seca de la fracción insoluble (Figura 10) sobre el cristal del ATR y se aplicó una presión controlada con el diamante para asegurar un buen contacto entre la



muestra y el cristal, lo que permite la máxima penetración del haz infrarrojo en la muestra.

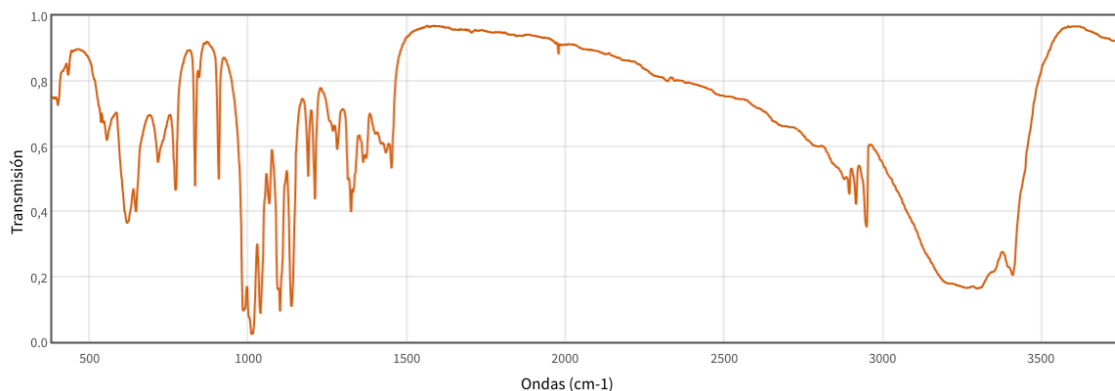


**Figura 10. Fotografía de la muestra seca de la fracción insoluble.**

A continuación, se procedió a la adquisición del espectro infrarrojo de la muestra. Se realizó el background scan y el scan del blanco, con el objetivo de minimizar el ruido y mejorar la calidad del análisis. Finalmente, el espectro obtenido fue analizado para identificar los picos correspondientes a los grupos funcionales presentes en la muestra. Estos picos se compararon con espectros de referencia para determinar la identidad del agente de corte. Los resultados obtenidos se incluyen en el informe, junto con la interpretación de los picos identificados y la determinación del agente de corte presente en la muestra.

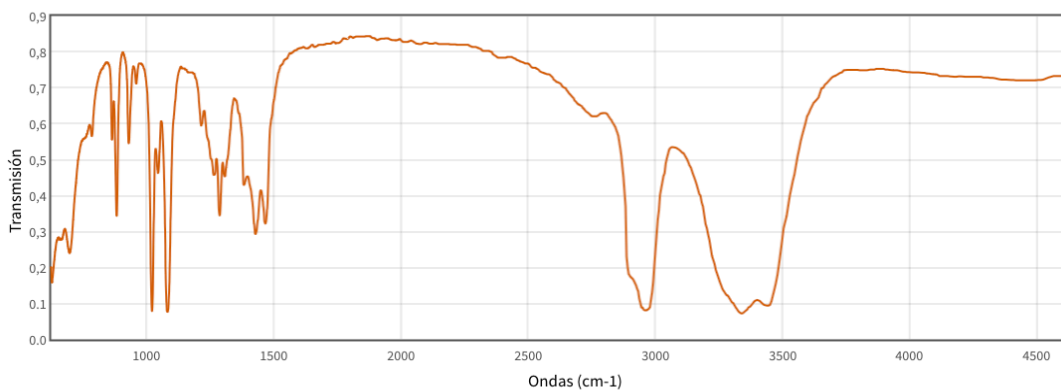
### **Resultados de FTIR-ATR**

Se obtuvieron espectros FTIR-ATR de los agentes de corte identificados en las muestras de fentanilo, principalmente glucosa (Figura 11) y manitol (Figura 12). Al comparar los espectros obtenidos con espectros de referencia, se confirmó la presencia de glucosa y manitol como agentes de corte en las muestras. Los picos observados coincidieron con las frecuencias de vibración esperadas para estos compuestos, mostrando patrones similares a los de las referencias.



**Figura 11. Espectro FTIR-ATR de la glucosa.**





**Figura 12. Espectro FTIR-ATR del manitol.**

### **Análisis y discusión de resultados de FTIR-ATR**

El uso de la técnica FTIR-ATR permitió la identificación de agentes de corte en las muestras mediante el análisis de sus espectros de absorción. Al reflejar la radiación infrarroja a través del prisma ATR, se obtuvo una "huella" molecular única para cada sustancia, la cual fue comparada con los espectros de referencia para confirmar la identidad de los compuestos presentes. La coincidencia de los picos en el espectro con los valores esperados para glucosa y manitol valida la presencia de estos compuestos como agentes de corte en las muestras de fentanilo, ya que la identificación se basó en la correlación de las frecuencias de vibración específicas que se presentan como picos bien definidos en el espectro FTIR-ATR.

Además, la técnica también demostró su capacidad para evaluar la pureza de la muestra, dado que la ausencia de picos adicionales o inesperados sugiere que la muestra no contenía impurezas significativas. Esto indica una buena especificidad del método para la identificación de los agentes de corte esperados. Aunque FTIR-ATR es menos comúnmente utilizada para la cuantificación de compuestos en comparación con otras técnicas espectroscópicas, sigue siendo una herramienta útil para obtener información cualitativa detallada.

Finalmente, es crucial señalar que los agentes de corte presentes en la muestra dificultan la identificación de la sustancia ilícita, ya que pueden enmascarar su verdadera composición química, alterando la "huella" molecular y disimulando su pureza. Asimismo, estos agentes se utilizan para potenciar los efectos de la sustancia, lo que puede dar lugar a reacciones adversas o incluso resultar en la muerte. Según Żubrycka et. al. (2021), las sustancias ilícitas coexisten frecuentemente con formulaciones rellenas (por ejemplo, almidón, glucosa), productos laterales de reacción sintéticas, pigmentos y especies químicas responsables del sabor y el olor (por ejemplo, mentol). Estas impurezas no se deben descuidar durante su evaluación.<sup>16</sup>

## **5. Elaboración y organización de documentos**

Se llevó a cabo la elaboración de documentos en los que se registraba cada paso del proceso experimental, incluyendo los resultados y las observaciones. Esto permitió la repetición precisa de los experimentos bajo las mismas condiciones, garantizando así la precisión y reproducibilidad. Es crucial llevar este registro detallado, para que, en caso de surgir algún problema, se pueda rastrear e identificar su origen. Además, una adecuada organización de los documentos es fundamental para cumplir con las normativas y estándares nacionales e internacionales, ya que proporciona evidencia de que se siguen los protocolos establecidos en el laboratorio.

Finalmente, una documentación bien organizada facilita la comunicación y colaboración dentro de las instalaciones, permitiendo un acceso rápido a toda la información, incluidas las hojas de datos de seguridad (MSDS) y los procedimientos de emergencia, lo que es esencial para garantizar un entorno de trabajo seguro.

### **Descripción del vínculo de las actividades desarrolladas con los objetivos de formación del plan de estudios de la Universidad Autónoma Metropolitana**

Las actividades desarrolladas durante mi servicio social en la FGR, se vinculan con los objetivos del plan de estudios de la carrera, ya que implementé conocimientos de química orgánica y analítica. Aprendí a identificar los precursores químicos específicos en cada ruta de síntesis, lo cual es esencial para comprender el origen y la estructura de los analitos de interés. Además, desarrollé habilidades para identificar impurezas, un aspecto clave para evaluar la pureza de las muestras analizadas.

Tuve la oportunidad de realizar análisis cualitativos y cuantitativos utilizando técnicas avanzadas como la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC/MS) y la espectroscopía FTIR-ATR, mediante el uso de los equipos especializados. Además, he consolidado mi comprensión de los principios de control de calidad y buenas prácticas de laboratorio. Esta experiencia me ha permitido reconocer la importancia de estos principios para asegurar la precisión, fiabilidad y reproducibilidad de los resultados analíticos.

Finalmente, he aprendido a cumplir rigurosamente con las normativas y regulaciones establecidas, lo cual es fundamental para mantener la integridad de los análisis en un entorno profesional. Asimismo, he adquirido habilidades para optimizar los recursos del laboratorio, minimizando repeticiones innecesarias y mejorando la eficiencia general.

## **Conclusión**

En conclusión, a lo largo de este proceso he comprendido la importancia de los principios de control de calidad y las buenas prácticas de laboratorio para llevar a cabo cada etapa con precisión, desde la limpieza del equipo hasta el análisis de los resultados. Ya que, cualquier error, por pequeño que sea, puede comprometer significativamente la integridad de los resultados obtenidos.

La realización de las actividades descritas han reforzado mi conocimiento teórico y fortalecido mis habilidades prácticas en la aplicación e interpretación de técnicas analíticas avanzadas, preparándome para enfrentar desafíos complejos en mi carrera profesional. La práctica con equipos especializados me ha permitido comprender profundamente su relevancia en el ámbito de la química forense, proporcionando resultados detallados y específicos.

Finalmente, he reconocido los valores que debo aplicar y fomentar en mi formación laboral, como la ética profesional, el rigor científico y la responsabilidad, para asegurar la precisión y confiabilidad en las prácticas. También es esencial garantizar la integridad y seguridad en el área, cumpliendo con las normativas y regulaciones vigentes, manteniendo la confidencialidad de la información y demostrando un firme compromiso. Asimismo, la educación continua es fundamental para actualizar mis conocimientos científicos, facilitando la innovación y el avance en el campo.

## Bibliografía

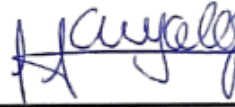
1. *Conoce la FGR*. (s. f.). Fiscalía General de la República. Recuperado 15 de febrero de 2024, de <https://fgr.org.mx/>
2. *AIC Agencia de Investigación Criminal*. (s. f.). Fiscalía General de la República. Recuperado 15 de febrero de 2024, de <https://fgr.org.mx/swb/FGR/AIC>
3. Kenneth, W., Raymond, D., Larry, P., & George, S. (2014). *Química* (10th ed.). Cengage Learning Editores SA de CV. <https://uam.vitalsource.com/books/9786075199580>
4. Mary, C., & Shawn, F. (2015). *Bioquímica Volumen I* (8th ed.). Cengage Learning Editores SA de CV. <https://uam.vitalsource.com/books/9786075225067>
5. *Soluciones estándar*. (2023, marzo 1). PCC Group Product Portal. Recuperado 27 de julio de 2024, de <https://www.products.pcc.eu/es/academy/soluciones-estandar/>
6. *Cómo preparar estándares de GC y HPLC*. (2023, 3 julio). One Lab. Recuperado 9 de agosto de 2024, de <https://www.onelab.com.ar/como-preparar-estandares-de-gc-y-hplc>
7. Crouch, S., Holler, F., & Skoog, D. (2018). *Principios de análisis instrumental*. (7th ed.). Cengage Learning Editores SA de CV. <https://uam.vitalsource.com/books/9786075266640>
8. McNair, H. M., Miller, J. M., & Snow, N. H. (2019). *Basic Gas Chromatography*. (3rd ed.). Wiley Editorial. <https://doi.org/10.1002/9781119450795>
9. *Técnica Cromatografía de Gases-Masas (GC-MS)*. (s. f.). Universidad Complutense Madrid. Recuperado 9 de agosto de 2024, de <https://cai.ucm.es/ciencias-tierra-arqueometria/tecnicas-geologicas/tecnicas/cromatografia-de-gases-masas-gc-ms/38/>
10. Singh, D. K., Pradhan, M., & Materny, A. (2022). *Modern Techniques of Spectroscopy: Basics, Instrumentation, and Applications*. (1st ed.). Springer. <https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-16346415-704db4b724.pdf>
11. *Academia de espectroscopía FTIR* (s.f). Thermo Fisher Scientific. Recuperado 9 de agosto de 2024, de <https://www.thermofisher.com/mx/es/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/molecular-spectroscopy/fourier-transform-infrared-spectroscopy/resources/ftir-spectroscopy-academy.html>
12. *ATR-FTIR Spectroscopy, FTIR Sampling Techniques* (s. f.). Agilent. Recuperado 9 de agosto de 2024, de [https://www.agilent.com/en/product/molecular-spectroscopy/ftir-spectroscopy/atr-ftir-spectroscopy?srsId=AfmBOooMMdysM\\_O6xCSXV5Jb36t5Q0jmnUWrD2x4CeyeFd6BmDG45vPa](https://www.agilent.com/en/product/molecular-spectroscopy/ftir-spectroscopy/atr-ftir-spectroscopy?srsId=AfmBOooMMdysM_O6xCSXV5Jb36t5Q0jmnUWrD2x4CeyeFd6BmDG45vPa)
13. Bejarano, M. de J., Caudillo, J., Magdaleno, F., & Saldaña, A. (2022). *Optimización de métodos GC-MS para la detección de metanfetamina, cocaína y fentanilo empleando la estrategia Lean Six Sigma*. *Revista Digital de Ciencia Forense*, 1(2), 13-26. <https://recif.unam.mx/index.php/revista/issue/view/2>
14. G., Habana, L. L., & Galicia, A. R. C. (2017). Reconstitución de prácticas sociales de modelación: lo lineal a partir de análisis químicos. El caso de la curva de calibración. *Deleted Journal*, 8(15), 29-55. [https://doi.org/10.33010/ie\\_rie\\_rediech.v8i15.57](https://doi.org/10.33010/ie_rie_rediech.v8i15.57)
15. *Análisis químico, medir es comparar*. (s. f.). AGQ Labs. Recuperado 15 de agosto de 2024, de <https://www.agq.com.es/article-es/analisis-quimico-medir-comparar>
16. Żubrycka, A., Kwaśnica, A., Haczkiwicz, M., Sipa, K., Rudnicki, K., Skrzypek, S., & Poltorak, L. (2021). Illicit drugs street samples and their cutting agents. The result of the GC-MS based profiling define the guidelines for sensors development. *Talanta*, 237, 122904. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2021.122904>

**Vo. Bo. Asesores**



---

**Asesor interno**  
Mtro. Francisco López Naranjo  
CBS- Dpto de Sistemas Biológicos  
N.º económico: 18198



---

**Asesor externo**  
Lic. Irma González Hernández  
Centro Federal Pericial Forense  
N.º cédula: 3372323



**Universidad Autónoma Metropolitana**

**Unidad Xochimilco**

División de Ciencias Biológicas y de la Salud

Licenciatura en Química Farmacéutica Biológica

Informe de conclusión para “Actividades relacionadas con la profesión” del servicio social.

***“Mejora Continua de los Procesos Jurídicos, Administrativos, Económicos, Tecnológicos y de Comunicación de la Fiscalía General de la República.”***

**Autor:** Ayala González Brenda Denisse  
Matrícula: 2192051293

**Asesor interno:** M. en C Francisco López Naranjo  
Núm. Económico: 18198

**Asesor externo:** Lic. Irma González Hernández  
Núm. Cédula: 3372323

**Lugar de realización:** Unidad de Laboratorios Criminalísticos del Centro Federal Pericial Forense de la Fiscalía General de la República

**Fecha de inicio y de término:** 01 de febrero al 01 de agosto del 2024

CDMX, Septiembre 2024

**Datos de contacto:**

Dirección: Boscanillo, MZ. 2 LT. 23, Dos Ríos, 01549, Álvaro Obregón.

Teléfono: 5526147317

Celular: 5531029802

Correo electrónico: [breen.gonzalez.10@gmail.com](mailto:breen.gonzalez.10@gmail.com)

## **Resumen**

### **Introducción**

La Fiscalía General de la República (FGR), según lo establecido en su sitio web oficial, es un órgano constitucional autónomo cuyos propósitos incluyen la investigación de delitos y el esclarecimiento de hechos, otorgar la procuración de un componente central del compromiso social de la FGR es la protección y promoción de los derechos humanos. Esta institución se dedica a asegurar que los derechos de las víctimas y de la sociedad sean respetados y garantizados, incluyendo los derechos de verdad, reparación integral y no repetición.<sup>1</sup>

Dentro de la estructura de la FGR se encuentra la Agencia de Investigación Criminal (AIC), la cual tiene la finalidad de convertirse en un referente nacional e internacional en la investigación del delito y la lucha contra los grandes mercados criminales, mediante la aplicación de métodos, técnicas y estrategias táctico-operativas avanzadas.<sup>2</sup>

A lo largo del servicio social, se realizaron actividades de apoyo tanto a la institución como al personal que la integra. Los objetivos del servicio social se centran en optimizar la eficiencia y precisión en los procesos de extracción, análisis e identificación de muestras de fentanilo mediante el uso adecuado de equipos especializados y la aplicación de conocimientos químicos, con el fin de mejorar la calidad y confiabilidad de los resultados y contribuir al avance científico. Además, se busca describir detalladamente las actividades desarrolladas durante el servicio social y analizar la relación entre dichas actividades y los objetivos de formación del plan de estudios de la Universidad Autónoma Metropolitana.

### **Descripción específica de las actividades desarrolladas**

#### **1. Limpieza de equipos e instrumentos**

Se llevó a cabo la limpieza general de los equipos y materiales de laboratorio. Este proceso es crucial para eliminar residuos y evitar contaminaciones, garantizando así la precisión y fiabilidad de los resultados experimentales.

Para limpiar la balanza analítica y el espectroscopio IR, nos aseguramos que los equipos estén apagados, con ayuda de una brocha se elimina el polvo. Posteriormente, con ayuda de un paño húmedo en alcohol isopropílico al 70% se desinfecta la zona. En el caso del cromatógrafo de gases, se retiró la microjeringa para limpiarla llenándola y purgándola varias veces con solventes adecuados, comenzando con agua destilada y luego acetato de etilo. Finalmente, se recomienda lavar y desinfectar todo el material de laboratorio con detergente y alcohol isopropílico al 70% antes y después de su uso.

## **2. Verificar el funcionamiento del equipo**

Antes de analizar las muestras, es fundamental verificar el funcionamiento óptimo del equipo para garantizar la precisión y exactitud de los resultados, así como el cumplimiento de normativas de calidad y la seguridad en el laboratorio, reduciendo los riesgos asociados.

Para ello, se asegura que las balanzas estén limpias, calibradas y encendidas adecuadamente antes de realizar cualquier pesaje. En el caso del cromatógrafo, es esencial seleccionar el método adecuado para el analito y comprobar el flujo de aire y gases, así como verificar que el sistema de inyección cuente con los disolventes necesarios para limpiar la microjeringa y evitar la contaminación. Finalmente, para el espectrofotómetro infrarrojo (IR), se verifica que encienda correctamente y se deje calentar según las recomendaciones del fabricante.

## **3. Preparación de soluciones de trabajo**

Se llevó a cabo la preparación de diversas soluciones de trabajo, que incluyen soluciones buffer de fosfato y soluciones estándar.

Las soluciones buffer son cruciales para mantener un pH constante en los sistemas de análisis, incluso al añadir ácidos o bases, lo que garantiza resultados experimentales precisos y reproducibles, y protege las muestras sensibles a cambios en el pH.<sup>3, 4</sup> Por otro lado, las soluciones estándar son esenciales para la calibración y validación de equipos, así como para realizar análisis cuantitativos con concentraciones específicas de solutos. Estas soluciones aseguran la precisión y confiabilidad de los métodos analíticos utilizados, contribuyendo al cumplimiento de los estándares de control de calidad.<sup>5,6</sup>

### **Metodología solución buffer de fosfatos**

Para la preparación de una solución buffer de fosfato de dihidrógeno de sodio ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y fosfato de monohidrógeno de sodio ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). Se determinaron las concentraciones necesarias empleando la ecuación de Henderson-Hasselbalch, la cual relaciona el pH deseado de la solución con las concentraciones del ácido y su base conjugada.

En esta ecuación, el fosfato monohidrogenado ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) actuó como la base conjugada y el fosfato de dihidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_4\text{P}^-$ ) como el ácido débil, teniendo un pKa de 7.2. Para determinar la relación de concentración necesaria, se sustituyeron los datos en la ecuación, dando como resultado 3.16. Por lo tanto, para preparar 100 mL de la solución buffer con una concentración total de fosfatos de 0.1 M, se determinaron las concentraciones de cada compuesto, las masas molares y las cantidades requeridas para las soluciones.



Una vez obtenidas las cantidades, se pesaron 0.3744 g de fosfato de dihidrógeno de sodio y 2.037 g de fosfato de monohidrógeno de sodio utilizando una balanza analítica. Ambas muestras se transfirieron a un matraz volumétrico de 100 mL, donde se añadió agua destilada hasta completar el aforo. La solución se agitó con ayuda de un vórtex hasta que ésta fuera homogénea y, finalmente, se transfirió a un frasco ámbar previamente rotulado y se conservó en refrigeración.

#### **Metodología solución estándar (cloroformo:difenilamina)**

Para la solución estándar, se preparó un volumen de 100 mL con una concentración específica de cloroformo:difenilamina (0.8 mg / 1 mL). Se realizaron los cálculos correspondientes para determinar la cantidad exacta de difenilamina requerida.

Posteriormente, la difenilamina se trituro hasta obtener un polvo fino. Con ayuda de una balanza analítica, se pesaron exactamente 80 mg del soluto y se transfirieron a un matraz volumétrico de 100 mL. Luego, en una campana de extracción, se añadió cloroformo hasta el aforo. La solución se agitó en un vórtex hasta alcanzar una homogeneidad. Finalmente, se almacenó en un frasco ámbar previamente rotulado y se conservó en refrigeración.

#### **4. Análisis, extracción e identificación de analitos presentes en muestras de fentanilo**

Durante el periodo de seis meses de servicio social, se recibieron aproximadamente 85 muestras de diversas sustancias ilícitas cada semana. De estas, 34 correspondían a metanfetamina (40%), 28 a cocaína (33%), 13 a marihuana (15%) y 10 a fentanilo (12%) (Figura 1).

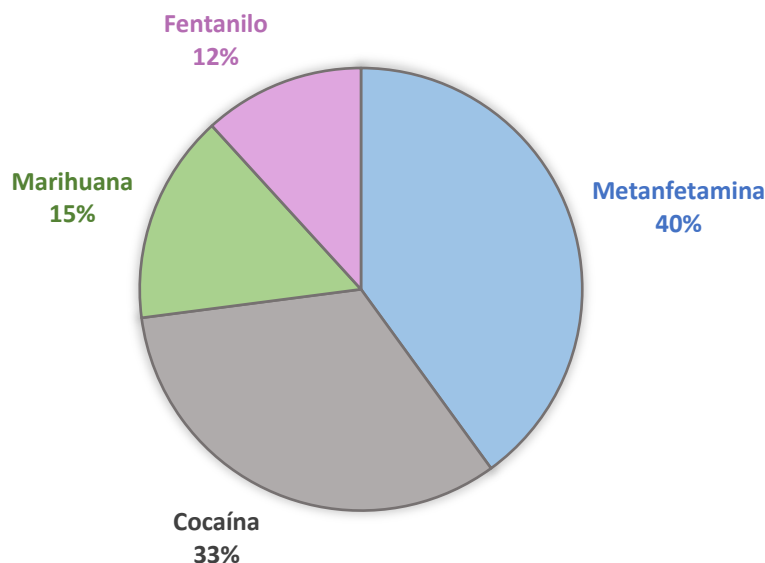


Figura 1. Gráfica de muestras semanales.

Para el análisis, extracción y cuantificación de analitos presentes en muestras de fentanilo se emplearon los métodos de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC/MS) y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier con accesorio de reflexión total atenuada (FTIR-ATR).

La cromatografía es un método de análisis cualitativo y cuantitativo que facilita la separación, identificación y determinación de componentes específicos en mezclas complejas.<sup>7,8</sup> Sin embargo, entre las técnicas cromatográficas utilizadas con fines analíticos, la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC/MS) es probablemente la más empleada, ya que ninguna otra ofrece la combinación de sensibilidad y capacidad selectiva del detector de masas.<sup>8,9</sup>

Por otro lado, la espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) es una de las técnicas ópticas más ampliamente utilizadas en la comunidad científica, ya que permite identificar los grupos funcionales de un compuesto. Esto se debe a que, cuando una molécula absorbe radiación infrarroja, sus vibraciones intramoleculares se intensifican a frecuencias que coinciden con la radiación, generando señales correspondientes a la vibración de enlaces específicos.<sup>10</sup> El FTIR puede estar equipado con un accesorio de reflexión total atenuada (ATR), donde la luz infrarroja (IR) se propaga a través de un cristal y se refleja internamente al menos una vez en la interfaz entre el cristal y la muestra.<sup>11,12</sup>

### Metodología para la cuantificación del fentanilo por GC/MS

Las muestras de fentanilo generalmente consistían en diez tabletas, las cuales se pesaron con el fin de determinar el peso promedio (Q) (Figura 2).

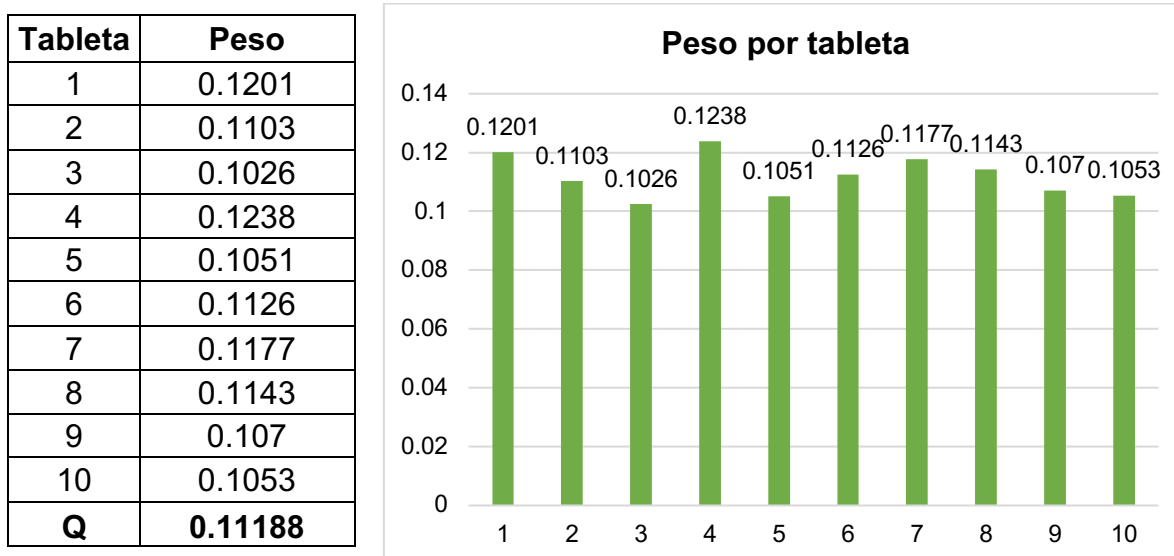


Figura 2. Tabla y gráfica que muestran los pesos de las tabletas de fentanilo.

Posteriormente, en una campana de extracción se trituraron 5 tabletas de fentanilo y se pesó el equivalente a Q. La muestra se colocó en un tubo de ensayo con 2 mL de metanol, se agitó en vórtex durante 1 minuto. Luego, se centrifugó a 3,000 rpm durante 10 minutos y se transfirió el extracto metanólico a un tubo nuevo. Este proceso se repitió, combinando ambos extractos. Estos se evaporaron a 70° C, reservando la fracción insoluble para análisis por FTIR-ATR.

Los extractos metanólicos se reconstituyeron con 1 mL de agua, luego se añadieron 5 gotas de NH<sub>4</sub>OH concentrado y 2 mL de una solución estándar. Después se agitó y centrifugó nuevamente, posteriormente con ayuda de una pipeta pasteur de vidrio se transfirió el extracto a un vial para ser inyectado en el GC/MS para su análisis.

### Resultados de GC/MS

Se obtuvo un cromatograma de la muestra de fentanilo que mostró picos correspondientes a los analitos presentes (Figura 3). La integración de los picos permitió calcular las áreas bajo la curva para su cuantificación. Además, el patrón de fragmentación obtenido mostró iones característicos del fentanilo, facilitando su identificación al compararlo con espectros de masas de referencia (Figura 4).

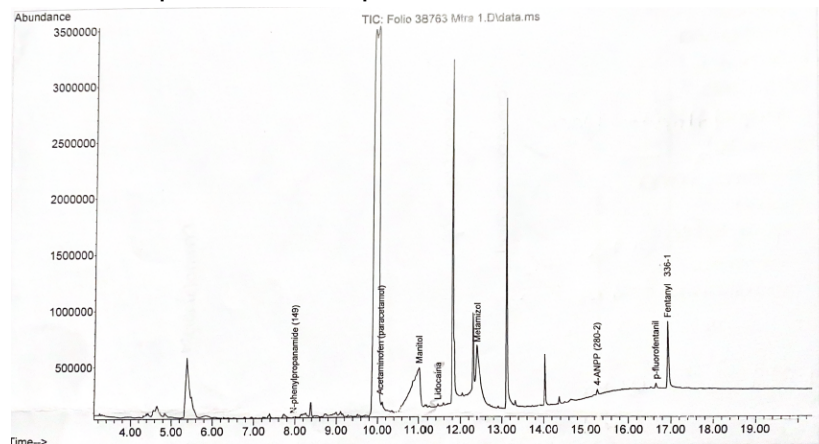


Figura 3. Cromatograma obtenido de una muestra de fentanilo.

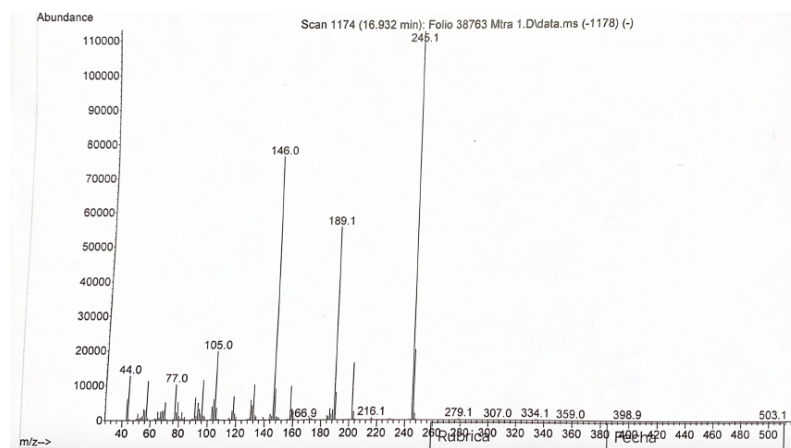


Figura 4. Patrón de fragmentación de los iones del fentanilo.

## **Análisis y discusión de resultados de GC/MS**

Se identificó un pico correspondiente al fentanilo en el cromatograma, con un tiempo de retención de aproximadamente 17 minutos, confirmando su presencia en la muestra. Además, se detectaron otros compuestos como acetaminofén, lidocaína, metamizol y manitol, así como p-fluorofentanil, un derivado del fentanilo. La correlación de los patrones de fragmentación con los espectros de referencia facilitó la identificación y confirmación de la estructura del fentanilo. Asimismo, se revisó el artículo "*Optimización de métodos GC-MS para la detección de metanfetamina, cocaína y fentanilo*", que describe modificaciones en el método para reducir el tiempo de retención y presenta el cromatograma y espectro de fragmentación del fentanilo.<sup>13</sup>

La elaboración de una curva de calibración es una técnica fundamental para traducir los valores de integración de cromatografía en porcentajes que reflejan la concentración de fentanilo en una muestra. Este proceso consiste en comparar la respuesta del analito con la de estándares de concentración conocida, construyendo una relación gráfica que permite determinar la concentración del analito en muestras desconocidas.<sup>14</sup>

Para ello, se preparan disoluciones estándar de concentraciones conocidas y se registran sus respuestas instrumentales, es fundamental contar con al menos cinco puntos de calibración para asegurar la confiabilidad de la curva y minimizar la variabilidad. La curva se construye a partir de un modelo lineal ( $y = mx + b$ ), evaluado mediante el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), que debe superar 0.995 para asegurar la adecuación del modelo. Durante el análisis de la muestra, la respuesta obtenida se interpola en la recta de calibración, lo que permite calcular la concentración del analito con precisión.<sup>14, 15</sup>

## **Metodología para determinar el agente de corte por FTIR-ATR**

Para iniciar la lectura de infrarrojo (IR), se limpió y calibró el espectrómetro FTIR-ATR y se seleccionó el rango espectral adecuado para detectar los grupos funcionales del agente de corte. La muestra seca de la fracción insoluble se colocó sobre el cristal del ATR, aplicando una presión controlada para asegurar un buen contacto y máxima penetración del haz infrarrojo.

Se realizó la adquisición del espectro infrarrojo, que incluyó un "background scan" y un "scan" del blanco para minimizar el ruido y mejorar la calidad del análisis. Finalmente, el espectro obtenido fue analizado para identificar los picos correspondientes a los grupos funcionales presentes en la muestra. Estos picos se compararon con espectros de referencia para determinar la identidad del agente de corte.

## Resultados de FTIR-ATR

Se obtuvieron espectros FTIR-ATR de los agentes de corte en las muestras de fentanilo, principalmente glucosa (Figura 5) y manitol (Figura 6). Al comparar estos espectros con los de referencia, se confirmó la presencia de ambos compuestos como agentes de corte. Los picos observados coincidieron con las frecuencias de vibración esperadas, mostrando patrones similares a los de las referencias.

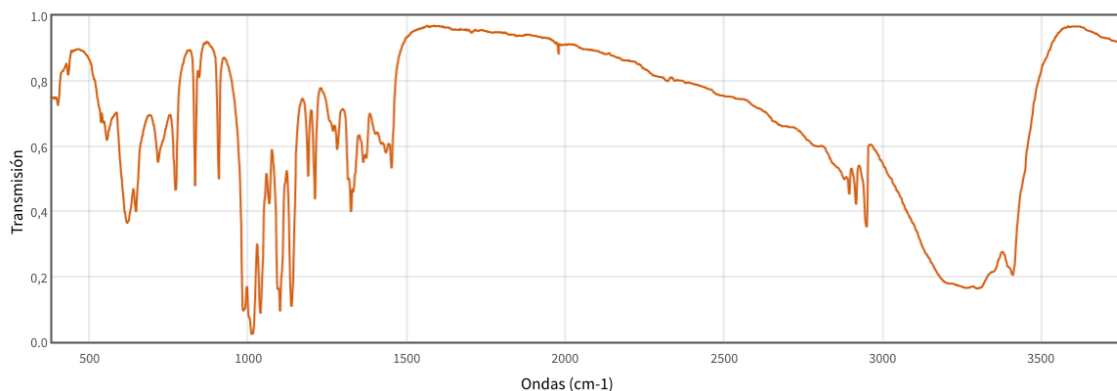


Figura 5. Espectro FTIR-ATR de la glucosa.

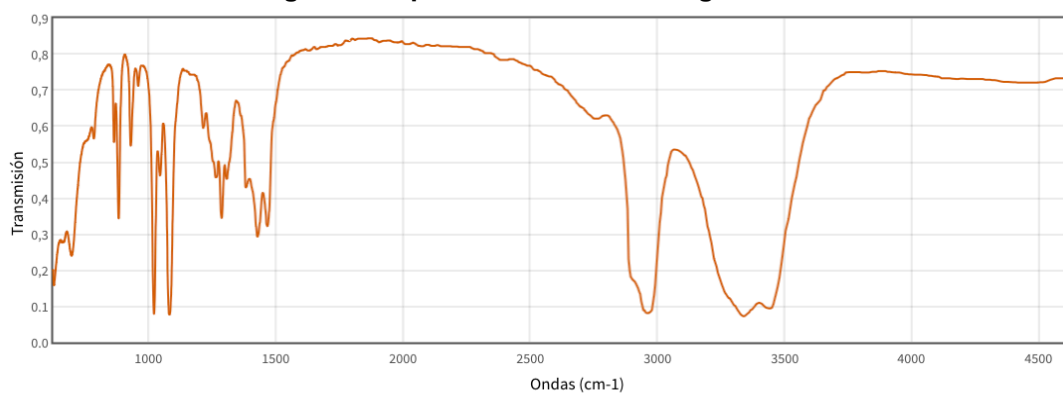


Figura 6. Espectro FTIR-ATR del manitol.

## Análisis y discusión de resultados de FTIR-ATR

La técnica FTIR-ATR permitió identificar agentes de corte en muestras de fentanilo mediante el análisis de sus espectros de absorción. Al reflejar la radiación infrarroja a través del prisma ATR, se generó una "huella" molecular única para cada sustancia, que fue comparada con espectros de referencia, confirmando la presencia de glucosa y manitol.

La técnica también evaluó la pureza de la muestra, ya que la ausencia de picos adicionales sugiere que no había impurezas significativas, lo que demuestra la especificidad del método para identificar los agentes de corte esperados. Aunque FTIR-ATR no es comúnmente utilizada para la cuantificación, sigue siendo una herramienta útil para obtener información cualitativa detallada.

Finalmente, es crucial señalar que los agentes de corte en la muestra complican la identificación de la sustancia ilícita al enmascarar su composición química y alterar su "huella" molecular, disimulando su pureza. Además, estos agentes se emplean para potenciar los efectos de la sustancia, provocando reacciones adversas e incluso la muerte. Según Żubrycka et. al. (2021), las sustancias ilícitas coexisten con formulaciones rellenas (por ejemplo, almidón, glucosa), productos laterales de reacción sintéticas, pigmentos y especies químicas responsables del sabor y el olor (por ejemplo, mentol). Estas impurezas no se deben descuidar durante su evaluación.<sup>16</sup>

## **5. Elaboración y organización de documentos**

Se elaboraron documentos que registran cada paso del proceso experimental, incluyendo resultados y observaciones, lo que permite la repetición precisa de los experimentos y garantiza la precisión y reproducibilidad. Este registro detallado es crucial para rastrear problemas y cumplir con normativas nacionales e internacionales, proporcionando evidencia de que se siguen los protocolos establecidos. Además, una adecuada organización de la documentación facilita la comunicación y colaboración en el laboratorio, asegurando un acceso rápido a información relevante, incluidas hojas de datos de seguridad (MSDS) y procedimientos de emergencia, lo que contribuye a un entorno de trabajo seguro.

### **Descripción del vínculo de las actividades desarrolladas con los objetivos de formación del plan de estudios de la Universidad Autónoma Metropolitana**

Las actividades desarrolladas durante mi servicio social en la FGR, se vinculan con los objetivos del plan de estudios de la carrera, ya que apliqué conocimientos de química orgánica y analítica, identificando precursores químicos en rutas de síntesis y desarrollando habilidades para detectar impurezas, fundamentales para evaluar la pureza de las muestras. Realicé análisis cualitativos y cuantitativos utilizando técnicas avanzadas como GC/MS y FTIR-ATR, consolidando mi comprensión de control de calidad y buenas prácticas de laboratorio, cruciales para garantizar la precisión y reproducibilidad de los resultados. Además, aprendí a cumplir con normativas y regulaciones para mantener la integridad de los análisis y optimicé los recursos del laboratorio, mejorando la eficiencia general.

### **Conclusión**

En conclusión, he comprendido la importancia de los principios de control de calidad y las buenas prácticas de laboratorio en cada etapa del proceso analítico, desde la limpieza del equipo hasta el análisis de resultados, ya que cualquier error puede comprometer la integridad de los resultados.

Las actividades realizadas han reforzado mi conocimiento teórico y habilidades prácticas en técnicas analíticas avanzadas, preparándome para enfrentar desafíos

en mi carrera. La práctica con equipos especializados me ha permitido entender su relevancia en la química forense, proporcionando resultados específicos y detallados.

Finalmente, he reconocido la necesidad de aplicar valores como la ética profesional, el rigor científico y la responsabilidad para asegurar la precisión y confiabilidad en el trabajo. Asimismo, es esencial cumplir con normativas vigentes y mantener la confidencialidad de la información. La educación continua es fundamental para actualizar mis conocimientos, facilitando la innovación en el campo.

## Bibliografía

1. *Conoce la FGR*. (s. f.). Fiscalía General de la República. Recuperado 15 de febrero de 2024, de <https://fgr.org.mx/>
2. *AIC Agencia de Investigación Criminal*. (s. f.). Fiscalía General de la República. Recuperado 15 de febrero de 2024, de <https://fgr.org.mx/swb/FGR/AIC>
3. Kenneth, W., Raymond, D., Larry, P., & George, S. (2014). *Química* (10th ed.). Cengage Learning Editores SA de CV. <https://uam.vitalsource.com/books/9786075199580>
4. Mary, C., & Shawn, F. (2015). *Bioquímica Volumen I* (8th ed.). Cengage Learning Editores SA de CV. <https://uam.vitalsource.com/books/9786075225067>
5. *Soluciones estándar*. (2023, marzo 1). PCC Group Product Portal. Recuperado 27 de julio de 2024, de <https://www.products.pcc.eu/es/academy/soluciones-estandar/>
6. *Cómo preparar estándares de GC y HPLC*. (2023, 3 julio). One Lab. Recuperado 9 de agosto de 2024, de <https://www.onelab.com.ar/como-preparar-estandares-de-gc-y-hplc>
7. Crouch, S., Holler, F., & Skoog, D. (2018). *Principios de análisis instrumental*. (7th ed.). Cengage Learning Editores SA de CV. <https://uam.vitalsource.com/books/9786075266640>
8. McNair, H. M., Miller, J. M., & Snow, N. H. (2019). *Basic Gas Chromatography*. (3rd ed.). Wiley Editorial. <https://doi.org/10.1002/9781119450795>
9. *Técnica Cromatografía de Gases-Masas (GC-MS)*. (s. f.). Universidad Complutense Madrid. Recuperado 9 de agosto de 2024, de <https://cai.ucm.es/ciencias-tierra-arqueometria/tecnicas-geologicas/tecnicas/cromatografia-de-gases-masas-gc-ms/38/>
10. Singh, D. K., Pradhan, M., & Materny, A. (2022). *Modern Techniques of Spectroscopy: Basics, Instrumentation, and Applications*. (1st ed.). Springer. <https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-16346415-704db4b724.pdf>
11. *Academia de espectroscopía FTIR* (s.f). Thermo Fisher Scientific. Recuperado 9 de agosto de 2024, de <https://www.thermofisher.com/mx/es/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/molecular-spectroscopy/fourier-transform-infrared-spectroscopy/resources/ftir-spectroscopy-academy.html>
12. *ATR-FTIR Spectroscopy, FTIR Sampling Techniques* (s. f.). Agilent. Recuperado 9 de agosto de 2024, de [https://www.agilent.com/en/product/molecular-spectroscopy/ftir-spectroscopy/atr-ftir-spectroscopy?srsId=AfmBOooMMdysM\\_O6xCSXV5Jb36t5Q0jmnUWrD2x4CeyeFd6BmDG45vPa](https://www.agilent.com/en/product/molecular-spectroscopy/ftir-spectroscopy/atr-ftir-spectroscopy?srsId=AfmBOooMMdysM_O6xCSXV5Jb36t5Q0jmnUWrD2x4CeyeFd6BmDG45vPa)
13. Bejarano, M. de J., Caudillo, J., Magdaleno, F., & Saldaña, A. (2022). *Optimización de métodos GC-MS para la detección de metanfetamina, cocaína y fentanilo empleando la estrategia Lean Six Sigma*. *Revista Digital de Ciencia Forense*, 1(2), 13-26. <https://recif.unam.mx/index.php/revista/issue/view/2>
14. G., Habana, L. L., & Galicia, A. R. C. (2017). Reconstitución de prácticas sociales de modelación: lo lineal a partir de análisis químicos. El caso de la curva de calibración. *Deleted Journal*, 8(15), 29-55. [https://doi.org/10.33010/ie\\_rie\\_rediech.v8i15.57](https://doi.org/10.33010/ie_rie_rediech.v8i15.57)
15. *Análisis químico, medir es comparar*. (s. f.). AGQ Labs. Recuperado 15 de agosto de 2024, de <https://www.agq.com.es/article-es/analisis-quimico-medir-comparar>
16. Żubrycka, A., Kwaśnica, A., Haczkiwicz, M., Sipa, K., Rudnicki, K., Skrzypek, S., & Poltorak, L. (2021). Illicit drugs street samples and their cutting agents. The result of the GC-MS based profiling define the guidelines for sensors development. *Talanta*, 237, 122904. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2021.122904>

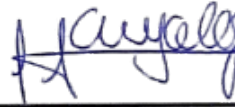


**Vo. Bo. Asesores**



---

**Asesor interno**  
Mtro. Francisco López Naranjo  
CBS- Dpto de Sistemas Biológicos  
N.º económico: 18198



---

**Asesor externo**  
Lic. Irma González Hernández  
Centro Federal Pericial Forense  
N.º cédula: 3372323