



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE  
SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE QUIMICO  
FARMACOBIOLOGÍA

**“IDENTIFICACIÓN DE COCAÍNA Y SUS  
ADULTERANTES”**

**T E S I S**

que para obtener el título de:  
**QUIMICO FARMACOBIOLOGO**

Presenta:  
**ELVIRA RAMOS LÓPEZ**

Asesora de tesis:  
**M.C. MARÍA DE LOS DOLORES LÓPEZ CALVILLO**

Co-asesora de tesis:  
**Q.F.B. MARTHA GUZMÁN CASTAÑEDA**

**MORELIA, MICHOACÁN**  
Diciembre de 2007



## **DEDICATÓRIA**

A Dios por guiarme a través de los indescifrables rumbos que toma la vida, de donde he aprendido que siempre existirán situaciones por las que vale la pena seguir adelante.

A mis padres: Rebeca y Javier, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos y regaños que me han permitido ser una persona de bien, pero sobre todo por su amor.

A toda mi familia, con quienes a pesar de la distancia y a través del tiempo, nos hemos logrado mantener unidos. Los quiero mucho.

Marco, gracias por estar siempre a mi lado, por escucharme, apoyarme y comprenderme, por ser mi compañero y mi mejor amigo. Te amo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Son innumerables todas las personas a quienes debo de agradecer todo su apoyo, de antemano ofrezco disculpas si involuntariamente omito algún nombre.

A mi Aserora M.C. María de Los Dolores López C. y Co-Asesora Q.F.B. Martha Guzmán C., por su infinita paciencia, apoyo y dedicación en la realización de esta Tesis.

Al Médico Legista y Forense Dr. Mario Miguel Ángel Herrera Ch., por el apoyo brindado.

A mis Sinodales: M.C. Héctor Urquiza M., Q.F.B. Armida Sánchez G. y M.C. Luis Raúl Chávez G., por sus valiosas aportaciones y sugerencias.

A todas mis compañeras y compañeros del Laboratorio de Química Forense, por su apoyo; pero de manera muy especial a la Q.F.B. Maria de los Ángeles, por las valiosas enseñanzas y por el tiempo compartido en la elaboración de esta Tesis.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, sobre todo a la Facultad de Químico Farmacobiología por darme la oportunidad de aprender y formarme como una profesionista.

## CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	ix
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	
1.1.- Antecedentes históricos.....	3
1.2.- propiedades Físicas y químicas.....	6
1.3.- Formas de presentación de la cocaína.....	6
1.4.- Régimen legal actual.....	9
1.5.- ¿Con que finalidad se le adicionan sustancias ajenas a la cocaína?...	11
1.6.- Técnicas utilizadas para identificación de la cocaína.....	15
<b>HIPÓTESIS.....</b>	<b>24</b>
<b>OBJETIVO.....</b>	<b>24</b>

<b>DISEÑO METODOLÓGICO</b>	
2.1.- Desarrollo del método.....	26
2.2.- Metodología empleada.....	29
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>32</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>53</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>55</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla I.-</b> Resultados obtenidos por Espectrofotometría Infrarroja.....	32
<b>Tabla II.-</b> Resultados obtenidos por Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas.....	42
<b>Tabla III.-</b> Resultados obtenidos al conjuntar las tablas I y II.....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.-</b> Espectro de infrarrojo de muestra No. 06.....	34
<b>Figura 2.-</b> Espectro de infrarrojo de muestra No. 14.....	35
<b>Figura 3.-</b> Espectro de infrarrojo de muestra No. 19.....	36
<b>Figura 4.-</b> Espectro de infrarrojo de muestra No. 32D.....	37

<b>Figura 5.-</b> Espectro de infrarrojo de muestra No. 38.....	38
<b>Figura 6.-</b> Espectro de infrarrojo de muestra No. 40.....	39
<b>Figura 7.-</b> Espectro de infrarrojo de muestra No. 43B.....	40
<b>Figura 8.-</b> Espectro de infrarrojo de muestra No. 50.....	41
<b>Figura 9.-</b> Cromatograma de muestra No. 06.....	43
<b>Figura 10.-</b> Espectro de masas de muestra No. 06, con patrones de fragmentación de metanfetamina.....	43
<b>Figura 11.-</b> Espectro de masas de muestra No. 06, con patrones de fragmentación de lidocaína.....	43
<b>Figura 12.-</b> Espectro de masas de muestra No. 06, con patrones de fragmentación de cocaína.....	43
<b>Figura 13.-</b> Cromatograma de muestra No. 14.....	44
<b>Figura 14.-</b> Espectro de masas de muestra No. 14, con patrones de fragmentación de metanfetamina.....	44
<b>Figura 15.-</b> Espectro de masas de muestra No. 14, con patrones de fragmentación de dipirona.....	44
<b>Figura 16.-</b> Espectro de masas de muestra No. 14, con patrones de fragmentación de cocaína.....	44

<b>Figura 17.-</b> Cromatograma de muestra No. 19.....	45
<b>Figura 18.-</b> Espectro de masas de muestra No. 19, con patrones de fragmentación de leptazol.....	45
<b>Figura 19.-</b> Espectro de masas de muestra No. 19, con patrones de fragmentación de cocaína.....	45
<b>Figura 20.-</b> Cromatograma de muestra No. 32D.....	46
<b>Figura 21.-</b> Espectro de masas de muestra No. 32D, con patrones de fragmentación de cocaína.....	46
<b>Figura 22.-</b> Cromatograma de muestra No. 38.....	47
<b>Figura 23.-</b> Espectro de masas de muestra No. 38, con patrones de fragmentación de lidocaína.....	47
<b>Figura 24.-</b> Espectro de masas de muestra No. 38, con patrones de fragmentación de cocaína.....	47
<b>Figura 25.-</b> Cromatograma de muestra No. 40.....	48
<b>Figura 26.-</b> Espectro de masas de muestra No. 40, con patrones de fragmentación de metanfetamina.....	48
<b>Figura 27.-</b> Espectro de masas de muestra No. 40, con patrones de fragmentación de efedrina.....	48
<b>Figura 28.-</b> Espectro de masas de muestra No. 40, con patrones de fragmentación de cocaína.....	48

<b>Figura 29.-</b> Cromatograma de muestra No. 43B.....	49
<b>Figura 30.-</b> Espectro de masas de muestra No. 43B, con patrones de fragmentación de procaína.....	49
<b>Figura 31.-</b> Espectro de masas de muestra No. 43B, con patrones de fragmentación de cocaína.....	49
<b>Figura 32.-</b> Cromatograma de muestra No. 50.....	50
<b>Figura 33.-</b> Espectro de masas de muestra No. 50, con patrones de fragmentación de lidocaína.....	50
<b>Figura 34.-</b> Espectro de masas de muestra No. 50, con patrones de fragmentación de procaína.....	50
<b>Figura 35.-</b> Espectro de masas de muestra No. 50, con patrones de fragmentación de cocaína.....	50

## RESUMEN

Este trabajo se efectuó con la finalidad de presentar una metodología que sea de utilidad para el analista en materia de Química Forense en identificar en muestras incautadas la presencia de cocaína y de los adulterantes presentes en las mismas, los cuales con frecuencia forman mezclas complejas que suelen dificultar la identificación de la sustancia química de interés. Para la parte experimental se utilizaron 66 muestras de cocaína incautadas por las autoridades del Estado de Michoacán, las cuales se analizaron de manera simultánea por: espectrofotometría de infrarrojo y la cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas,

Así entonces se deja un precedente de una metodología que puede ser empleada por el analista forense cuando requiera ya sea por interés clínico o de investigación con fines de procedencia criminal, identificar no solo la presencia de cocaína, sino además conocer la identidad de todos los adulterantes presentes en una determinada muestra.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos el consumo de drogas como la cocaína se ha incrementado en la población joven de nuestro Estado, alcanzando una extensión y una importancia que justifican plenamente la alarma social despertada, esto debido a que son diversos los aspectos del problema como son del orden social, médico, jurídico, criminológico, etc.

La identificación de las sustancias incautadas por las autoridades, es sumamente importante en el ámbito de la procuración de justicia, esto debido a que dependiendo su clasificación dentro de la Ley General de Salud le sirve de herramienta al Ministerio Público para resolver la situación jurídica del portador.

El presente trabajo de investigación resulta novedoso para las áreas relacionadas con la identificación de drogas de abuso, porque si bien, en diversas fuentes bibliográficas se mencionan las sustancias que son empleadas como adulterantes de la cocaína, no se hace referencia de las condiciones en que fueron procesadas las muestras, ni el equipo instrumental empleado para ello, constituyendo entonces la representación tangible de una investigación al respecto, contando para tal propósito con las técnicas analíticas de Espectrofotometría de Infrarrojo y de la Cromatografía de Gases acoplada a la Espectrometría de Masas.

En los laboratorios de química forense, existen diversos métodos para la identificación de la cocaína, los cuales se han ido ajustando al avance tecnológico, respondiendo a la necesidad de que en el mercado ilícito de la cocaína la introducción de mezclas cada vez más complejas dificultan su identificación. Anteriormente el empleo de la espectrofotometría infrarroja resultaba conveniente para la identificación de cocaína, este método ocasionalmente debe ser apoyado en la actualidad, ya que se obtiene un espectrograma difícil de interpretar pues suele ser el resultado de la mezcla analizada un espectro aditivo, debido a que las sustancias que frecuentemente se emplean como adulterantes generalmente son solubles en el cloroformo (disolvente orgánico) empleado en la técnica para efectuar la extracción directa de la muestra. Actualmente el uso de técnicas tan potentes como lo es la cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas, ha permitido, dada su alta especificidad, el separar los componentes volátiles de una muestra y lograr la detección de los diferentes analitos, mediante un proceso que simplifica su identificación, con lo cual se convierte en una herramienta sumamente valiosa para auxiliar al analista forense en la identificación de mezclas complejas.

Por lo anterior, el problema científico que sustenta a este estudio se relaciona con el hecho de que las principales complicaciones a que se enfrenta el analista forense es la impureza de las muestras, cuestión que suele dificultar el proceso de identificación y se deben buscar opciones analíticas que no se excluyan entre sí, sino potencien el sustento científico del método analítico.

## MARCO TEÓRICO

### 1.1.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La denominación de coca proviene de la lengua aborígen boliviana aimará en la que significa “comida”, su etimología alude al antiguo conocimiento de que la masticación de las hojas permite efectuar arduos trabajos o largas caminatas consumiendo una escasa cantidad de alimentos; del aimará pasó al quechua o quichua, dialecto utilizado actualmente en el Ecuador y en el Perú, en el que se deformó, conociéndose como Cuca forma en que llamo el inca historiador Garcilazo de la Vega a la planta.<sup>22,15,30</sup>

En 1855 el químico alemán Friedrich Gaedcke extrajo el alcaloide *eritroxolina* de las hojas de coca brasileña, sin embargo fue Albert Niemann, discípulo de Wohler, quien fue el primero en aislar el alcaloide puro de la coca llamándolo por primera vez “cocaína” entre 1859 y 1860. En 1862 Wilhelm Lossen estableció la formula definitiva del clorhidrato de cocaína.<sup>30,33,22,21</sup>

La introducción de la cocaína en la medicina fue motivada, principalmente por el amplio análisis realizado por una neuróloga italiana, Paola Mantegazza, la cual publica en 1857 un artículo en el cual sostiene la gran importancia que la coca tenía para la medicina, prescribiendo su uso para los dolores de muelas, la neurastenia, los dolores estomacales y otras enfermedades menores; Sigmund Freud, influido por

Mantegazza, inició una serie de estudios sobre las acciones fisiológicas de la cocaína. La comunidad médica entusiasmada por este nuevo fármaco, comenzó su utilización de la cual se derivó el empleo con fines no terapéuticos. Karl Koller apreció las cualidades anestésicas de la cocaína observadas por Freud y poco tiempo después introdujo a la droga en el ejercicio clínico en 1884 como anestésico tópico en operaciones oftalmológicas, por lo cual este tipo de utilización se le atribuye a los médicos vieneses Sigmund Freud y Karl Koller. La aceptación de este alcaloide como anestésico local fue inmediata, dándosele también aplicaciones en odontología. Poco después, Halstead y Hall en 1885 popularizaron su uso para la anestesia por infiltración y bloqueo de la conducción. En ese mismo año, Corning en EE.UU. y Bier en Alemania utilizaron cocaína para raquianestesia. Actualmente no tiene uso médico.<sup>33,9</sup>

El uso de la coca con fines recreativos se basó en la elaboración de bebidas alcohólicas, fue un astuto químico y empresario corso de nombre Angelo Mariani quien en 1863 elaboró un vino con extracto de coca. En 1885, John Smith Pemberton un químico de Atlanta lanzó al mercado una bebida saturada de gas carbónico y que además contenía otras drogas psicoactivas como nuez de cola, cafeína y desde luego cocaína, era la Coca-Cola, que inicialmente se llamó “Vino Francés” ó “Vino Peruano de Cocoa”.<sup>15,33</sup>

Por sus propiedades anestésica y estimulante, pronto se difundió su uso como droga recreacional en Europa y EUA, donde su alto costo formaba parte de los atractivos de la experimentación, puesto que suponía que sólo la elite de privilegiados podía tener acceso a ella. Pronto su empleo se democratizó y expandió a otros países, debido al aumento en su disponibilidad, deficiente pureza, precios bajos y al incremento en los centros de producción Sudamericanos.<sup>15</sup>

Cada vez fue mas notorio las adulteraciones de las dosis para venta callejera lo cual atrajo la atención de los analistas, así se encuentra que en 1974 los laboratorios Pharm Chem examinaron cuarenta muestras de diferentes dosis de cocaína circulantes en el mercado clandestino de California, E.U. y determinaron que todas estaban adulteradas en proporciones que iban del 30 al 40%. Diez años después, investigadores que prefieren mantener su anonimato, informaron que la pureza media se había reducido a la mitad.<sup>33</sup>

El consumo de la coca se perfila en las últimas décadas como una de las fármaco dependencias de penetración alarmante en todas las sociedades y su uso con fines lúdicos y recreacionales difiere completamente del uso cultural y ritual que hacían de las hojas de la coca los primitivos pobladores indígenas de América del Sur. En general esa ha sido la evolución de la dependencia por la más conocida droga psicoactiva de origen natural: la cocaína.<sup>9,15</sup>

## 1.2.- PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

La forma de presentación tradicional de la cocaína es como cocaína sal: **Clorhidrato de cocaína**. El cual es el principal componente del tráfico ilegal de la cocaína. Fórmula condensada  $C_{17}H_{21}NO_4 \text{ HCl}$ , peso molecular 339.81. Se presenta en forma de polvo blanco nacarado, sabor ligeramente amargo; generalmente es inodoro, es muy liposoluble. Punto de fusión  $197^{\circ}\text{C}$ . Solubilidad: un gramo se disuelve en 0.5 ml de agua; 3.2 ml de agua fría, 2 ml de alcohol caliente; 12.5 ml de cloroformo.<sup>9,4,25</sup>

## 1.3.- FORMAS DE PRESENTACIÓN DE LA COCAÍNA

En el mercado circulan las siguientes formas de cocaína:

**Sulfato de cocaína.-** También se denomina pasta de coca, **pasta base o basuco**. Es el producto bruto o no refinado que resulta del primer proceso de extracción de la cocaína a partir de las hojas de coca, el cual es un polvo de color amarillento. Contiene los mismos principios activos de la cocaína pero con gran cantidad de impurezas que lo hacen sumamente peligroso para la salud del consumidor. La base activa es de un 40% a 85% de sulfato de cocaína. Sirve de base para la posterior elaboración del clorhidrato de cocaína. Su forma de consumo es fumándola.<sup>9,15</sup>

**Clorhidrato de cocaína.-** Comúnmente denominada **cocaína**, es la sal de la cocaína formada con ácido clorhídrico. Se presenta en forma de polvo blanco nacarado; se consume por vía intranasal (esnifada) o por vía parenteral (inyectada por vía venosa). No es adecuado para fumarlo, porque aunque se funde a los 197°C, se descompone antes de alcanzar el punto de ebullición.<sup>9,4,25,15</sup>

**Cocaína base.-** Existen dos formas de consumo: la primera consiste en inhalar los vapores de **base libre** (“free base”) que es una sustancia cristalina, transparente incolora, inodora y termo resistente, en la cual, las complicaciones de su utilización (debido a que requiere utensilios especiales), la peligrosa elaboración del producto (contiene éter) y su elevado precio han hecho que su práctica no se generalice. El “**crack**” ó “**rock**” es la segunda forma de consumo; puede aparecer en diversas formas: gránulos blancos o amarillentos, como trozos de mármol, que se convierten en polvo al apretarlo entre los dedos. Se inhala en recipientes calentados o se fuma pulverizado y mezclado con otras drogas en forma de cigarrillos. La cocaína base (crack) es la forma que generalmente se fuma ya que la base es más volátil, vaporizándose a bajas temperaturas en contraste con el clorhidrato de cocaína que se descompone antes de volatilizarse cuando se calienta. El popular nombre de crack procede del ruido de crepitación que producen los cristales cuando se calientan y es una de las formas de consumo de cocaína más adictivas y peligrosas. En 2003, hubo un número de detenciones de crack coloreado artificialmente. El crack fue coloreado en un intento por enmascararlo como dulce, siendo detectado por las autoridades.<sup>9,22,18,12</sup>

Una mención aparte merece la **Cocaína negra** la cual es presentada de ésta manera en el mercado ilícito para evitar la detección por inspección visual, perros adiestrados para detectar droga y las pruebas utilizadas usualmente en la aduana, los contrabandistas están utilizando enmascarar la droga con sustancias químicas. **black cocaine** o **coca negra** es según se ha informado producida por adición de cobalto, carbón, cloruro férrico y limaduras de hierro a la cocaína. El resultado es una mezcla que tiene la apariencia de tierra arenosa, color negro, y posee un olor muy acre. Las pruebas normalmente usadas para detectar la cocaína dan resultados no decisivos y los perros adiestrados para detectar drogas no dan respuesta positiva ante el cambio de olor. Una vez que la cocaína negra llega hasta su destino, la adición de sustancias químicas es removida utilizando disolventes orgánicos. La primera detención de cocaína negra ocurrió en Colombia en 1998. En febrero del 2000, la aduana Australiana logro su primer detención de cocaína negra, el envío de 250 libras fue detectado utilizando la exploración con tecnología de iones. Detecciones de cocaína negra también han sido reportadas en España, Albania, Holanda y Alemania.<sup>12</sup>

La cocaína en polvo en colores azul y amarillo (empleando para ello colorantes de comida) ha sido incautada en el área de Miami. Otra forma empleada popularmente por los contrabandistas para evitar la detección de la droga de los perros adiestrados para detectar drogas es untando grasa, mostaza u otras sustancias sobre los paquetes de cocaína.<sup>12</sup>

#### 1.4.- RÉGIMEN LEGAL ACTUAL

La Coca (hojas de *Erythroxilon novogratense*), Cocaína (éster metílico de benzoilecgonina), Ecgonina sus ésteres y derivados que sean convertibles en ecgonina y cocaína se encuentran clasificadas como Estupefacientes en el artículo 234 de la Ley General de Salud, así como sus isómeros a menos que estén expresamente exceptuados, o cualquier otro producto derivado o preparado que contenga la sustancia.<sup>31,6</sup>

En nuestro país la Suprema Corte de Justicia de la Nación mediante tesis de Jurisprudencia ha resuelto en lo relativo al delito contra la salud, en su modalidad de posesión de cocaína, con respecto a la intrascendencia de la pureza de la droga, en el siguiente sentido: “Para que surja el ilícito contra la salud en su modalidad de posesión de cocaína resulta irrelevante la pureza del alcaloide pues al tratarse de un ilícito de peligro, es ajena la causación directa efectiva de un daño sobre la salud, y sólo debe atenderse a la puesta en peligro de ese bien jurídicamente tutelado por la norma y por ende es de tomarse en cuenta la droga en su integridad es decir, tanto en sus necesarios componentes como en aquéllos adicionales que incrementen su cantidad y que como consecuencia lógica también aumenten el peligro en el consumo de quien la posee y de la colectividad”.<sup>20</sup>

En los casos de aseguramientos en cantidades pequeñas de cocaína a un individuo, el representante social determinará si la cantidad que porta es para consumo personal de acuerdo al criterio clínico del médico, quien determina si es o no adicto el portador; sí se considera como adicto no se aplica ninguna sanción según el Artículo 199 del Código Penal Federal. De acuerdo al propio criterio médico si el portador no es adicto, se considera posesión de narcótico y se sanciona por mínima que sea la cantidad. Las penas para tal conducta ilícita, se encuentran previstas en las tablas del artículo 195 BIS del Código Penal para el Distrito Federal en Materia Común y para toda la República en Materia Federal.<sup>32</sup>

Por todo lo anterior es importante señalar que si bien, la identificación de todos los adulterantes, diluyentes y productos cercanos (impurezas), no es solicitada para generar el reporte final (dictamen) del analista forense, tal información puede resultar útil en evaluar tendencias y posibles patrones de distribución de la droga.<sup>28</sup>

## 1.5.- ¿CON QUÉ FINALIDAD SE LE ADICIONAN SUSTANCIAS AJENAS A LA COCAÍNA?

El consumo y demanda de cocaína implica prácticas “fraudulentas” de los distribuidores hacia los consumidores, que se manifiesta en la estafa económica y aumento de toxicidad derivado de las siguientes prácticas:

**Dilución.-** Es una práctica frecuente, la cual consiste en la adición de una sustancia inactiva a fin de aumentar el peso y volumen de la cocaína, reduciendo su pureza. Se denomina “cortar” y se aplica a la mayoría de las drogas costosas y potentes, antes de distribuir las a los vendedores. El proceso de cortar la cocaína varía de individuo a individuo y a menudo el traficante más importante usa procesos más complicados, pero la operación básica es la misma para todo el tráfico de la cocaína.<sup>33,1,28,12</sup>

Para el “corte” se utilizan generalmente productos inactivos que tienen la misma apariencia física que la cocaína, un costo sumamente bajo y fácil adquisición, como talco, bicarbonato de sodio, polvo para hornear, almidón, inositol, silicato de magnesio, leche en polvo, harina o azúcares (manitol, glucosa, lactosa, sacarosa). Si bien carecen de efectos psicoactivos, estos aditivos pueden tener efectos físicos adversos, como ocurre con los abrasivos añadidos a la cocaína, que incrementan la lesión que produce esta droga en las fosas nasales o con cualquier aditivo que dificulte su solubilidad, haciendo más peligrosa su administración intravenosa.<sup>33,28,12,1</sup>

**Adulteración.-** Se utiliza para simular el sabor y efecto de la cocaína, lo que aumenta considerablemente el riesgo de intoxicación y muerte, debido a que los adulterantes pueden ser más tóxicos que la propia droga.<sup>33,1,28</sup>

Se mezcla la droga con una sustancia activa, no inerte. Como ejemplos tenemos: cafeína, dipirona, aspirina, ácido bórico. Los anestésicos locales, tales como la lidocaína, la procaína, la benzocaína y la tetracaína o los estimulantes como la efedrina, anfetaminas, se añaden con frecuencia a la cocaína para aparentar que tiene mayor pureza.<sup>1,33,28</sup>

**Sustitución.-** Consiste en vender una droga lícita (cafeína, aspirina, dipirona, etc.) anunciando que se trata de la que solicita el comprador, sin que sea percibido por este, a menudo a principiantes.<sup>1</sup>

Como sustitutos de la cocaína, se distribuyen sustancias que sólo contienen mezclas de estimulantes que se presentan con nombres y apariencia, que simulan los de la verdadera droga. Cuando el sustituto tiene inferior potencia no hay riesgos severos; ahora bien, si el sustituto es más potente, el consumidor corre un grave peligro.<sup>1</sup>

**Contaminación.-** Son las impurezas que contienen las drogas del mercado negro, debido principalmente a los deficientes laboratorios que las producen. Con frecuencia contienen residuos de reactivos químicos utilizados en la producción de la droga.<sup>10,1,12</sup>

Durante la obtención clandestina de cocaína a partir de las hojas de coca, se crean productos derivados de la fabricación tales como: ecgonina, ecgonidina, metilecgonina y tropina, los que pueden ser determinados en el producto final. Estos productos derivados pueden ser formados por una variedad de procesos químicos. Uno de los más comunes es la hidrólisis de la droga de origen, lo cual puede ocurrir durante la fabricación-síntesis o mientras esta en almacenamiento.<sup>10,9</sup>

Además de los productos derivados de la fabricación, las drogas que tienen su origen en productos naturales están usualmente contaminadas con impurezas de alcaloides o también conocidas como impurezas naturales. Cuando la cocaína se extrae de las hojas de coca se detectan alcaloides que están presentes en la hoja “sobreviven” el proceso de fabricación, tales como cis-cinamoilcocaína, truxilinas, tropococaína, benzoilecgonina, ácido cinámico e hidroxycocaínas. Estas impurezas alcaloidales varían ampliamente en su concentración en las muestras de cocaína.<sup>10</sup>

Otra fuente de contaminación de la cocaína es debida a los disolventes de procesamiento. Los residuos de disolventes que están presentes a niveles de trazas o indicios en las muestras de cocaína, se cree que aparecen durante la conversión de la cocaína base a clorhidrato de cocaína. Dentro de las sustancias utilizadas con

mayor frecuencia en dicho proceso están las incluidas en el Artículo 4<sup>o</sup> de la Ley Federal para el Control de Precursores Químicos, Productos Químicos Esenciales y Máquinas para Elaborar Cápsulas, Tabletas y/o Comprimidos, en la categoría de los Productos Químicos Esenciales, los cuales son: acetona, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, éter etílico, metiletilcetona, permanganato de potasio y tolueno. Otras sustancias usadas en el mismo proceso y no sujetas a dicha ley son: benceno, cloroformo, gasolina, hidróxido de amonio, hidróxido de sodio y queroseno.<sup>10,31,1</sup>

En términos generales, como una medida previa toda la cocaína es cortada ó adulterada antes de salir del área de producción, reduciendo el promedio de pureza de los ladrillos de cocaína a un 77%. Una vez que la cocaína alcanza su país destino el vendedor-importador en cantidades multi-kilo la restringe a un número de grandes mayoristas. El gran mayorista en turno vende a un limitado número de distribuidores en cantidades de kilo. El distribuidor corta ó adultera la cocaína que ha comprado y entonces la vende a un gran número de traficantes en cantidades de a kilo ó en cuartos. Los traficantes también cortan ó adulteran la cocaína y venden a pequeños traficantes en cuartos ó en pequeñas cantidades. El pequeño traficante adiciona aún más cortes ó adulterantes y vende a los consumidores en gramo ó cantidades menores a un gramo.<sup>12,33</sup>

Basado en las estadísticas de la oficina encargada de fiscalizar los narcóticos en los Estados Unidos de América la DEA (Drug Enforcement Administration), la pureza de la cocaína desciende aproximadamente del 77% del nivel de importación, a un nivel promedio alrededor de 56% por gramo ó menos, variando extensamente la

pureza en las muestras individuales dependiendo del número de vendedores por los que pasa la droga.<sup>12</sup>

## 1.6.- TÉCNICAS UTILIZADAS PARA IDENTIFICACIÓN DE LA COCAÍNA

En los últimos años se han incrementado el número de sustancias psicotrópicas y estupefacientes sometidas a fiscalización internacional. Paralelamente acorde al avance tecnológico se han desarrollado, implementado y adaptado nuevas técnicas en el ámbito de la Química Forense para identificación y cuantificación.<sup>12,15,19</sup>

La cocaína puede encontrarse como cocaína base, clorhidrato de cocaína, sulfato de cocaína o con otras sustancias ajenas de variada composición, las cuales enmascaran su presentación y dificultan su identificación con técnicas de orientación o presuntivas; por tal motivo el uso de técnicas analíticas de alta sensibilidad, especificidad y resolución son sumamente importantes, ya que permiten la confirmación o identificación fehaciente de dichas sustancias.<sup>9,18,10,12,19,24</sup>

Al elegir la técnica analítica para el estudio, el analista debe tomar en cuenta que la cantidad de muestra que tendrá a su disposición para realizar la identificación de la sustancia sólida es alrededor de 100 miligramos y en determinadas ocasiones puede ser menor esta cantidad.<sup>24</sup>

Las técnicas utilizadas para la identificación de la cocaína son:

### **Técnicas presuntivas**

#### Reacciones con desarrollo de color.

- Reacción de Tiocianato de Cobalto.- utilizada para identificación de caínas. Esta reacción es negativa para la pasta de cocaína y la cocaína base.<sup>24,19,25</sup>
- Reacción de Bouchardat.- utilizada para identificación de alcaloides en general.<sup>24,19,25</sup>
- Reacción de Scott o Tiocianato Modificado.- utilizada para cocaína base (Crack), pasta de cocaína y otras caínas).<sup>24,19</sup>

En las reacciones con desarrollo de color, multitud de sustancias dan lugar a una coloración cuando se mezclan con ciertos reactivos químicos. En algunas ocasiones dicho color puede ser específico de un compuesto, pero en la mayor parte de los casos, la reacción es producida por varios compuestos clasificados en un determinado grupo en función de su estructura química. A veces dicha reacción es producida por compuestos que no pertenecen al mismo grupo o categoría química.<sup>25,24,19</sup>

El color obtenido puede variar en función de las condiciones de la reacción, la cantidad de muestra y la presencia de sustancias extrañas.<sup>25,24</sup>

Cuando la muestra contiene más de una sustancia ó una coloración utilizada para enmascarar su apariencia, se puede obtener una mezcla colorida, por lo que es aconsejable realizar una separación cromatográfica, por ejemplo la Cromatografía en Capa Fina (CCF).<sup>25,24,19</sup>

### **Técnicas de confirmación**

En el desarrollo de las técnicas de confirmación se realiza inicialmente una extracción directa de la muestra empleando disolventes orgánicos.<sup>25,24,19,28</sup>

### Cromatografía en Capa Fina.

La cromatografía es un método de separación de mezclas de compuestos químicos. La efectividad de éste método aunado a la reproducibilidad y a la gran variedad de formas posibles en que pueda efectuarse una separación cromatográfica, son la base de la versatilidad que se le ha conferido a éste método analítico.<sup>25,17,19</sup>

### Espectrofotometría Infrarroja.

La espectroscopia infrarroja se ha convertido en un instrumento indispensable como fuente de datos estructurales de sustancias orgánicas. En sistemas orgánicos, se aplica como técnica analítica cualitativa y cuantitativa. La aplicación analítica de esta valiosa técnica se centra fundamentalmente en el aspecto cualitativo dentro del campo de la Química Orgánica.<sup>27,26,5</sup>

En general, numerosos químicos orgánicos emplean este método de una forma rutinaria en el estudio de materiales desconocidos, tanto en bruto como en estado puro, para obtener datos sobre grupos funcionales y otras características estructurales.<sup>27,25</sup>

En los últimos años, los equipos para espectrofotometría infrarroja se han hecho cada vez más accesibles al químico experimental.

Las aplicaciones potenciales del análisis infrarrojo son casi ilimitadas. Sin embargo, el químico interesado en reducir el tiempo requerido para la obtención de datos analíticos, debe estar absolutamente seguro de que la aplicación proyectada puede realizarse por técnicas infrarrojas.<sup>26,28,17</sup>

Por lo general, como práctica de rutina para el químico forense debe utilizar el análisis infrarrojo, desde el punto de vista cualitativo, para determinar la presencia o ausencia de grupos funcionales específicos de una mezcla. El espectro de absorción

de mezclas es generalmente aditivo, esto es, la suma de los espectros individuales de los componentes.<sup>25,17,5,27</sup>

Es importante describir, en los términos más sencillos posibles, como se origina un espectro y que factores básicos generales de la espectrofotometría infrarroja pueden suministrar una información estructural.

Cuando se eleva la temperatura de una sustancia, empieza a emitir energía radiante. La cantidad de radiación emitida es función de la longitud de onda o de la frecuencia y depende de la temperatura y de su emisividad. La intensidad de una banda de absorción está relacionada con la concentración de la sustancia que absorbe la radiación incidente.<sup>17,27,26</sup>

Al introducir una sustancia tal como cocaína nos permite detectar los movimientos de vibración y rotación de los átomos de la molécula provocados al interactuar con la radiación infrarroja, obteniendo un espectro que corresponde a la “*huella digital*” de la molécula en cuestión (cocaína). Las bandas de absorción características de la cocaína, en un intervalo de longitud de onda de 2000 a 650  $\text{cm}^{-1}$ , son: 1275,1710, 1110, 1738, 712, 1037  $\text{cm}^{-1}$  en tableta o disco de bromuro de potasio.<sup>27,26,17,25</sup>

### Cromatografía de Gases.

La Cromatografía es una técnica de separación que ha revolucionado la Química Analítica, la cual puede aplicarse en análisis de mezclas orgánicas complejas.<sup>27,26,5</sup>

El proceso comienza con la preparación de la muestra (extracción), la cual es inyectada en el cromatógrafo de gases (siendo la muestra un líquido volátil o un gas) a través de un septo (un disco de goma), en un portador caliente, en el que se evapora rápidamente. El vapor es arrastrado a través de la columna por el gas portador, que puede ser He, N<sub>2</sub> o H<sub>2</sub>, y los analitos después de separados en la fase estacionaria llegan al detector, cuya respuesta aparece en la pantalla de un ordenador o registrador. La columna debe estar suficientemente caliente a fin de que los analitos alcancen una presión de vapor suficiente para que eluyan en un tiempo razonable. El detector se mantiene a una temperatura más alta que la columna, de forma que los analitos se encuentran en forma gaseosa.<sup>27,26,17,5,25</sup>

### Espectrometría de Masas.

Un Espectrómetro de Masas es un potente detector para análisis cualitativo y cuantitativo de analitos en cromatografía de gases y de líquidos. La espectrometría de masas es una técnica que se basa en ionizar moléculas gaseosas (de ordinario, convirtiéndolas en cationes), acelerarlas en un campo eléctrico, y luego separarlas de acuerdo con sus masas. El proceso de ionización de ordinario suministra suficiente energía para que las moléculas se rompan en diversos fragmentos. Un

espectro de masas es un gráfico que muestra la abundancia relativa de cada fragmento que choca con el detector de un espectrómetro de masas.<sup>27,17,5,25</sup>

El eluato del cromatógrafo pasa directamente a un espectrómetro de masas, que registra la corriente total de todos los iones de un intervalo amplio seleccionado de masas. Cada pico del cromatograma se identifica registrando su espectro de masas a medida que se eluye. El eje de las abscisas de un espectro de masas es  $m/z$ , la masa del ion ( $m$ , en unidades de masa atómica) dividida por el número de cargas que lleva ( $z$ ). La mayoría de los iones tienen una sola carga, de modo que  $m/z$  es equivalente a la masa del ion en unidades de masa atómica. El ion de  $m/z$  que no se ha roto en fragmentos (es decir que su es valor igual al de las unidades de masa atómica del analito) se llama ion molecular. Los principales picos de  $m/z$  para la cocaína son 82, 182, 83, 105, 303, 77, 94, 96.<sup>26,27,5,17,25</sup>

### Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas

Aunque la espectrometría de masas es una poderosa herramienta para la identificación de compuestos puros, es insuficiente para el análisis de incluso las mezclas más simples, ya que la identificación está limitada por el inmenso número de fragmentos de diferentes valores de  $m/z$  producidos. La interpretación de los complejos espectros resultantes es a menudo imposible. Por esta razón, los químicos han desarrollado los métodos acoplados en los que el espectrómetro de masas está acoplado a un sistema de separación eficaz como en el caso de la

cromatografía de gases. El acoplamiento de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG/EM) proporcionan al químico unas potentes herramientas para la identificación de los componentes de una mezcla compleja de sustancias, aunado a la facilidad de operar ambos en equipos en conjunción con un sistema de cómputo.<sup>26,27,5,17</sup>

Durante los últimos años la Espectrometría de Masas (EM) y la Cromatografía de Gases (CG) han venido demostrando su versatilidad como métodos analíticos para la determinación estructural y separación de compuestos orgánicos, habiéndose convertido respectiva e independientemente en dos métodos analíticos en los que se juntan una gran rapidez, sensibilidad y poder resolutivo, la sensibilidad y especificidad de esta técnica permite identificar componentes de mezclas por abajo del nivel de picogramo.<sup>27,5,25</sup>

Los sistemas acoplados Espectrometría de Masas y la Cromatografía de Gases (CG/EM) en la actualidad han adquirido un auge muy grande y se reconoce como uno de los sistemas más eficaces, a disposición del químico analítico, para el estudio e identificación de mezclas complejas de compuestos orgánicos. Los instrumentos de cromatografía de gases/espectrometría de masas se han utilizado para la identificación de cientos de componentes que están presentes en sistemas naturales y biológicos, para el análisis de mezclas orgánicas y bioquímicas complejas. Por ejemplo estos procedimientos han permitido caracterizar los componentes responsables del olor y del sabor de los alimentos, identificar

contaminantes del agua, llevar a cabo diagnosis médica basada en los componentes del aliento y estudios sobre los metabolitos de drogas. Además de que un análisis así se requieren cantidades menores de muestra para analizar.<sup>26,5,17,26</sup>

En este apartado se anotan las técnicas presuntivas que se emplean de rutina y se describe el instrumental utilizado en la presente la investigación. Además del equipo instrumental mencionado con anterioridad existen otros equipos utilizados para la identificación de la cocaína: Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución (HPLC), Espectrometría de Luz Ultravioleta y otros diversos acoplamientos, aún cuando su aplicación no sea la señalada para tal fin.

## HIPÓTESIS

Las muestras de cocaína incautadas contienen adulterantes, los cuales suelen dificultar su identificación por los métodos analíticos comúnmente utilizados en las instituciones de impartición de Justicia.

## OBJETIVO

Proponer una metodología que permita al analista identificar en muestras incautadas la presencia de cocaína y adulterantes con la aplicación de la Espectrofotometría de infrarrojo y de la Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas.

## DISEÑO METODOLÓGICO

El presente trabajo se fundamentó en un proyecto de investigación en el campo de la Química Forense, para proponer una metodología que permita al analista identificar en muestras la presencia de cocaína y adulterantes que suelen dificultar el análisis y la aplicación de métodos e interpretación de resultados que comúnmente se encuentran reportados en la bibliografía para sustancias puras. Para cumplir con lo anterior se emplearon métodos teóricos, analíticos y procedimientos estadísticos, como números absolutos y porcentajes; para obtener, procesar, sintetizar y analizar la información requerida.

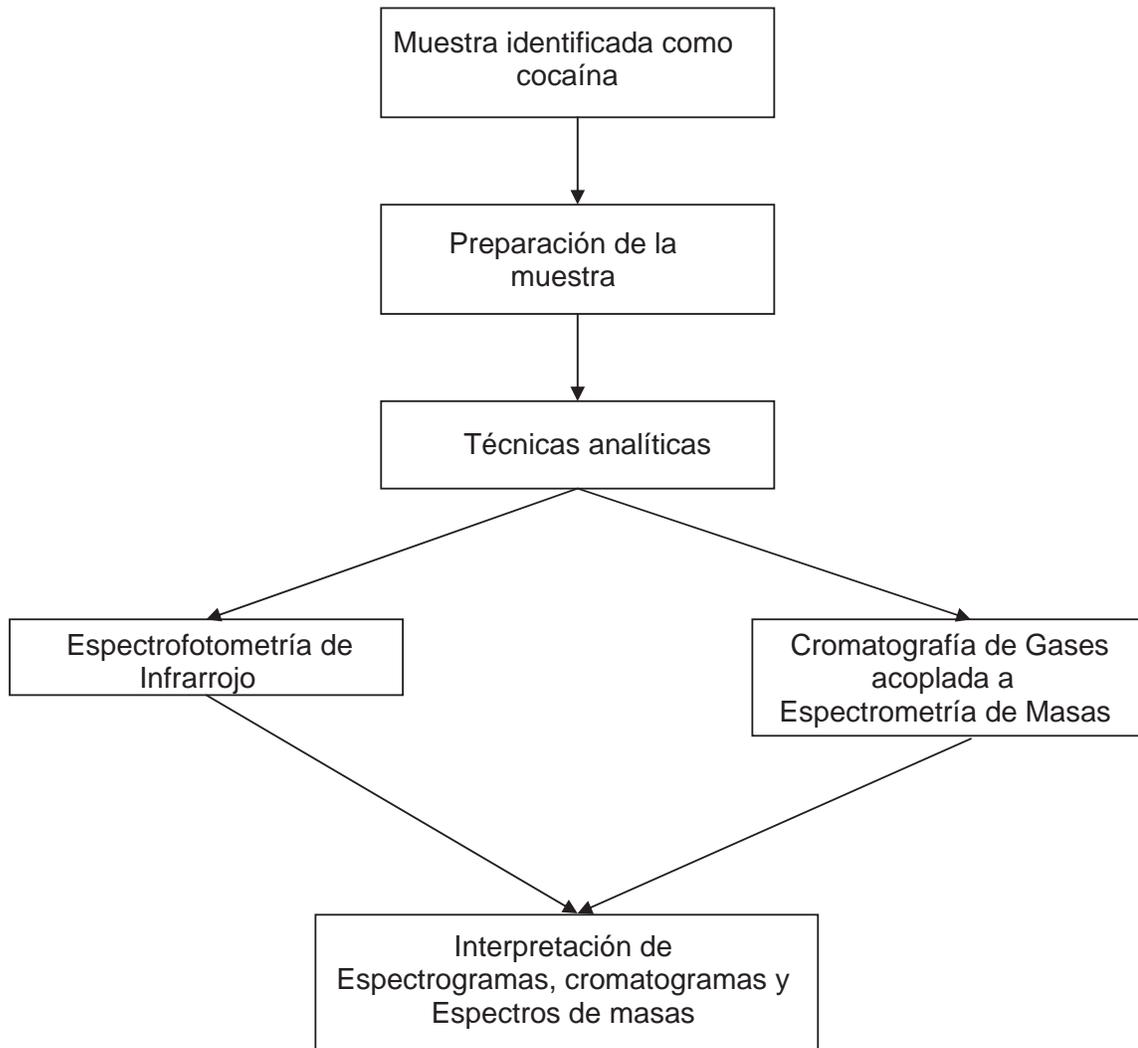
### **Lugar donde se desarrolló el Trabajo:**

Este trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Química Forense, dependiente de la Dirección General de Servicios Periciales del Estado con sede en Morelia, Michoacán.

### **Muestras a analizar:**

66 muestras de cocaína incautadas por las autoridades del Estado de Michoacán.

## 2.1.- DESARROLLO DEL MÉTODO



**Material:**

- Gradilla.
- Frascos goteros.
- Tubos de ensayo de vidrio.
- Pipetas Pasteur de vidrio.
- Bulbos para pipeta Pasteur.
- Pipetas volumétricas de 1, 5 y 10 ml.
- Papel filtro.
- Embudos de vidrio.

**Reactivos:**

- Agua destilada.
- Cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ).
- Hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) al 10%.
- Sulfato de sodio anhidro ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).

**Equipo:**

- Plato caliente.
- Balanza analítica.
- Mezclador para tubos de ensayo.

- Espectrofotómetro Infrarrojo.

Modelo Spectrum RX.

Marca: Perkin Elmer.

Serie: PE-1200 F1841.

ATR utilizada: Seleniuro de Zinc.

Software: "Spectrum FITR V2.00".

Bibliotecas: Iowa crime Lab-Drugs

Crime-Drugs/FBR/chem

Fibers

Fluka

- Cromatógrafo de gases.

Modelo: Auto system XL.

Marca: Perkin Elmer.

Serie: 610N0111606.

Columna Cromatográfica: capilar

Longitud 30 metros.

Diámetro interno 0.25 mm.

Espesor de la membrana 0.25 nm.

Fase estacionaria 100 % dimethylpolysiloxane (EC-1).

Marca Alltech.

Fase móvil: Helio de ultra alta pureza (99.998 %).

Detector utilizado: Espectrómetro de masas.

Software: "Turbo Mass ver 4.1.1.

- Espectrómetro de masas.

Modelo: Turbo Mass.

Marca: Perkin Elmer.

Serie: a40N1032102.

Software: "Turbo Mass ver 4.1.1.

Biblioteca: Nistms.

## 2.2.- METODOLOGÍA EMPLEADA:

### **Espectrofotometría Infrarroja.**

Extracción.- Se colocó una pequeña cantidad de cocaína en un tubo de ensayo, se adicionaron 2 ml de agua destilada, 1 gota de NaOH al 10% para alcalinizar y llevar a un pH entre 8 y 9, agitar, agregar 1 ml de cloroformo, agitar suavemente; con una pipeta Pasteur separar la fase inferior o clorofórmica y pasar a un tubo limpio. Evaporar en baño maría hasta que se tenga 1 o 2 gotas del extracto.

Aplicación.- Colocar directamente el extracto de la muestra sobre el ATR.

Analizar el Espectrograma obtenido.- En un intervalo de longitud de onda de 2000 a 650  $\text{cm}^{-1}$ .

### **Cromatografía de gases acoplada a Espectrometría de masas.**

Extracción.- Se colocó una pequeña cantidad de la cocaína en un tubo de ensayo, se adicionaron 2 ml de agua destilada, 1 gota de NaOH al 10% para alcalinizar y llevar a un pH entre 8 y 9, agitar, agregar 1 ml de cloroformo, agitar suavemente, con una pipeta Pasteur separar la fase inferior o clorofórmica y filtrarla a través de un papel filtro el cual debe de contener Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhidro en un tubo limpio. Evaporar bajo corriente de nitrógeno a sequedad, reconstituir con 10 microlitros de cloroformo.

Aplicación.- Se realizó inyección directa de 0.2 microlitros de cada una de las muestras en el cromatógrafo de gases utilizando jeringa de 10 microlitros.

Analizar el Cromatograma y el Espectro de masas obtenidos: Observar tiempos de retención y patrones de fragmentación.

### CONDICIONES DEL CROMATOGRAFO DE GASES ACOPLADO AL ESPECTROMETRO DE MASAS (CG/EM):

- 1.- Estabilizar y calibrar el equipo.
- 2.- Ajustar la presión de salida del cilindro de helio a 80 PSI.
- 3.- Ajustar la presión en la cabeza de la columna a 15 PSI.

### CROMATOGRAFO DE GASES:

- Temperatura del horno inicial: 150 °C.
- Tiempo inicial: 3 min.
- Incremento de la temperatura: 5 °C/ min.
- Temperatura del horno final: 250 °C.

- Tiempo final: 7 min.
- Tiempo total: 30 min.
- Temperatura del inyector: 180 °C.
- Split: cerrado.

#### ESPECTRÓMETRO DE MASAS:

- Temperatura del detector: 230 °C.
- El modo de adquisición de datos es "FULL SCAN".
- Tiempo de retraso de adquisición "Solvent delay": 2.0 min.
- Monitoreo de masas : 30-300

Las condiciones del Cromatógrafo de Gases acoplado al Espectrómetro de Masas se establecieron analizando de forma independiente testigos de cada una de las sustancias que la literatura menciona como empleadas para adulterar la cocaína. Para lo cual se tomaron en cuenta las propiedades físicas y químicas tanto de la cocaína como de las sustancias "testigo" tales como: solubilidad, debido a que se empleó el uso de disolvente orgánico (cloroformo) para realizar la extracción; el punto de fusión el cual se tomó en cuenta para diseñar la rampa de intervalos en las temperaturas del cromatógrafo de gases; etc.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

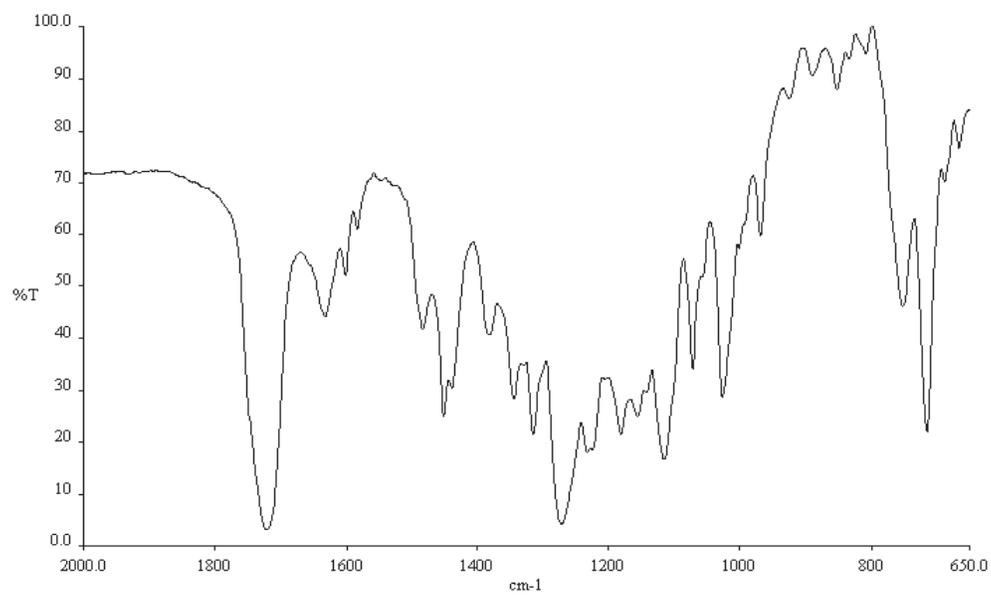
Los resultados que se presentan a continuación están fundamentalmente derivados de la aplicación del método analítico propuesto. Los elementos teóricos obtenidos en la revisión y análisis del material bibliográfico y documental se han aplicado en la elaboración del marco teórico, así como en la discusión de estos resultados.

Número de muestra	Sustancias identificadas.
01, 02, 03, 05, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13A, 13B, 15, 16, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 30A, 30B, 31, 32A, 32B, 32C, 32D, 32E, 33, 34A, 34B, 34C, 35A, 35B, 36, 37A, 37B, 37C, 39A, 39B, 41, 42, 43A, 43C, 43D, 44, 45, 46, 47A, 47B, 48, 49	cocaína
04, 06, 29, 38	lidocaína, cocaína.
14	metanfetamina, dipirona, cocaína.
17, 43B, 50	procaína, cocaína.
19,28	cocaína y otra sustancia no identificada.
40	Metanfetamina, efedrina.

n=66

Como se observa en la Tabla I, después de analizar las muestras por Espectrofotometría de Infrarrojo, que en 83 % de las muestras analizadas se identificó solamente cocaína y 17% de las muestras tienen adulterantes, de las cuales 6% contienen lidocaína y cocaína, 1.5% contienen metanfetamina, dipirona y cocaína, 5% contienen procaína y cocaína, 3% contienen cocaína y otra sustancia no identificada, 1.5% contienen metanfetamina y efedrina.

Se muestran a continuación los Espectrogramas obtenidos por Espectrofotometría Infrarroja, los cuales son representativos de cada grupo de sustancias que se identificaron:



MUEST06.PK

MUEST06.SP 1351 2000.000 650.000 3.162 100.000 4.000 %T 4 10.000

MUESTRA 06

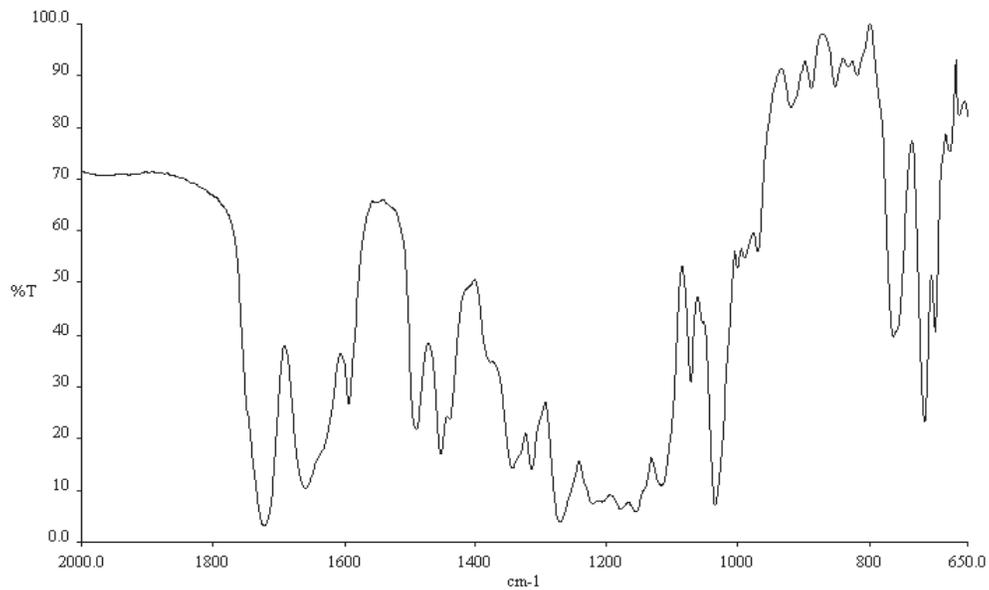
REF 2000 71.864 600

1721.828 3.161 1632.736 44.145 1451.349 25.130 1315.040 21.524 1271.349 4.247

1180.642 21.612 1114.389 16.749 1071.431 34.257 1025.831 28.717 967.261 59.866

752.148 46.196 715.070 22.012

**Figura 1.-** Espectro de infrarrojo de muestra No. 06.



MUEST14.PK

MUEST14.SP 1351 2000.000 650.000 3.162 100.000 4.000 %T 4 10.000

MUESTRA 14

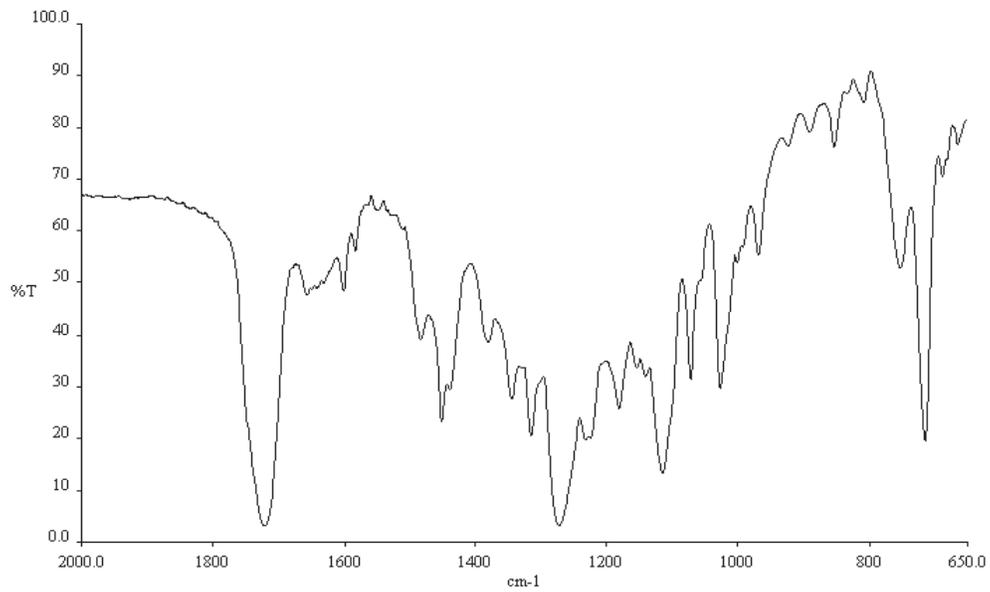
REF 2000 71.548 600

1722.816 3.160 1659.606 10.467 1490.367 21.810 1452.667 17.013 1314.295 14.030

1270.415 3.908 1071.281 31.087 1033.718 7.152 852.225 87.867 763.501 39.765

715.762 23.221 699.389 40.646

**Figura 2.-** Espectro de infrarrojo de muestra No. 14.



MUEST19.PK

MUEST19.SP 1351 2000.000 650.000 3.162 90.942 4.000 %T 4 10.000

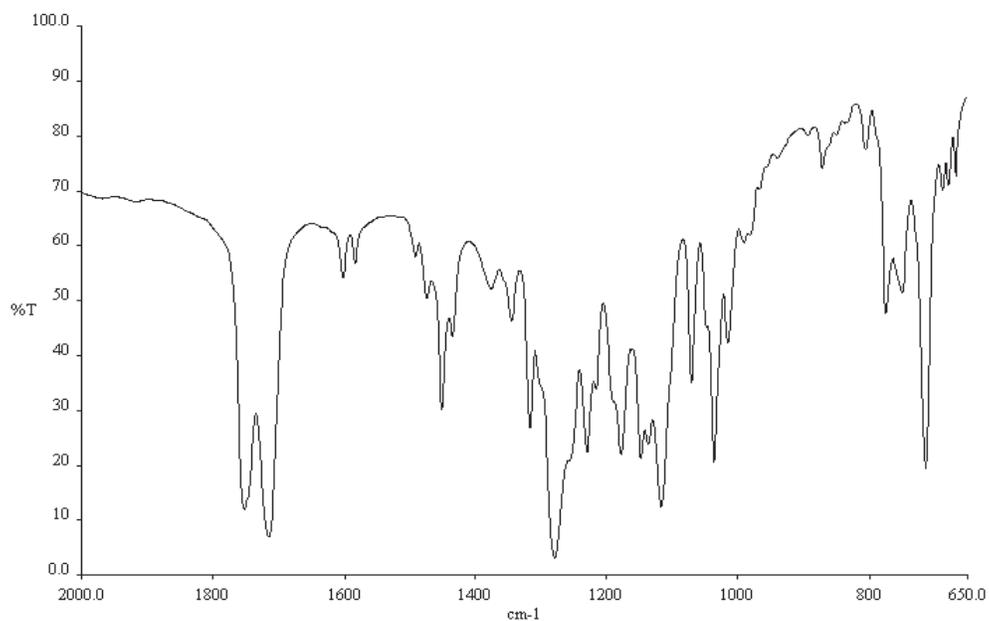
MUESTRA 19

REF 2000 66.809 600

1722.339 3.159 1451.465 23.372 1315.266 20.551 1272.006 3.272 1113.823 13.444

1071.398 31.497 1026.020 29.743 752.759 52.766 714.638 19.546

**Figura 3.-** Espectro de infrarrojo de muestra No. 19.



MUEST32D.PK

MUEST32D.SP 1351 2000.000 650.000 3.162 87.150 4.000 %T 4 10.000

MUESTRA 32d

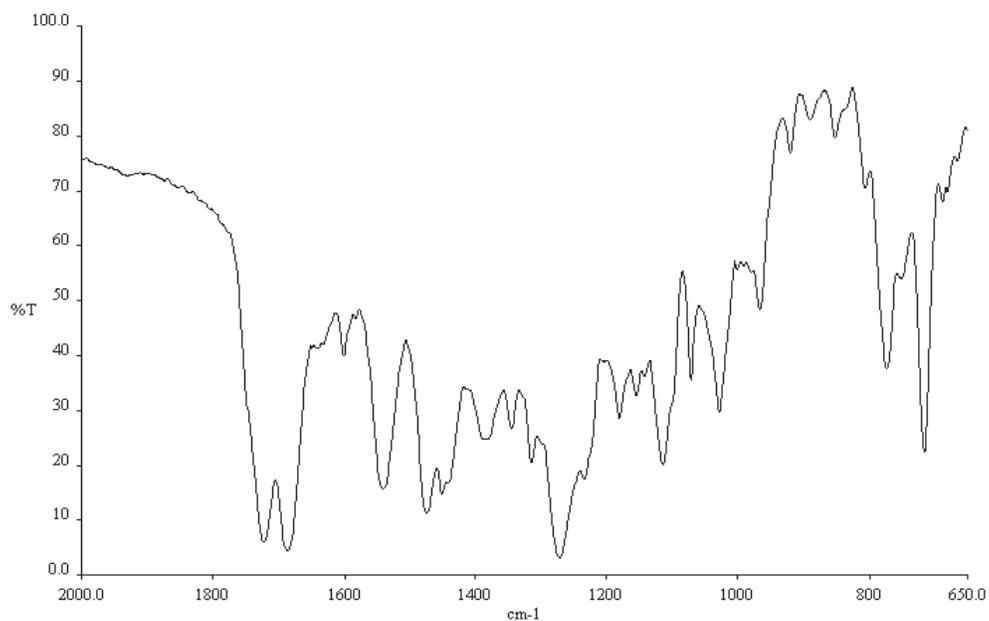
REF 2000 69.772 600

1751.101 11.978 1716.060 6.946 1451.191 30.150 1316.479 26.783 1278.946 3.161

1229.582 22.504 1177.117 22.160 1115.965 12.399 1070.123 35.173 1035.240 20.519

774.826 47.666 713.961 19.534

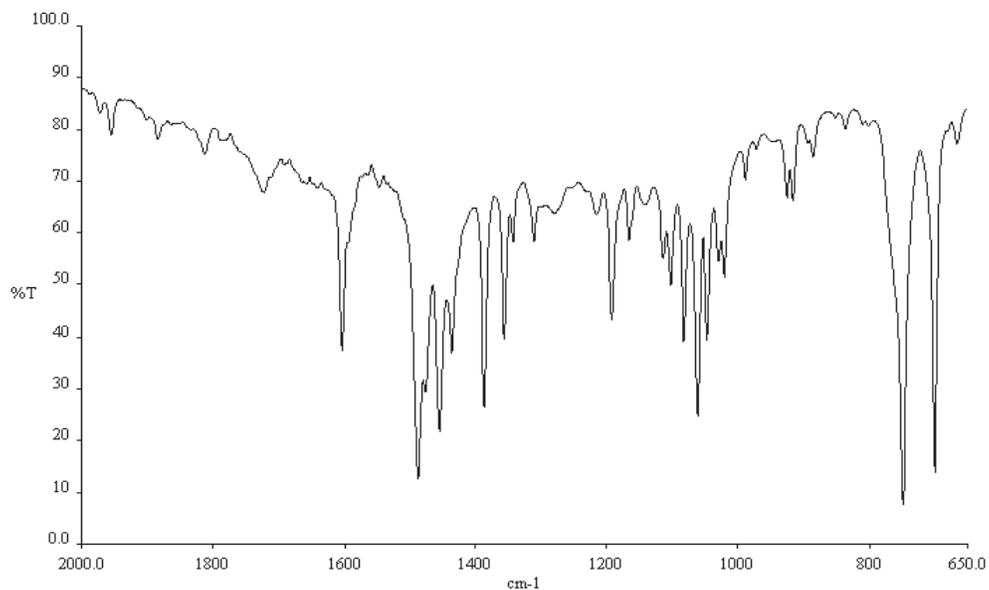
**Figura 4.-** Espectro de infrarrojo de muestra No. 32D.



MUEST38.PK

MUEST38.SP 1351 2000.000 650.000 3.162 89.071 4.000 %T 4 10.000  
 MUESTRA 38  
 REF 2000 75.679 600  
 1723.510 5.990 1687.193 4.454 1541.929 15.783 1474.947 11.331 1271.352 3.155  
 1179.919 28.724 1113.318 20.287 1070.806 35.652 1027.447 29.764 773.184 37.575  
 716.112 22.425

**Figura 5.-** Espectro de infrarrojo de muestra No. 38.



MUEST40.PK

MUEST40.SP 1351 2000.000 650.000 7.668 87.888 4.000 %T 4 10.000

MUESTRA 40

REF 2000 87.841 600

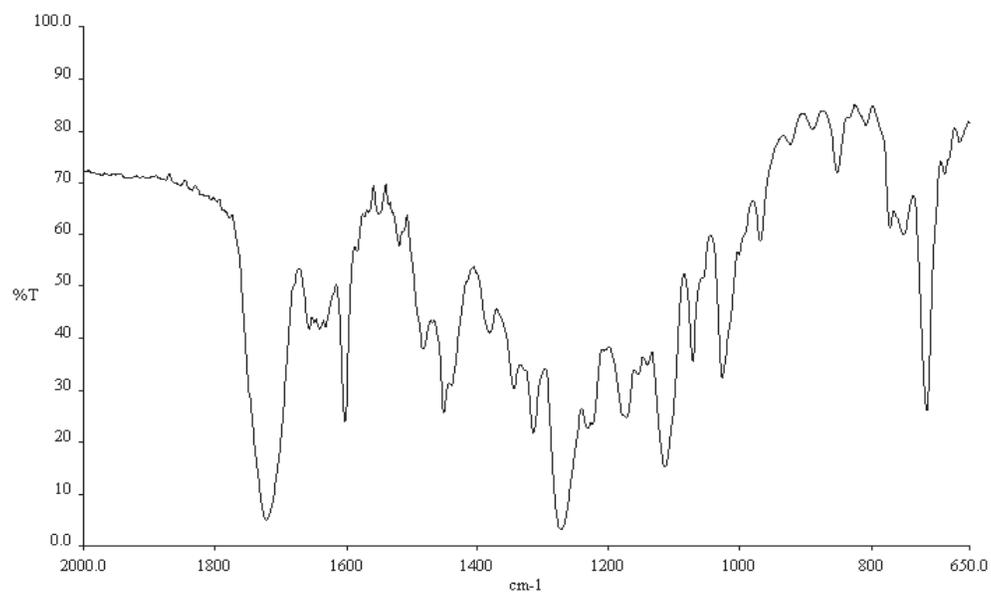
1604.031 37.584 1487.932 12.552 1454.954 21.776 1436.041 36.862 1386.377 26.097

1355.923 39.637 1310.505 58.338 1191.738 43.212 1101.761 49.725 1081.653 38.879

1060.273 24.531 1046.052 39.345 1019.817 51.300 914.624 66.218 748.683 7.555

700.108 13.816

**Figura 6.-** Espectro de infrarrojo de muestra No. 40.



MUEST43B.PK

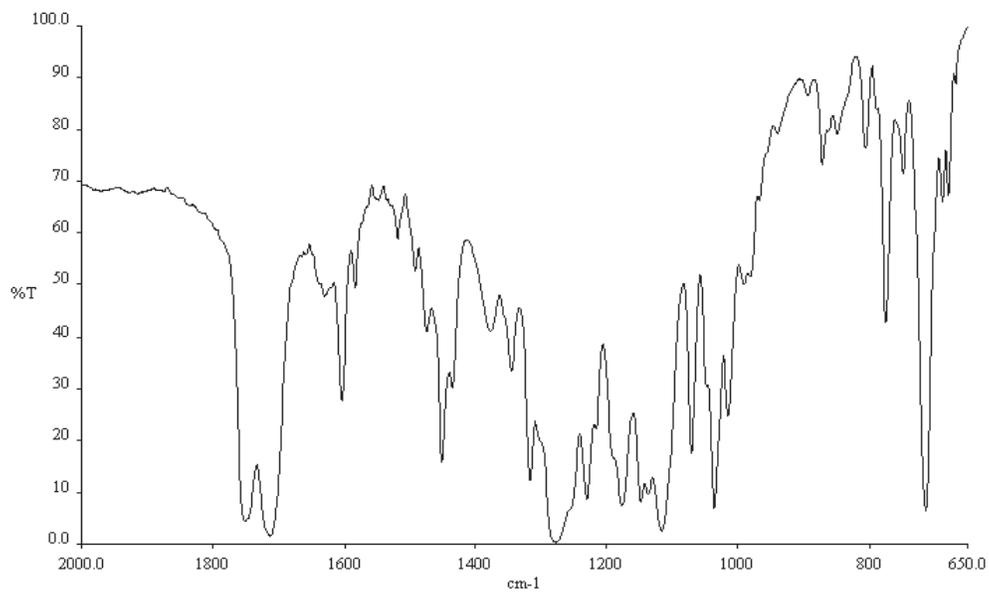
MUEST43B.SP 1351 2000.000 650.000 3.162 85.073 4.000 %T 4 10.000

MUESTRA 43b

REF 2000 72.093 600

1722.415 5.041 1602.712 24.109 1451.297 25.745 1314.745 21.942 1271.987 3.162  
 1172.215 24.819 1113.238 15.264 1071.407 35.677 1025.987 32.558 852.278 72.064  
 715.568 26.274

**Figura 7.-** Espectro de infrarrojo de muestra No. 43B.



MUEST50.PK

MUEST50.SP 1351 2000.000 650.000 0.351 100.000 4.000 %T 4 10.000

MUESTRA 50

REF 2000 69.498 600

1749.901	4.448	1714.005	1.592	1604.210	27.722	1450.975	15.963	1345.021	33.416
1316.384	12.299	1277.834	0.350	1229.629	8.755	1175.867	7.471	1115.084	2.542
1070.076	17.504	1034.865	6.829	1013.874	24.917	871.953	73.314	805.723	76.327
774.898	42.833	748.561	71.399	713.769	6.388				

**Figura 8.-** Espectro de infrarrojo de muestra No. 50.

<b>Tabla II.- Resultados obtenidos por Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas.</b>	
Número de muestra	Sustancias identificadas.
01, 02, 03, 05, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13A, 13B, 15, 16, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 30A, 30B, 31, 32A, 32B, 32C, 32D, 32E, 33, 34A, 34B, 34C, 35A, 35B, 36, 37A, 37B, 37C, 39A, 39B, 41, 42, 43A, 43C, 43D, 44, 45, 46, 47A, 47B, 48, 49	Cocaína
04, 29, 38	lidocaína, cocaína.
06	metanfetamina, lidocaína, cocaína.
14	metanfetamina, dipirona, cocaína.
17, 43B	procaína, cocaína.
19, 28	leptazol, cocaína.
40	Metanfetamina, efedrina, cocaína.
50	lidocaína, procaína, cocaína.

N=66

Como se puede observar en la Tabla II, después de analizar las muestras por Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas, que en 83% de las muestras analizadas se identificó solamente cocaína y 17% de las muestras tienen adulterantes, de las cuales 5% contienen lidocaína y cocaína, 1.5% contienen metanfetamina, lidocaína y cocaína, 1.5% contienen metanfetamina, dipirona y cocaína, 3% contienen procaína y cocaína, 3% contienen leptazol y cocaína, 1.5% contienen metanfetamina, efedrina y cocaína, 1.5 % contienen lidocaína, procaína y cocaína.

Se muestran a continuación los Cromatogramas y espectros de masas obtenidos por Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas representativos de cada grupo de sustancias identificadas:

### MUESTRA 06

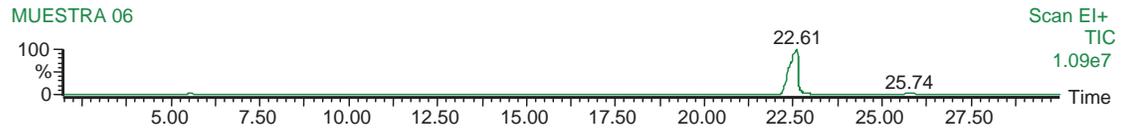


Figura 9.- Cromatograma de muestra No. 06.

### MUESTRA 06

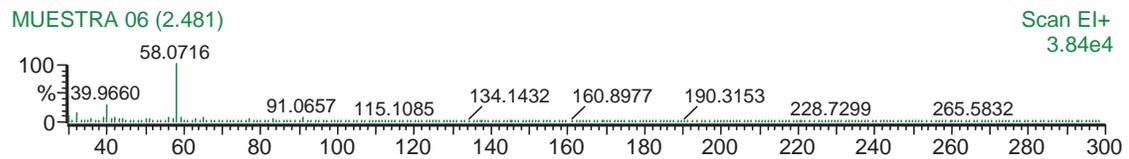


Figura 10.- Espectro de masas de muestra No. 06, con patrones de fragmentación de metanfetamina.

### MUESTRA 06

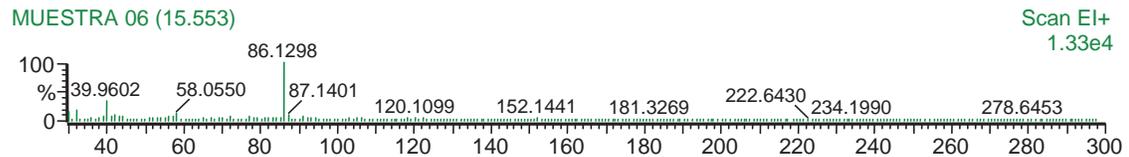


Figura 11.- Espectro de masas de muestra No. 06, con patrones de fragmentación de lidocaína.

### MUESTRA 06

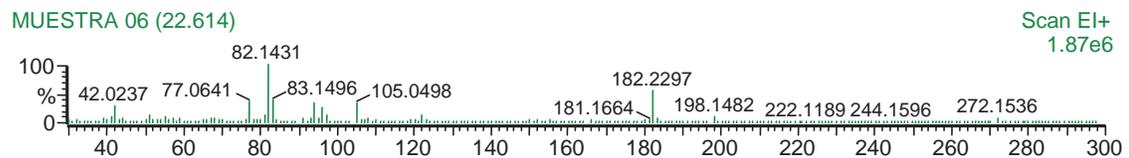


Figura 12.- Espectro de masas de muestra No. 06, con patrones de fragmentación de cocaína.

### MUESTRA 14

MUESTRA 14

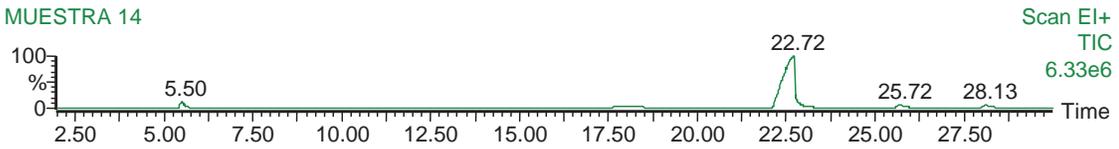


Figura 13.- Cromatograma de muestra No. 14.

### MUESTRA 14

MUESTRA 14 (2.461)

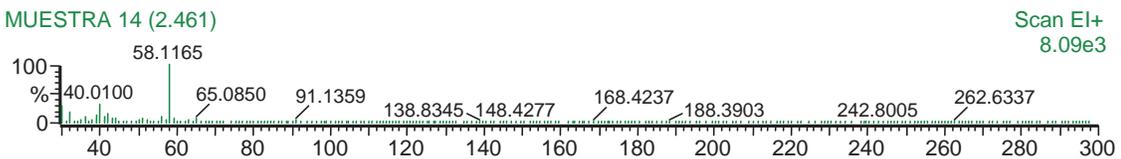


Figura 14.- Espectro de masas de muestra No. 14, con patrones de fragmentación de metanfetamina.

### MUESTRA 14

MUESTRA 14 (17.914)

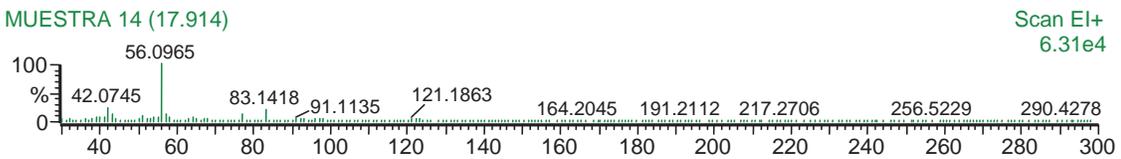


Figura 15.- Espectro de masas de muestra No. 14, con patrones de fragmentación de dipirone.

### MUESTRA 14

MUESTRA 14 (22.721)

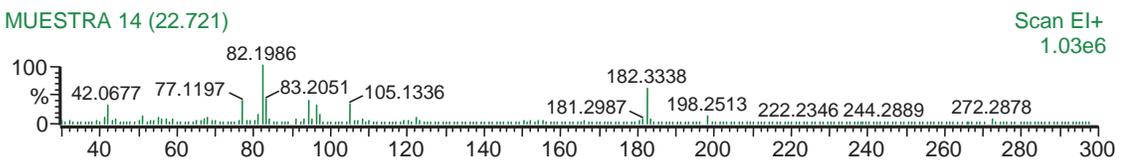


Figura 16.- Espectro de masas de muestra No. 14, con patrones de fragmentación de cocaína.

**MUESTRA 19**

MUESTRA 19

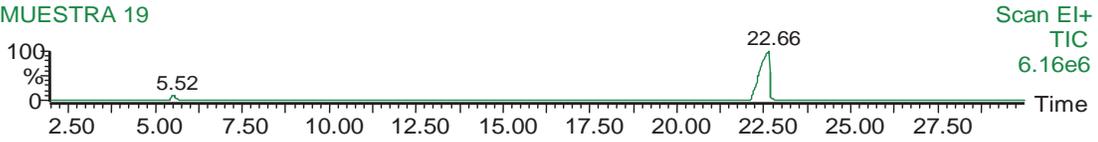


Figura 17.- Cromatograma de muestra No. 19.

**MUESTRA 19**

MUESTRA 19 (13.615)

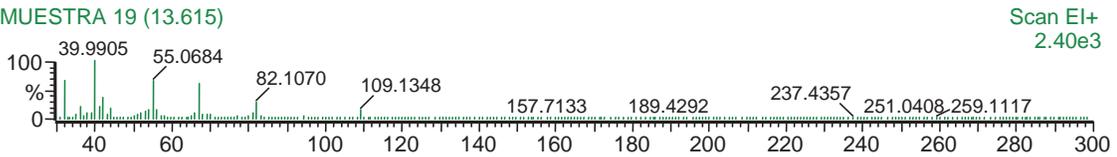


Figura 18.- Espectro de masas de muestra No. 19, con patrones de fragmentación de leptazol.

**MUESTRA 19**

MUESTRA 19 (22.663)

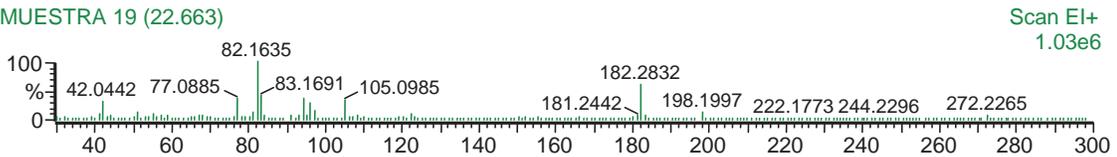
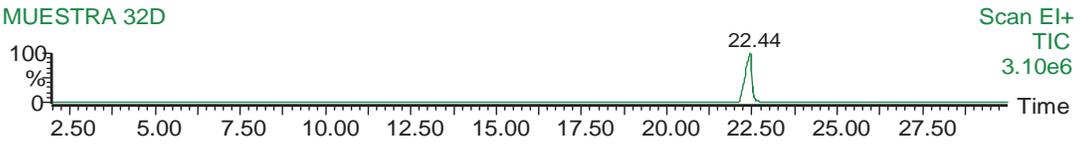


Figura 19.- Espectro de masas de muestra No. 19, con patrones de fragmentación de cocaína.

**MUESTRA 32D**

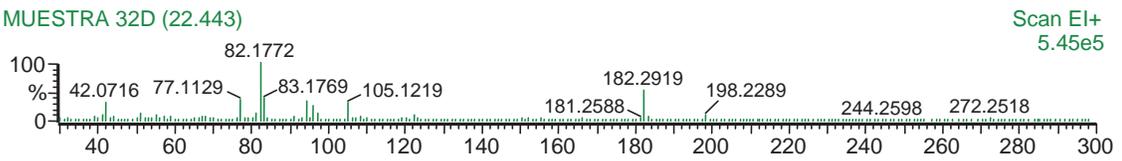
MUESTRA 32D



**Figura 20.-** Cromatograma de muestra No. 32D.

**MUESTRA 32D**

MUESTRA 32D (22.443)



**Figura 21.-** Espectro de masas de muestra No. 32D, con patrones de fragmentación de cocaína.

### MUESTRA 38

MUESTRA 38

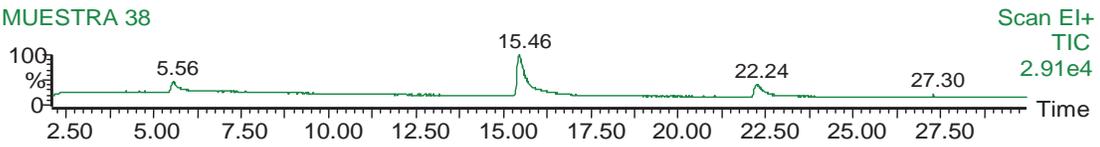


Figura 22.- Cromatograma de muestra No. 38.

### MUESTRA 38

MUESTRA 38 (15.467)

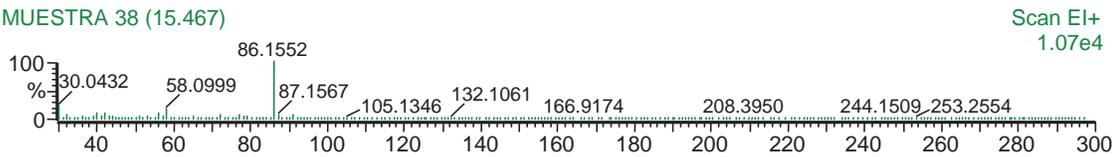


Figura 23.- Espectro de masas de muestra No. 38, con patrones de fragmentación de lidocaína.

### MUESTRA 38

MUESTRA 38 (22.241)

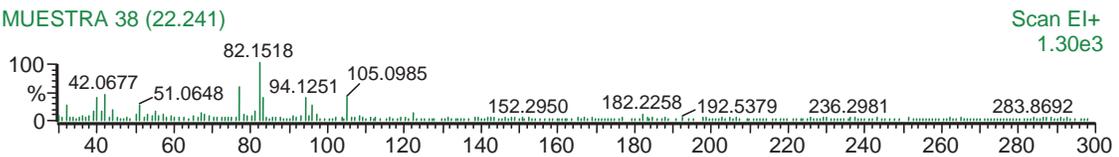


Figura 24.- Espectro de masas de muestra No. 38, con patrones de fragmentación de cocaína.

### MUESTRA 40

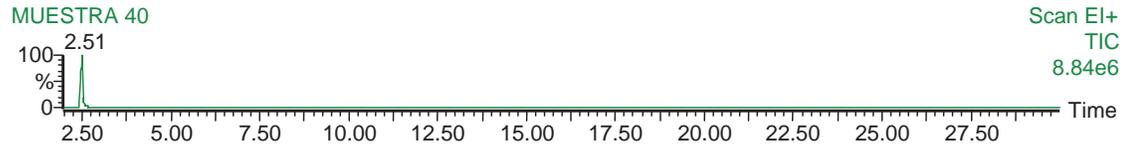


Figura 25.- Cromatograma de muestra No. 40.

### MUESTRA 40

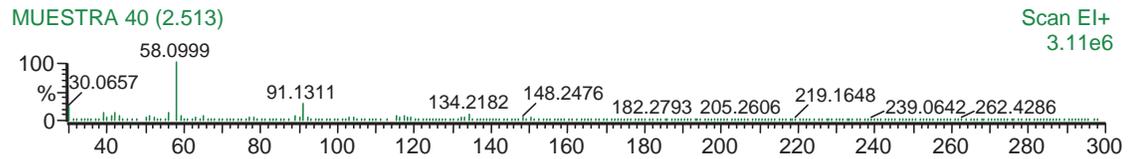


Figura 26.- Espectro de masas de muestra No. 40, con patrones de fragmentación de metanfetamina.

### MUESTRA 40

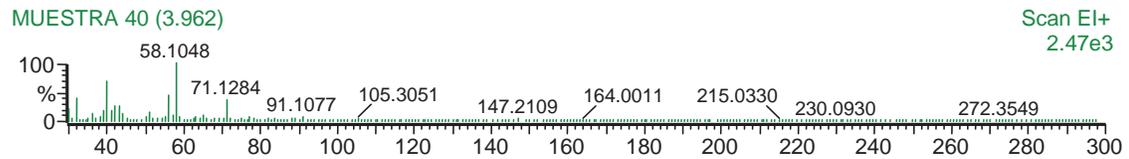


Figura 27.- Espectro de masas de muestra No. 40, con patrones de fragmentación de efedrina.

### MUESTRA 40

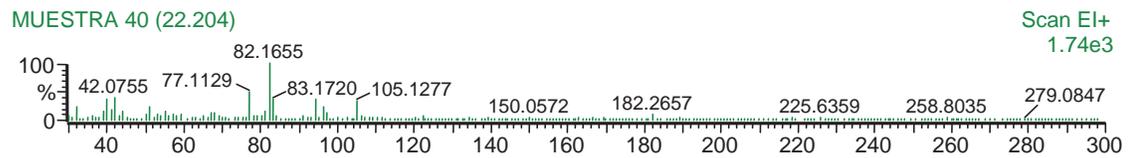


Figura 28.- Espectro de masas de muestra No. 40, con patrones de fragmentación de cocaína.

### MUESRA 43B

MUESTRA 43B

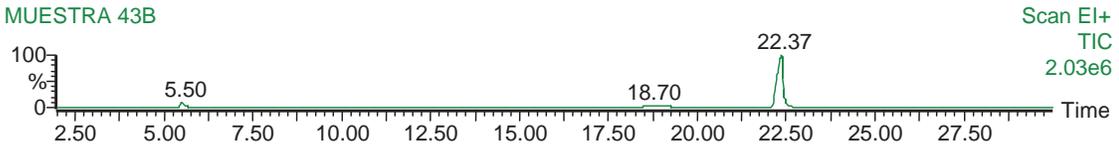


Figura 29.- Cromatograma de muestra No. 43B.

### MUESRA 43B

MUESTRA 43B (18.702)

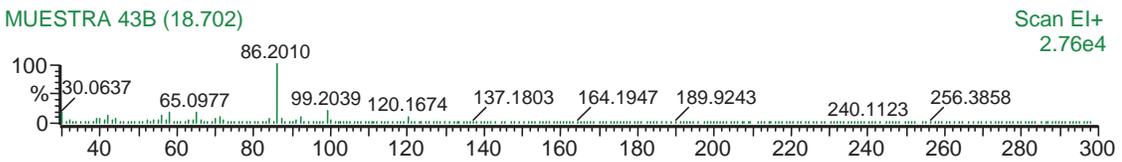


Figura 30.- Espectro de masas de muestra No. 43B, con patrones de fragmentación de cocaína.

### MUESRA 43B

MUESTRA 43B (22.370)

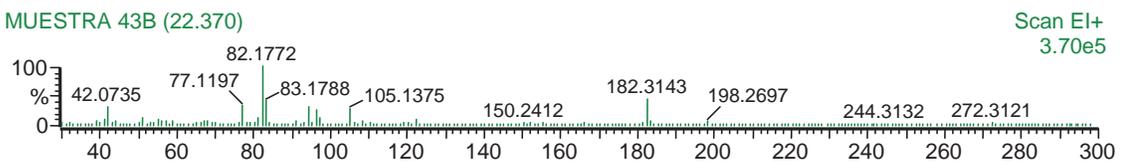


Figura 31.- Espectro de masas de muestra No. 43B, con patrones de fragmentación de cocaína.

### MUESTRA 50

MUESTRA 50

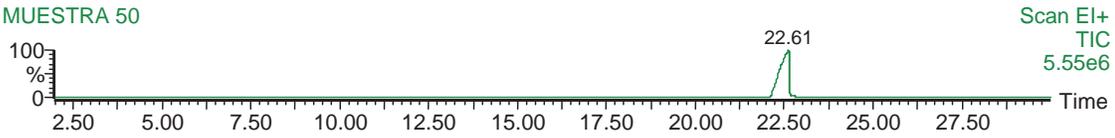


Figura 32.- Cromatograma de muestra No. 50.

### MUESTRA 50

MUESTRA 50 (15.513)

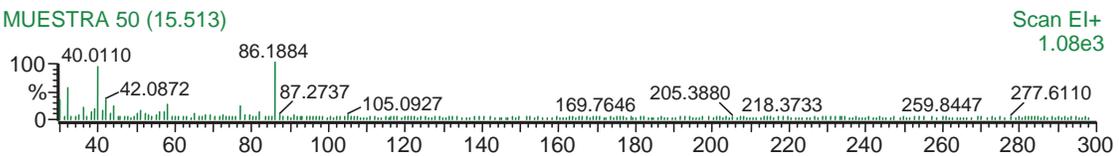


Figura 33.- Espectro de masas de muestra No. 50, con patrones de fragmentación de lidocaína.

### MUESTRA 50

MUESTRA 50 (18.895)

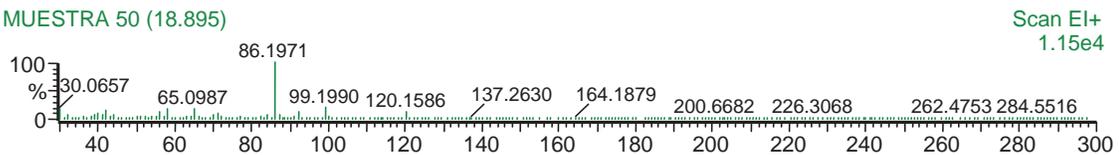


Figura 34.- Espectro de masas de muestra No. 50, con patrones de fragmentación de procaína.

### MUESTRA 50

MUESTRA 50 (22.613)

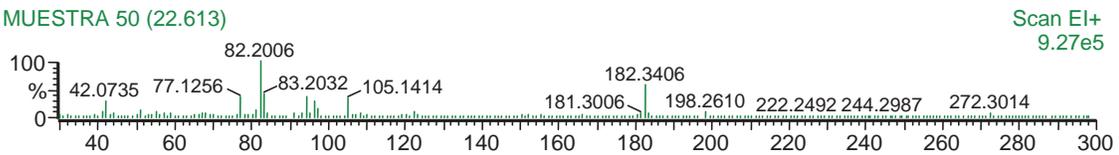


Figura 35.- Espectro de masas de muestra No. 50, con patrones de fragmentación de cocaína.

En la tabla III se conjuntan únicamente los resultados obtenidos del análisis de muestras de cocaína en que se identificó la presencia de adulterantes.

<b>Tabla III.- Resultados obtenidos al conjuntar las tablas I y II.</b>		
Número de muestra	Sustancias identificadas al analizar la muestra por Espectrofotometría Infrarrojo.	Sustancias identificadas al analizar la muestra por Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas.
04, 29, 38	Lidocaína, cocaína.	Lidocaína, cocaína.
06	Lidocaína, cocaína.	<b>Metanfetamina</b> , lidocaína, cocaína.
14	Metanfetamina, dipirona, cocaína.	Metanfetamina, dipirona, cocaína.
17, 43B	Procaína, cocaína.	Procaína, cocaína.
19, 28	Cocaína y otra sustancia no identificada.	<b>Leptazol</b> , cocaína.
40	Metanfetamina, efedrina.	Metanfetamina, efedrina, <b>cocaína</b> .
50	Procaína, cocaína.	<b>Lidocaína</b> , procaína, cocaína.

n=10

Como se aprecia en la tabla III, del total de las muestras en que se identificó la presencia de adulterantes, a 60% de estas muestras que les fueron identificados adulterantes, éstos fueron identificados de forma simultanea por Espectrofotometría de Infrarrojo por Transformada de Fourier y por Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas; mientras que a 40% de las muestras que les fueron identificados adulterantes, no se identificaron por espectrofotometría de infrarrojo por transformada de fourier, ya que solamente se identificaron al someterse la muestra a Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas.

Solo una de las muestras (No. 40) no puede ser incluida dentro de los porcentajes anteriores, puesto que no se trata de un adulterante el que no se identificó de manera simultánea, sino que se trata de la cocaína.

El resto de las muestras que no se mencionan en la tabla anterior, se debe a que el resultado en el empleo de ambas técnicas instrumentales corresponde solo a la identificación de cocaína sin la presencia de algún adulterante; esto no significa que se trata de muestras puras, sino que estas muestras pueden contener algún otro tipo de sustancias diluyentes no identificables por el instrumental empleado o bien que éstas no seas extraídas en el disolvente orgánico empleado para la extracción (por ejemplo azúcares, almidones y talcos).

Es importante indicar, que por Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas, se logro identificar otro tipo de sustancias en algunas de las muestras, las cuales no corresponden a adulterantes, sino a contaminantes, entre las cuales se encuentran: la metilecgonina que es un contaminante derivado de la fabricación y la cis-cinamoilcocaína que es un contaminante conocido como impureza natural. La identificación de las sustancias contaminantes mencionadas con anterioridad, no forma parte del objetivo del presente trabajo de identificación, sin embargo se considera pertinente mencionarlas, debido a que fueron localizadas bajo las condiciones que se establecieron para identificar por Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se realizó la caracterización de la cocaína y de sustancias utilizadas para su adulteración por Espectrofotometría de Infrarrojo y por el método propuesto para Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas.

Solamente en una de las sesenta y seis muestras analizadas no se logró identificar la presencia de cocaína por espectrofotometría de infrarrojo.

Las sustancias adulterantes de la cocaína que se identificaron son: metanfetamina, lidocaína, dipirona, procaína, leptazol y efedrina.

La comparación de interpretación de resultados por ambas técnicas instrumentales en las muestras que solo se identificó cocaína (n=55) y no la presencia de algún adulterante fue del 100%, teniendo en cuenta que no se está señalando que se trató de muestras puras, sino que puede que contengan sustancias no identificables por el instrumental empleado o bien que esas sustancias no sean solubles en el disolvente orgánico empleado.

La Espectrofotometría de Infrarrojo como técnica instrumental para la identificación de cocaína y sus adulterantes (en muestras que contengan más de uno), resulta ser un proceso sumamente complejo debido al espectro aditivo que se obtiene, en el cual si las bandas características de las sustancias motivo de análisis

se localizan en regiones muy cercanas entre si se superponen, lo cual dificulta su identificación; por el contrario en mezclas donde las bandas características no se localicen en regiones muy cercanas, si se puede lograr una buena identificación de la cocaína e incluso de los adulterantes presentes en la muestra. Por otra parte las bandas de absorción de la cocaína o de las sustancias adulterante pueden verse muy reducidas o poco significativas debido a una baja concentración en el extracto de la muestra analizada.

El empleo de la Cromatografía de Gases acoplado a Espectrometría de Masas como técnica instrumental, es indispensable para complementar la identificación por espectrofotometría de infrarrojo cuando se requiera ya sea por interés clínico o de investigación con fines de procedencia criminal, identificar no solo la presencia de cocaína, sino además conocer la identidad de todos los adulterantes presentes en una determinada muestra.

El método propuesto en el presente trabajo, para la identificación de adulterantes en muestras de cocaína por Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas, puede ser utilizado para identificar no solamente sustancias adulterantes en muestras de cocaína, sino además impurezas de la misma droga.

De igual forma este método con las adecuaciones pertinentes podrá adaptarse para la identificación de sustancias adulterantes de otros estupefacientes y/o psicotrópicos e impurezas de los mismos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- Albert, L. y Saldivar, L. (1996). *La Toxicología en México. Estado Actual y Perspectivas*. Xalapa, Veracruz: Editora Graphos.
- 2.- Bibliotecas de Análisis Infrarrojo: Crime, Fluka, Fibers, Iowa.
- 3.- Biblioteca de Cromatógrafo de Gases acoplado a Espectrofotómetro de Masas: Nistms.
- 4.- Budavari, S., O'Neil, M., Smith, A., Heckelman, P. y Kinneary, J. (1997). *The Merck Index. Twelfth Edition*. New York, USA: Published by Merck Research Laboratories Division of Merck & Co.
- 5.- Burriel, F., Jimeno, S., Lucena, F. y Hernández, J. (1998). *Química Analítica Cuantitativa*. España: Paraninfo.
- 6.- Carbonell, M. (2004). *Ley General de Salud y Disposiciones Complementarias*. México: Editorial Porrúa.

- 7.- Sigma-Aldrich Química S.A. de C.V. (2002-2003). *Catalogo de Reactivos y Productos Químicos (para investigación en ciencias de la vida)*.
- 8.- Chang, R. (2002). *Química*. Colombia: Mc Graw Hill.
- 9.- Córdoba, D. (2000). *Toxicología*. Colombia: El Manual Moderno.
- 10.- Curso de Actualización, impartido por la Academia de Lyon, Francia.
- 11.- Dreisbach, R. y Robertson, W. (1998). *Manual de Toxicología Clínica. Prevención Diagnostico y Tratamiento*. México DF: El Manual Moderno.
- 12.- *Drug Identification Bible*. (2004). Colorado, USA: Amera-Chem, Inc.
- 13.- Flores, J., Armijo, A. y Mediavilla, A. (1998). *Farmacología Humana*. Barcelona, España: Masson.
- 14.- Gisbert, J. A. (2000). *Medicina Legal y Toxicología*. Barcelona, España: Masson.

- 15.- Gómez, L. (1991). *Cártel Historia de la Droga*. Colombia: Grupo Editorial Investigación y Concepto LIDA.
- 16.- Goodman, A., Rall, T., Nies, A. y Taylor, P. (2002). *Goodman y Gilman. Las Bases Farmacológicas de la Terapéutica*. Mexico DF: MC Graw Hill Interamericana.
- 17.- Harris, D. (2001). *Análisis Químico Cuantitativo*. Barcelona, España. Editorial Reverté.
- 18.- Hatsukami, DK., Fischman, MW. (1996). *Crack cocaine and cocaine hydrochloride, Are the differences myth or reality?*. USA: JAMA.
- 19.- Manuales del Instituto de Capacitación de la PGR. (1990). *Identificación de Estupefacientes y psicotrópicos*. México.
- 20.- Poder Judicial de la Federación Suprema Corte de Justicia de la Nación. (2000). *Jurisprudencia y Tesis Aisladas 1917-2000*.
- 21.- Katzung, B. (2001). *Farmacología Básica y Clínica*. México DF: Editorial El Manual Moderno.

- 22.- Lorenzo, P., Laredo, M., Leza, C. y Lizasoain, I. (2003). *Drogodependencias. Farmacología, Patología, Psicología y Legislación*. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana.
- 23.- Martínez, M., Saldivar, S. (2000). *Medicina Legal*. México DF: Méndez Editores.
- 24.- Programa de las Naciones Unidas para la Fiscalización Internacional de Drogas. (1995). *Métodos para el ensayo inmediato de drogas de abuso indebido*. Nueva York.
- 25.- Moffat, C., Jackson, V., Moss, S. and Widdop, B.(1986). *Clarcke's Isolation and Identification of Drugs*. London: The Pharmaceutical Press.
- 26.- Rubinson, K. y Rubinson, J. (2001). *Análisis Instrumental*. Madrid, España: Pearson Prentice Hall.
- 27.- Skoog, D., Holler, F. y Nieman, T. (2001). *Principios de Análisis Instrumental*. España: MC Graw Hill Interamericana.
- 28.- Steven, K. (2006). *Drug Abuse Handbook*. USA: CRC Press.

29.- Uriarte, V. (1997). *Psicofarmacología*. México DF: Editorial Trillas.

30.- Vargas, E. (1999). *Medicina Legal*. México DF: Editorial Trillas.

31.- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión [página en Internet]. México D.F.: Ley General de Salud, Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de febrero de 1984 [última reforma publicada DOF 19 de junio de 2007; citado 16 de agosto de 2007].

Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/doc/142.doc>.

32.- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión [página en Internet]. México D.F.: Código Penal Federal, Nuevo Código Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 14 de agosto de 1931 [última reforma publicada DOF 28 de junio de 2007; citado 12 de julio de 2007].

Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx>

33.- Mind-Surf [página en internet]. Navegar por la mente. Fundada el 02-02-2002.

Disponible en: <http://www.mind-surf.net/drogas/cocaína.htm>