

ANÁLISIS FORENSE DE MUESTRAS DE COCAÍNA PRODUCIDAS EN COLOMBIA: I. PERFIL CROMATOGRÁFICO DE MUESTRAS DE CLORHIDRATO DE COCAÍNA

FORENSIC ANALYSIS OF COCAINE SAMPLES PRODUCED IN COLOMBIA: I. CHROMATOGRAPHIC PROFILING

William F. GARZÓN M. ^{1,2*}, Fabián PARADA A. ² y Néstor M. FLORIÁN R. ^{2,3}

Recibido: Febrero 12 de 2009 Aceptado: Mayo 08 de 2009

RESUMEN

En este estudio, se perfilan cromatográficamente sesenta y cinco (65) muestras decomisadas de clorhidrato de cocaína. Se les determina la pureza y se hace análisis cualitativo de adulterantes, diluyentes y solventes residuales ocluidos. En las muestras se detecta la presencia de tropacocaína, norcocaína, cis-cinnamoilcocaína, trans-cinnamoilcocaína, benzoilecgonina, así como de los adulterantes cafeína, fenacetina, levamisol e hidroxicina. En el análisis cuantitativo se encuentra que la pureza de cocaína más baja fue del 64.58% y la más alta del 95.83%. En cuanto a solventes residuales, se detectan 136 compuestos de esta naturaleza, algunos de los cuales fueron identificados preliminarmente. Los anteriores resultados aportan al conocimiento de la química forense y del potencial toxicológico de muestras de clorhidrato de cocaína producidas e incautadas en Colombia.

Palabras clave: cocaína, perfil, solventes residuales, cromatografía de gases, headspace.

ABSTRACT

In this study sixty-five (65) seized samples of cocaine hydrochloride are chromatographically outlined to determine its purity and making qualitative analysis to detect adulterants and occluded residual reliable extenders in tropacocaine, norcocaine, cis- and trans-cinnamoylcocaine, benzoilecgonine samples; and caffeine, phenacetin, levamisole and hidroxizine. In the quantitative samples analysis lower cocaine purity found is 64.58% and the highest is 95.83%. In relation to the presence of residual compounds, 136 of them are detected. Some are preliminarily identified. This work explores the possibility to use these compounds for the comparison of chromatographic profiles looking forward to establish different links in cocaine samples. The results contribute to the knowledge of forensic chemistry and the toxicology potential of cocaine hydrochloride samples produced and seized in Colombia.

Key words: cocaine, profiling, residual solvents, gas chromatographic, headspace.

1 Laboratorio de Química de la División Criminalística, Fiscalía General de la Nación. Bogotá, Colombia.

2 Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. A.A. 14490. Bogotá, Colombia.

3 Laboratorio del Área Científica, Grupo de Criminalística, Departamento Administrativo de Seguridad-DAS. Bogotá, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: wigarzon@fiscalia.gov.co

INTRODUCCIÓN

El perfil químico de drogas ilícitas incautadas es una herramienta útil y apropiada para detectar vínculos entre diferentes decomisos de droga. Existen diferentes metodologías analíticas para ello, siendo la cromatografía de gases la más empleada a nivel internacional, dado que permite una buena resolución en la separación de impurezas, junto con una adecuada sensibilidad y reproducibilidad. En el perfil se requiere la determinación de la sustancia principal, al igual que de las impurezas, adulterantes y diluyentes, con lo cual es posible observar vínculos, y apoyar la investigación forense (1-5).

Las drogas más estudiadas por cromatografía han sido la heroína y las sustancias anfetaminas, especialmente la 3,4-metilendioxiamentanfetamina (MDMA). En el caso de la heroína se han desarrollado metodologías para su perfilamiento basadas en el perfil cromatográfico de las impurezas alcaloidales que la acompañan; y en el de la MDMA, de las impurezas que se forman en el proceso de obtención, las cuales sirven para identificar el método de síntesis empleado y las sustancias químicas utilizadas como precursores (3, 4, 6-10).

Los métodos para determinar el perfil de la cocaína se basan en la determinación de las impurezas alcaloidales que la acompañan o en el perfil de los solventes residuales ocluidos (2, 5, 11). En la obtención clandestina de clorhidrato de cocaína, el paso final corresponde a una precipitación rápida del alcaloide, lo que ocasiona que pequeñas cantidades de los solventes orgánicos empleados en la cristalización queden atrapados (ocuidos) dentro de la matriz del cristal. Estos solventes residuales pueden ser determinados mediante técnicas cromatográficas con headspace y resultan útiles para el análisis y la investigación forense; también contribuyen a la caracterización química de la droga en la comparación de muestras decomisadas (12-15).

Este trabajo busca ampliar el conocimiento químico-forense sobre las muestras de clorhidrato de cocaína producidas en nuestro país. Una población de muestras fue analizada determinando su pureza en cocaína, la presencia de agentes de corte y de impurezas alcaloidales, así como los solventes residuales ocluidos, con el propósito de que el Estado colombiano desarrolle sus propias bases de datos sobre perfiles de cocaína, que le permitan unir casos criminales, fortalecer la investigación judicial, obtener información científica para definir una

política criminal, así como contar con información confiable que pueda ser compartida con otros Estados dentro de los compromisos de cooperación multilateral.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras de clorhidrato de cocaína

Se definió un grupo conformado por sesenta y cinco muestras de clorhidrato de cocaína, provenientes de diferentes regiones del país, suministradas por los Laboratorios de la Fiscalía General de la Nación. Cada una provenía de un decomiso de bloques de 1.0 kg de peso aproximado (tamaño promedio 20 x 15 x 3 cm). Normalmente esta presentación es empleada para abastecer el mercado internacional. Las muestras se codificaron aleatoriamente, identificándolas de la 101 a la 165.

Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-EM)

Preparación de muestras: la determinación cualitativa de las impurezas alcaloidales y diluyentes, se obtuvo preparando soluciones de 10 mg de muestra en 2 mL de etanol, cada una de las cuales se analizó en modo splitless, apagando el detector entre 9.78 y 9.85 min, tiempo de elución de la cocaína.

Análisis por CG-EM: para el análisis se utilizó un cromatógrafo de gases Agilent HP 6890 acoplado a un detector selectivo de masas HP 5973 con automuestreador. El detector selectivo de masas se operó en el modo de ionización electrónica, con un potencial de ionización de 70 eV. Se empleó helio como gas de arrastre, con una columna ZB-1 (30 m x 0.25 mm x 1.0 μ m). Programa de temperatura del horno: 200°C durante 0.5 min, calentamiento a 20°C/min hasta 230°C manteniendo por 5 min y calentamiento a 30°C/min hasta 310°C, durante 6 min. Modo de inyección: split (20:1) y splitless. Volumen de inyección: 1 μ L. Temperatura del puerto de inyección: 260°C. Temperatura fuente de iones: 230°C. Temperatura cuadrupolo: 150°C. Temperatura interfase: 280°C. Rango de masas: 20-400.

Cromatografía de gases con detector de ionización de llama (CG-FID)

Preparación de muestras: para cuantificar se empleó la curva de calibración en el rango de 100 a 700 ppm de cocaína, con la adición de tetracosano, como estándar interno, a una concentración

de 400 ppm (16). Dicho método fue previamente validado de acuerdo al trabajo desarrollado por la Fiscalía General de la Nación, el Departamento Administrativo de Seguridad, el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses y la Policía Nacional, dentro del Proyecto ADCOL95/C58 de las Naciones Unidas y el Estado colombiano (17).

Análisis por CG-FID: la cuantificación de la cocaína se logró con un cromatógrafo de gases, marca Varian, Modelo 4400, con detector de ionización de llama y automuestreador; se empleó nitrógeno como gas de arrastre a un flujo de 2 mL/min y una columna ZB-1 (30 m x 0.25 mm x 1.0 μ m). Temperatura del inyector: 280°C. Temperatura del detector: 280°C. Modo de inyección split 20:1. Volumen de inyección: 1 μ L. Programa de temperatura del horno: temperatura inicial 250°C por 1 min, calentamiento a 20°C/min hasta 290°C, manteniendo por 5 min y calentamiento a 5°C/min hasta 310°C, manteniendo por 2 min. Cada muestra fue sometida al anterior análisis por triplicado.

Headspace-Cromatografía de gases con detector de ionización de llama (HS-CG-FID)

Preparación de las muestras: en un vial para headspace se pesó el equivalente a 30 mg de cocaína pura. Se añadieron 10 mL de solución acuosa de sulfato de sodio al 22%, se selló el tubo, se agitó y analizó por CG-FID el efluente del espacio de cabeza. Los análisis se realizaron por triplicado. Este método está basado en el trabajo desarrollado por Morello y Meyers (15).

Análisis por HS-CG-FID: se llevó a cabo en un cromatógrafo de gases VARIAN CP-8200 con automuestreador Combi pal (módulo headspace), con detector de ionización de llama, columna AT-1 (60 m x 0.25 mm x 1.0 μ m). Gas de arrastre: helio UAP. Temperatura del inyector: 200°C. Temperatura del detector: 200°C. Modo de inyección split 5:1. Volumen de inyección 1 mL. Programa de temperatura del horno: temperatura inicial 35°C por 12 min, calentamiento a 7°C/min hasta 130 °C y calentamiento a 30°C/min hasta 200°C, durante 5 min. Condiciones del headspace: Temperatura del horno 80°C, temperatura de la jeringa 100°C, tiempo de incubación 30 min, velocidad de llenado 100 μ L/s.

Mediante HS-CG-FID se analizaron los siguientes estándares de solventes, que se emplean en Colombia para el procesamiento del clorhidrato de cocaína: metanol, etanol, 1-propanol, isopropanol (IPA), 1-butanol, isobutanol, 2-butanol, 1-pentanol, 3-metil-1-butanol, 2-metil-1-butanol, diacetona alcohol, acetona, metiletilcetona (MEK), metil isobutil cetona (MIBK), acetato de metilo, acetato de etilo, acetato de n-propilo, acetato de isopropilo, acetato n-butilo, acetato isobutilo, acetato n-amilo, éter etílico, éter isopropílico, n-hexano, n-heptano, ciclohexano, benceno, tolueno, xileno, tetracloruro de carbono, cloroformo, diclorometano, 1,2-dicloroetano, así como productos comerciales conformados por fracciones de hidrocarburos de alto peso molecular tales como aceite combustible para motor (ACPM o diesel), gasolina y queroseno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis cualitativo de cocaína, impurezas alcaloidales y determinación de agentes de corte mediante análisis por CG-EM

Al inyectar la totalidad de las soluciones diluidas de cada una de las muestras, en modo Split, se detectó la presencia de cocaína en ellas. El respectivo análisis de las soluciones concentradas, en modo splitless, permitió determinar la presencia de impurezas alcaloidales tales como cis y trans cinnamoilcocaína, norcocaína, benzoilecgonina, tropacocaína, y de fenacetina, cafeína, levamisol e hidroxicina como agentes de corte o adulterantes.

En la tabla 1 se presentan los analitos detectados en cada muestra y el porcentaje de muestras en las que aparece cada uno de ellos, así como el porcentaje de pureza de cocaína. La identificación de los analitos se hizo teniendo en cuenta el criterio cromatográfico (tiempo de retención) y el criterio espectral (comparación de los espectros de masas con la biblioteca NIST).

Respecto a los alcaloides, los más comunes en las muestras fueron norcocaína (presente en el 93.85% de las muestras), tropacocaína (92.31%) y benzoilecgonina (92.31%), seguidos de cis y trans cinnamoilcocaína (69.23 y 67.69%, respectivamente). Los adulterantes más frecuentes fueron cafeína (30.77%) e hidroxicina (24.62%); y los menos frecuentes, levamisol (7.69%) y fenacetina (3.08%).

Tabla 1. Analitos detectados en las muestras de cocaína.

	Fenacetina (4,20 min)	Cafeína (5,81 min)	Tropacocaína (7,97 min)	Levamisol (7,99 min)	Norcocaína (9,61 min)	Cocaína (9,78 min)	cis cinnamoil- cocaína (10,91 min)	Trans cinnamoil- cocaína (11,88 min)	Benzoilec- gonina (12,19 min)	Hidroxicina (15,53 min)	% Pureza de cocaína
101	N.D.	SI	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	87,21
102	N.D.	SI	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	76,89
103	N.D.	SI	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	88,59
104	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	82,94
105	N.D.	SI	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	76,41
106	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	84,68
107	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	74,94
108	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	91,62
109	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	92,96
110	N.D.	SI	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	77,40
111	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	79,47
112	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	88,99
113	N.D.	SI	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	91,62
114	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	92,16
115	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	80,91
116	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	71,35
117	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	87,96
118	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	95,83
119	N.D.	SI	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	73,93
120	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	81,36
121	N.D.	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	N.D.	N.D.	84,59
122	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	85,71
123	N.D.	SI	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	76,57
124	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	86,80
125	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	87,16
126	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	88,84
127	N.D.	SI	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	77,69
128	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	87,83
129	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	83,97
130	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	N.D.	N.D.	70,36
131	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	N.D.	N.D.	93,55
132	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	88,91
133	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	90,48
134	N.D.	SI	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	81,67
135	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	75,75
136	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	91,05
137	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	87,25
138	SI	SI	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	78,94
139	N.D.	SI	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	89,72
140	SI	SI	SI	N.D.	SI	SI	SI	N.D.	SI	N.D.	63,82
141	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	88,62
142	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	SI	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	76,09
143	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	91,52
144	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	75,39
145	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	SI	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	84,51
146	N.D.	SI	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	73,76
147	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	76,39
148	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	90,73
149	N.D.	SI	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	88,06
150	N.D.	SI	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	76,99
151	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	89,28
152	N.D.	SI	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	76,77
153	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	64,58
154	N.D.	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	N.D.	N.D.	86,81
155	N.D.	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	N.D.	N.D.	87,06
156	N.D.	SI	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	80,00
157	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	79,38
158	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	90,01
159	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	91,96
160	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	84,05
161	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	83,26
162	N.D.	N.D.	N.D.	SI	SI	SI	N.D.	N.D.	SI	N.D.	78,51
163	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	87,14
164	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	88,76
165	N.D.	N.D.	SI	N.D.	SI	SI	SI	SI	SI	N.D.	89,88
% Aparición	3,08	30,77	92,31	7,69	93,85	100,00	69,23	67,69	92,31	24,62	

N.D.: No detectado

SI: Detectado

La tropacocaína, la cis cinnamoilcocaína y la trans cinnamoilcocaína son alcaloides nativos de la hoja de coca; la norcocaína se forma por oxidación de la cocaína en el paso de reacción con permanganato de potasio, mientras que la benzoilecgonina puede tener dos fuentes: como alcaloide nativo de la hoja de coca o por hidrólisis de la cocaína (5,11). Dichos alcaloides pueden servir como variables para el estudio de perfilamiento, para ello es necesario la derivatización química, dado el bajo nivel de concentración en el que se encuentran. En cuanto a los adulterantes detectados, todos ellos han sido reportados como sustancias de corte en la cocaína. Si bien se encuentran en niveles muy bajos, su presencia indica que en los laboratorios clandestinos se están usando como agentes de corte. Este tipo de sustancias normalmente son adicionadas a la cocaína al momento de su comercialización, con el fin de aumentar su volumen y potenciar algunos efectos estimulantes.

Se encontraron, alcaloides tales como tropacocaína, norcocaína, cis y trans cinnamoilcocaína, que pueden servir como variables para perfilar, pero para ello es necesaria la derivatización química, dado el bajo nivel en el que se encuentran.

Cuantificación de cocaína mediante análisis por CG-FID

Para la cuantificación de cocaína en las muestras, se empleó una curva de calibración que relacionaba las áreas de las señales cromatográficas de la cocaína ($A_{\text{cocaína}}$) y del estándar interno ($A_{\text{C}_{24}}$), y que permitió calcular la concentración de cocaína (C). A continuación se presenta la correspondiente ecuación, coeficiente de correlación fue 0.9976.

$$A_{\text{cocaína}} / A_{\text{C}_{24}} = 0.00137 C - 0.0547$$

Al determinar la pureza de cocaína en las muestras, se observó un rango muy amplio (desde 63.82% hasta 95.83%) (Véase tabla 1). En la figura 1 se aprecia que el 52% de las muestras analizadas presentaron una pureza entre 81 y 90% (34 muestras); el 32% una pureza entre 71 y 80% (21 muestras); el 11% una pureza superior al 90% (7 muestras); y el 5% una pureza inferior al 70% (3 muestras).

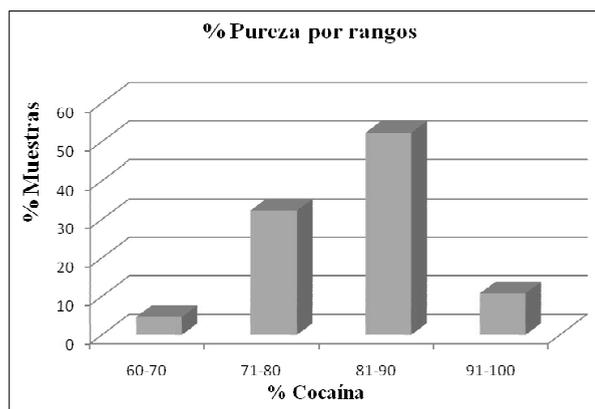


Figura 1. Distribución de la pureza por rangos.

Históricamente se ha considerado que el clorhidrato de cocaína producido en Colombia supera el 90% de pureza; sin embargo, los datos de este estudio indican que en nueve de cada diez casos es inferior al 90%, lo que sumado a la detección de diluyentes a nivel de trazas, indica que la dinámica de este mercado está cambiando y que la pureza promedio del clorhidrato va decreciendo, por varias causas, entre ellas la interdicción, que ha llevado a las organizaciones delictivas a utilizar materias primas de baja calidad, y, en el caso de los solventes, se han visto en la necesidad de reciclarlos o de emplear los de baja calidad, como ACPM, gasolina y queroseno.

Determinación de solventes residuales mediante HS-CG-FID

Al someter cada muestra, por triplicado, al análisis de solventes residuales, se encontró que en las 65 muestras en total había 136 señales cromatográficas. Teniendo en cuenta que la reproducibilidad de los resultados obtenidos es fundamental para su confiabilidad, en este trabajo se realizó una comparación intralaboratorio. Las primeras réplicas fueron realizadas tres meses después de los análisis iniciales, y las segundas réplicas, 15 días después de las anteriores. Al superponer los tres cromatogramas obtenidos de cada muestra se pudo observar cómo, desde el tiempo cero de inyección hasta 27 min, la superposición fue perfecta, lo que indica una muy buena reproducibilidad en los resultados, en dicho intervalo. La figura 2 presenta un ejemplo de esta superposición de cromatogramas, donde se observa la buena reproducibilidad hasta antes de los 27 min de análisis en las réplicas.

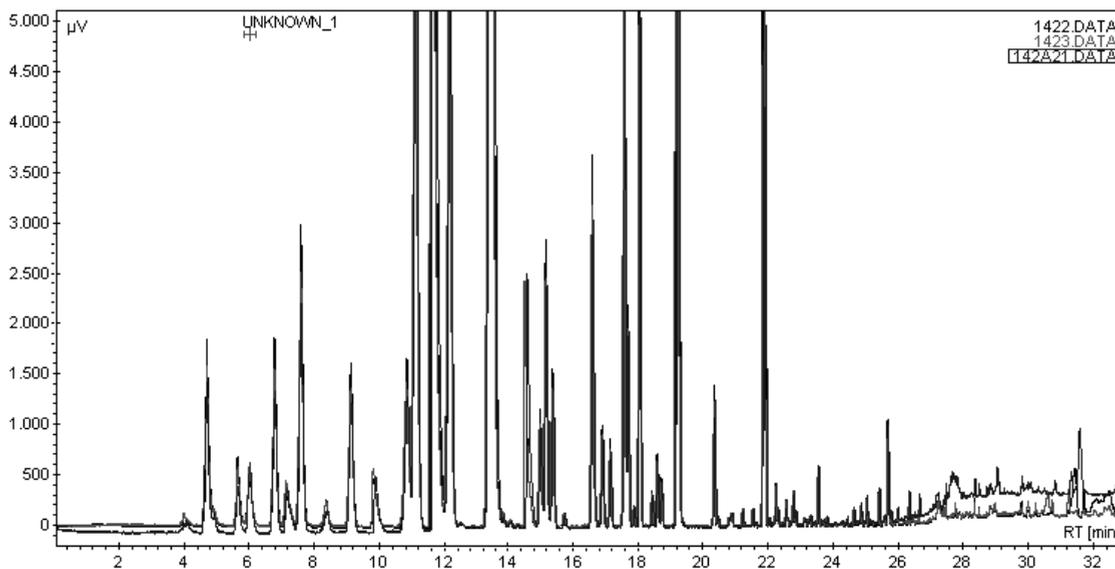


Figura 2. Triplicados de la muestra 142.

En todos los casos se observó que en el rango de 27 a 33 minutos se presentó una alta variabilidad en los perfiles cromatográficos posiblemente debida a dos factores: el primero de ellos es el aumento de la línea base, por el sangrado de la columna, esto se confirmó al inyectar los blancos. La segunda causa es la presencia de residuos de productos empleados en procesos primarios de obtención de la cocaína base (p.e. ACPM, gasolina y queroseno), lo cual se evidenció al comparar los perfiles cromatográficos de algunas muestras con los de estos productos. En la figura 3 aparece el perfil de la muestra 140, en el que se observa una gran cantidad de señales

en la región de 0 a 27 minutos. Al comparar dicha región con la correspondiente para el ACPM se apreció cierta similitud entre éstas (Véase figura 4). Así mismo, en algunas muestras se encontraron residuos de otros productos comerciales utilizados en fases iniciales del procesamiento del alcaloide (p.ej. gasolina y queroseno).

Es de anotar que no existen reportes en la literatura sobre dicho uso para este tipo de disolventes. Los reportes de solventes residuales en cocaína mencionan solo disolventes puros y no este tipo de mezclas de hidrocarburos (13, 15, 18).

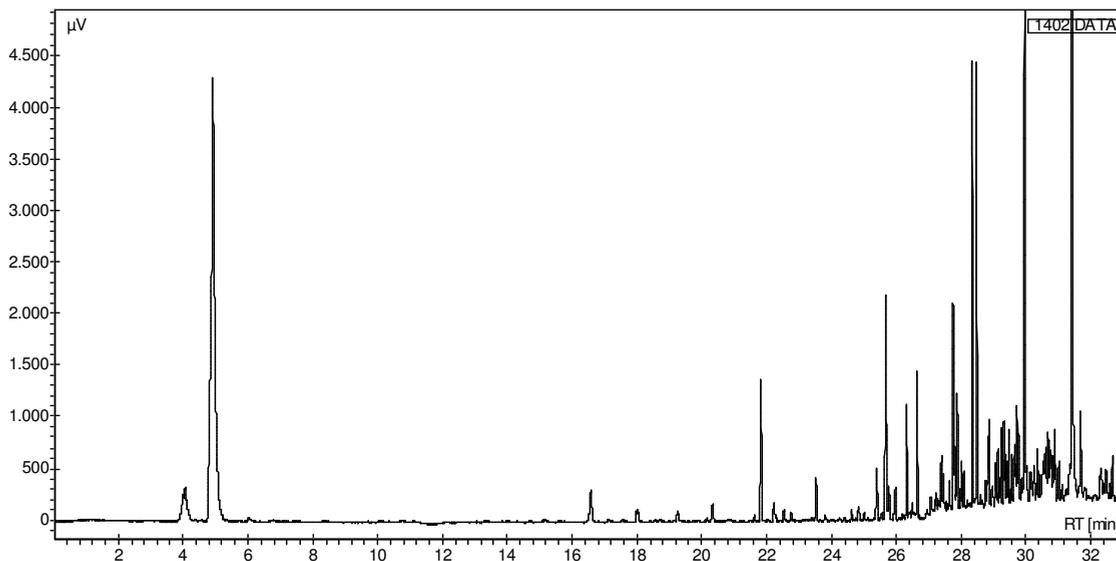


Figura 3. Perfil cromatográfico de la muestra 140.

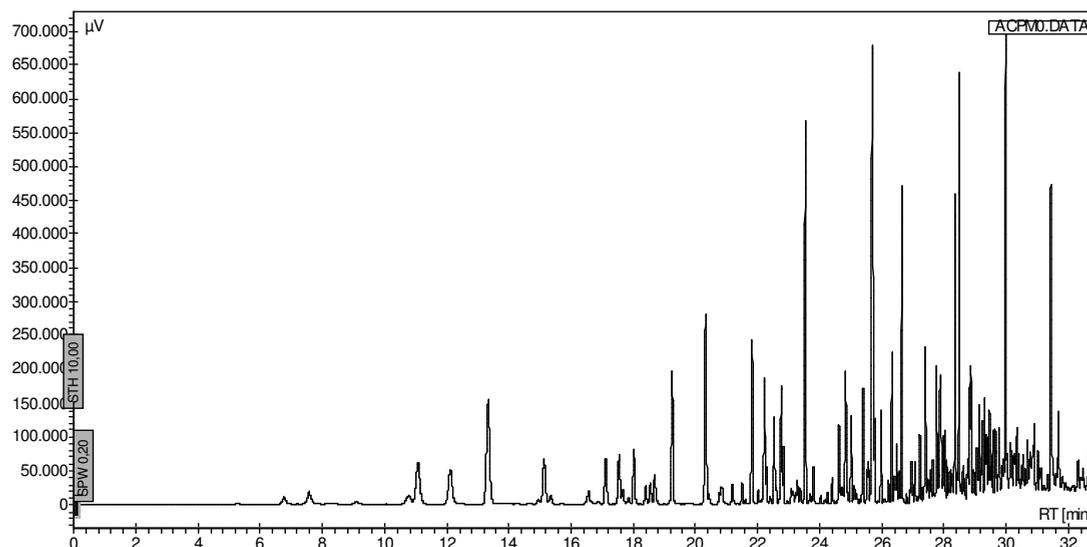


Figura 4. Perfil cromatográfico del ACPM.

Para seleccionar las señales cromatográficas más estables y más comunes a partir de la totalidad de las detectadas en el conjunto de muestras en estudio, se tuvieron en cuenta las presentes en la región de 0 a 27 minutos y se eliminaron aquellas con baja frecuencia de aparición en la población (menor de 5%). Así, 73 señales cromatográficas fueron las más estables y más comunes de las 136 presentes.

La tabla 2 presenta los resultados de estos análisis para los 73 compuestos, algunos de los cuales fueron identificados preliminarmente. De las señales identificadas preliminarmente se observa que el metanol y el etanol no presentan una buena resolución cromatográfica con respecto a los picos adyacentes; además, para el dicloroetano la resolución está cercana a 1.5, y para los demás solventes es mayor a 1.5 (Véase tabla 2).

Dado lo anterior, y empleando paquetes estadísticos idóneos, el perfil de componentes volátiles ocluidos en muestras incautadas de clorhidrato de cocaína, puede ser empleado en el proceso de discriminación de este tipo de muestras. Con ello se aporta a la química forense en el país y se consolida información útil desde el punto de vista judicial (p.ej. en la eventualidad de definir responsabilidad penal en cargamentos incautados de droga) (19).

Por otra parte, es sumamente importante explorar las implicaciones toxicológicas de los solventes detectados a nivel de trazas y los efectos nocivos sobre la salud, lo cual en materia de drogas de abuso no ha sido investigado.

CONCLUSIONES

Con el análisis cualitativo por CG-EM se logró el reconocimiento de los alcaloides tropacocaína, norcocaína, cis-cinnamoilcocaína, trans-cinnamoilcocaína, benzoilecgonina, así como de los adulterantes cafeína, fenacetina, levamisol e hidroxicina, todos ellos a nivel de trazas.

En el análisis cuantitativo de las muestras se encontró que la pureza de cocaína más baja fue del 63.82% y la más alta del 95.83%. El 84% de las muestras tenían una pureza en el rango de 71 a 90%, y tan solo el 11% de éstas presentaron una pureza superior al 90%.

Mediante análisis por HS-CG-FID, se logró la determinación de solventes residuales ocluidos en las muestras incautadas de clorhidrato de cocaína, teniendo como población de estudio 65 de ellas. Se estableció la presencia de 136 picos cromatográficos diferentes, algunos de ellos con muy baja frecuencia de aparición en la población estudiada.

Se evidenció el uso de productos comerciales como ACPM, gasolina y queroseno en el proceso de obtención del clorhidrato de cocaína.

Mediante el uso de estándares se logró la identificación preliminar de los siguientes solventes en la población: metanol, etanol, acetona, isopropanol, éter etílico, 1-propanol, metil-etil-cetona, 2-butanol, isobutanol, dicloroetano, tetracloruro de carbono, ciclohexano, metil-isobutil-cetona, n-pentanol, tolueno, acetato de isobutilo, acetato de n-butilo,

Tabla 2. Parámetros cromatográficos para los compuestos presentes en las muestras

No.	tr prom (min)	W prom (min)	R	Nef	H(cm)	Identificación	Índice de Retención
1	4,00	0,17	0,46	8773,78	0,68		
2	4,09	0,24	3,04	4523,25	1,33		
3	4,70	0,16	1,31	13983,49	0,43	Metanol	
4	4,93	0,19	2,09	11159,77	0,54		
5	5,29	0,16	2,31	18612,15	0,32		
6	5,66	0,17	1,18	18449,72	0,33		
7	5,84	0,15	1,07	25511,44	0,24	Etanol	
8	6,03	0,20	3,88	14209,65	0,42		
9	6,79	0,19	1,77	20379,38	0,29	Acetona	
10	7,14	0,20	2,35	19455,51	0,31	Isopropanol	
11	7,60	0,19	3,44	25675,66	0,23	Eter etílico	
12	8,32	0,23	3,71	21115,97	0,28		515
13	9,15	0,21	3,23	29032,27	0,21		532
14	9,83	0,21	4,39	34843,81	0,17	1-Propanol	545
15	10,85	0,25	1,47	29935,94	0,20		562
16	11,12	0,13	3,48	120773,45	0,05		567
17	11,70	0,20	2,27	53142,03	0,11	MEK	576
18	12,17	0,21	1,74	53477,18	0,11		579
19	12,52	0,19	4,66	67107,80	0,09	2-Butanol	585
20	13,41	0,19	2,60	81913,35	0,07	Hexano - Eter isopirílico - Cloroformo	601
21	13,85	0,15	1,56	134316,48	0,04	Acetato etilo	608
22	14,10	0,17	3,16	111044,45	0,05		612
23	14,60	0,15	2,71	159139,40	0,04	Isobutanol	621
24	15,00	0,15	1,21	161386,16	0,04		628
25	15,18	0,15	1,46	174148,87	0,03	Dicloroetano	631
26	15,38	0,14	2,42	198843,80	0,03		634
27	15,73	0,15	6,44	180755,92	0,03		640
28	16,62	0,13	2,23	273965,12	0,02	Acetato isopropilo - Benceno	655
29	16,90	0,13	2,07	281112,81	0,02	Tetracloruro carbono	660
30	17,16	0,12	3,72	329455,67	0,02	Ciclohexano	664
31	17,58	0,11	1,06	415065,39	0,01		671
32	17,69	0,11	1,84	444396,59	0,01		673
33	17,89	0,11	1,55	450094,91	0,01		677
34	18,05	0,10	3,80	476944,13	0,01		679
35	18,44	0,10	1,45	563450,22	0,01		686
36	18,58	0,10	1,31	536675,29	0,01		688
37	18,72	0,11	4,93	484047,75	0,01		691
38	19,20	0,09	12,98	790549,52	0,01	Acetato n-propilo - Heptano - Butanol	699
39	20,36	0,09	4,09	786433,96	0,01	MIBK	725
40	20,89	0,17	2,33	241633,44	0,02		738
41	21,21	0,11	3,34	635358,44	0,01		746
42	21,55	0,09	1,65	866541,51	0,01		753
43	21,68	0,08	2,53	1294045,67	0,00	Pentanol	757
44	21,87	0,07	2,40	1393438,13	0,00	Tolueno	761
45	22,06	0,08	2,48	1172370,81	0,01	Acetato isobutilo	765
46	22,25	0,07	2,46	1479881,31	0,00		770
47	22,44	0,08	1,70	1222973,39	0,00		774
48	22,57	0,07	2,75	1637513,19	0,00		777
49	22,78	0,08	2,23	1248925,73	0,00		782
50	22,98	0,09	1,93	963370,84	0,01		787
51	23,16	0,10	1,50	907055,08	0,01		791
52	23,29	0,07	1,98	1625868,90	0,00		794
53	23,43	0,07	1,73	1918950,35	0,00	Acetato n-butilo	797
54	23,55	0,07	2,00	1622419,96	0,00		800
55	23,69	0,07	2,05	1796307,69	0,00		805
56	23,84	0,07	2,00	1723861,35	0,00		810
57	24,02	0,11	2,12	817669,84	0,01		815
58	24,25	0,11	2,02	803712,25	0,01	Diacetona alcohol	823
59	24,44	0,08	2,53	1527254,04	0,00		829
60	24,63	0,07	2,81	1821094,79	0,00		835
61	24,85	0,08	2,29	1380603,01	0,00		842
62	25,03	0,07	1,70	1910455,75	0,00		848
63	25,17	0,09	3,13	1136452,47	0,01		852
64	25,42	0,06	2,17	2480487,71	0,00		860
65	25,59	0,09	1,28	1283720,85	0,00		866
66	25,69	0,06	4,18	2662686,07	0,00	Xileno	869
67	25,97	0,07	2,47	2006584,76	0,00		878
68	26,20	0,11	1,78	917437,82	0,01		885
69	26,34	0,05	2,36	4412918,15	0,00		890
70	26,48	0,07	2,81	2175324,70	0,00		895
71	26,65	0,05	2,78	4906359,24	0,00		900
72	26,79	0,05	1,64	3843302,04	0,00		908
73	26,95	0,14		612629,11	0,01		916

tr (prom): tiempo de retención promedio; W(prom): ancho de pico; R: resolución;
Nef: número efectivo de platos teóricos; H: altura de plato.

diacetona alcohol, xileno y acetato de n-amilo. Lo anterior alerta aun más sobre el grado de toxicidad al que se ven expuestos los consumidores habituales de cocaína, dada la presencia en ella de residuos de sustancias altamente nocivas (p.e. metanol altamente tóxico, compuestos organoclorados y aromáticos que suelen ser cancerígenos).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio contó con la colaboración del Laboratorio de Estudios Farmacológicos del Departamento de Farmacia de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Klemenc S. In common batch searching of illicit heroin samples – evaluation of data by chemometrics methods. *Forensic Sci Int.* 2001;115 (1): 43-52.
- Lociciro S, Esseiva P, Hayoz P, Dujourdy L, Besacier F, Margot P. Cocaine profiling for strategic intelligence, a cross-border project between France and Switzerland. Part II. Validation of the statistical methodology for the profiling of cocaine. *Forensic Sci Int.* 2008; 177 (2): 199-206.
- Esseiva P, Dujourdy L, Anglada F, Taroni F, Margot P. A methodology for illicit heroin seizures comparison in a drug intelligence perspective using large databases. *Forensic Sci Int.* 2003;132 (2):139-152.
- Esseiva P, Anglada F, Dujourdy L, Taroni F, Margot P, Pasquier ED, *et al.* Chemical profiling and classification of illicit heroin by principal component analysis, calculation of inter simple correlation and artificial neural networks. *Talanta.* 2005; 67 (2): 360-367.
- Chiarotti M, Fucci N. Comparative analysis of heroin and cocaine seizures. *J Chromatogr B.* 1999; 733 (1-2): 127-136.
- Besacier F, Chaudron H, Rousseau M, Girard J, Lamotte A. Comparative chemical analyses of drug samples: general approach and application to heroin. *Forensic Sci Int.* 1997; 85 (2): 113-125.
- Dujourdy L, Barbati G, Taroni F, Guéniat O, Esseiva P, Anglada F, *et al.* Evaluation of links in heroin seizures. *Forensic Sci Int.* 2003; 131 (3):171-183.
- Gimeno P, Besacier F, Chaudron-Thozet H, Girard J, Lamotte A. A contribution to the chemical profiling of 3,4-methylenedioxymethamphetamine (MDMA) tablets. *Forensic Sci Int.* 2002; 127 (1): 1-44.
- Andersson K, Jalava K, Lock E, Finnon Y, Huizer H, Kaa E, *et al.* Development of a harmonised method for the profiling of amphetamines III. Development of the gas chromatographic method. *Forensic Sci Int.* 2007; 169 (1): 50-63.
- Strömberg L, Lundberg L, Neumann H, Bobon B, Huizer H, Van der Stelt N. Heroin impurity profiling. A harmonization study for retrospective comparisons. *Forensic Sci Int.* 2000; 114 (2): 67-88.
- Lociciro S, Hayoz P, Esseiva P, Dujourdy L, Besacier F, Margot P. Cocaine profiling for strategic intelligence purposes, a cross-border project between France and Switzerland. Part I. Optimization and harmonization of profiling method. *Forensic Sci Int.* 2007; 167 (2-3): 220-228.
- Morello D, Casale JF, Stevenson M, Klein R. The effects of microwave irradiation on occluded solvents in illicitly produced cocaine hydrochloride. *J Forensic Sci.* 2000; 45 (5): 1126-1132.
- Chiarotti M, Marsili R, Moreda A. Gas chromatographic-mass spectrometric analysis of residual solvent trapped into illicit cocaine exhibits using head-space solid-phase microextraction. *J Chromatogr B.* 2002; 772 (2): 249- 256.
- Casale JF, Klein R. Illicit production of cocaine. *Forensic Science Review.* 1993; 5: 95-107.
- Morello D, Meyers R. Qualitative and quantitative determination of residual solvents in illicit cocaine HCl and heroin HCl. *J Forensic Sci.* 1995; 40 (6): 957-963.
- Ríos G. Validación de un método por cromatografía de gases – masas para la cuantificación de estupefacientes en muestras de droga incautada. [Trabajo de grado] Universidad Nacional de Colombia. Bogotá; 2004.
- Proyecto ADCOL98/C58, Convenio UNODC – Estado Colombiano. Validación Prueba Pericial Homologada. Buga, Valle; 2001.
- Dujourdy L, Besacier F. Headspace profiling of cocaine samples for intelligence purposes. *Forensic Sci Int.* 2008;179 (2-3): 111-122.
- Castro HI, Garzón WF, Florián NM, McLean H, Mendoza H, Parada F. La aplicación del análisis estadístico multivariado en la comparación de perfiles cromatográficos. XII Congreso Latinoamericano de Cromatografía (COLACRO XII); 2001, Florianópolis-Brasil.