

AMPLIACIÓN DE LAS POSIBILIDADES DEL *IONSCAN* PARA LA DETERMINACIÓN DE COCAÍNA.

MCs. Reinaldo Villar Mendoza, Dr. C. Hugo Guerra Menéndez, MCs. Elvira Galí Navarro, MCs. Yairín Banderas García, Téc. Aimara Álvarez Santana.

Centro de Investigación y Desarrollo Técnico, La Habana, Cuba. E. mail: cidt@mn.mn.co.cu

RESUMEN

La Cocaína o éster metílico de la benzoilecgonina es el principal alcaloide que se obtiene por procedimientos químicos de las hojas de la planta *Erythroxylum coca*. Aunque generalizado el uso de las hojas de coca en algunos países de la región andina como estimulante, hoy en día la cocaína está asociada casi exclusivamente por su uso como droga de abuso y con el tráfico ilegal asociado a su consumo, de ahí la importancia y desarrollo de diversas técnicas para su detección. En el marco de este contexto se emplea la novedosa técnica de Espectrometría de Movilidad Iónica directamente como detector, con la utilización del equipo *IONSCAN 400 B* para la detección de las personas que tienen la droga o que han manipulado esta. Los resultados que ofrece el equipo, confirman la presencia de la droga de forma categórica, pero de acuerdo a los parámetros que da el mismo, sólo se puede hacer una valoración semi-cuantitativa de la cantidad de droga que se le detecta al pasajero. Con el desarrollo de este proyecto, utilizando curvas de calibración para la cuantificación y métodos estadísticos de análisis de regresión simple, se puede determinar la cantidad de cocaína que se detecta en las manos de las personas y realizar un estimado del tiempo transcurrido desde que la misma estuvo en contacto por última vez con la droga, datos estos de interés operativo. Además se comparan los resultados obtenidos con el equipo, con los obtenidos por perros detectores de drogas y se obtienen resultados interesantes.

Palabras clave: Cocaína, *IONSCAN*, espectrometría, perros.

INTRODUCCIÓN

Las drogas son “todas aquellas sustancias naturales o sintéticas que introducidas en el organismo modifican, alteran, o reparan una de las funciones normales del organismo vivo”.⁽¹⁾

Teniendo en cuenta que hoy en día la cocaína está asociada casi exclusivamente por su uso como droga de abuso y con el tráfico ilegal relacionado a su consumo, y considerando que nuestro país no está exento de este flagelo que azota a la humanidad; se destinan los recursos necesarios para reducir a la mínima expresión y de ser posible eliminar, las secuelas de este flagelo.

Una de las vías de entrada de drogas en Cuba, es a través de la frontera por los aeropuertos y puertos; donde existe un organismo del estado cubano encargado de controlar y verificar a todo el personal tanto nacional como extranjero que entra y/o sale del país, así como su equipaje, y también todo tipo de carga que se mueva por esas vías.

Para detectar los posibles intentos por parte de viajeros de introducir drogas en nuestro país, se cuenta con el personal especializado y los medios técnicos, lo que unido a la información operativa y los indicios obtenidos, hacen posible una alta efectividad en esta actividad de enfrentamiento.

Internacionalmente está ampliamente difundido el empleo de perros especializados en la detección de drogas para su empleo en los lugares antes mencionados y nuestro país no es una excepción, significando que la mayoría de la literatura especializada plantea que con el empleo de los perros se obtienen resultados superiores a los de cualquier medio técnico.

Para tal propósito se ha adquirido, instalado y puesto en funcionamiento en los aeropuertos la tecnología *IONSCAN* ofertada por la firma *Smiths Detection*. Esta emplea la novedosa técnica de la Espectrometría de Movilidad Iónica (*EMI*) como detector, y los equipos *IONSCAN* en sus diferentes modelos, son ampliamente utilizados en los aeropuertos del mundo para la detección de trazas de drogas y explosivos con muy buenos resultados. Se debe significar que esta técnica de *EMI* también se emplea con buenos resultados como un

tipo de detector para la Cromatografía Gaseosa (CG) en la química analítica, con la particularidad de que permite incluso la introducción directa de la muestra sin previa preparación. ⁽²⁻⁷⁾

En la actualidad, de acuerdo a los parámetros que ofrece el *IONSCAN* en las determinaciones, sólo se puede realizar una valoración semi-cuantitativa de la cantidad de droga que se le detecta al pasajero, o sea, el problema consiste en que se desconoce la cantidad de cocaína que se le detecta a las personas y el tiempo transcurrido desde que una persona estuvo en contacto por última vez con la droga.

En la literatura especializada se reportan diferentes procedimientos analíticos y métodos instrumentales para la determinación de trazas de cocaína. Dentro de ellos las más empleadas son las técnicas cromatográficas, tales como la Líquida de Alta Resolución (*CLAR*) y la *CG*, acopladas con diferentes tipos de detectores, entre los que se emplea la novedosa técnica *EMI*; incluso directamente como detector, con la utilización de los equipos *IONSCAN*.

Dada la necesidad de disponer de un proceso estandarizado y confiable se plantea como hipótesis que el empleo de la técnica de espectrometría de movilidad iónica, curvas de calibración para la cuantificación y métodos estadísticos; permitirá determinar la cantidad de cocaína que se detecta en las personas y el tiempo desde el último contacto con la droga.

Por lo que se establece como objetivo general:

Establecer la cantidad de cocaína en el cuerpo de sujetos sospechosos en el tiempo.

Como objetivos específicos los siguientes:

1. Elaborar los patrones de diferente concentración de cocaína para la confección de la curva de calibración.
2. Desarrollar los procedimientos para la maculación y toma de muestras de los sujetos experimentales.

3. Comparar los resultados obtenidos con el equipo IONSCAN y con perros especializados en la detección de drogas.

La novedad del tema consiste en el desarrollo, por primera vez en el país, de un método basado en la técnica de Espectrometría de Movilidad Iónica con el equipo *IONSCAN* para la determinación de la cantidad real de cocaína que se le detecta a las personas y el tiempo transcurrido desde que una persona estuvo en contacto por última vez con la droga, así como, la comparación de los resultados obtenidos con la técnica canina; que no han sido referidos en la literatura consultada; lo cual es de utilidad para la actividad de enfrentamiento en la frontera y por la ampliación del conocimiento de las posibilidades de aplicación de dos medios técnicos en la detección de cocaína.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales de trabajo.

- Cocaína clorhidrato al 80 % de pureza. ^(39, 46)
- Metanol *Panreac*, grado HPLC.

Caracterización del paño de muestreo.

Los paños de muestreo empleados en el *IONSCAN* lo constituyen un fragmento de tela blanca fina, con superficie lisa, de dimensiones 7 x 5 cm.

El paño fue sometido a determinación del espectro infrarrojo (Espectrofotómetro FTIR, Vector 22, *Brüker*, Alemania) en pastilla de bromuro de potasio.

Preparación de las disoluciones estándar.

Se prepararon disoluciones estándar para la confección de las curvas de calibración a partir de la cocaína clorhidrato al 80 %, en el rango de concentraciones de 0.2, 1, 2, 8, 16, 24, 32 y 40 µg/mL; empleando siempre metanol como disolvente.

Las cantidades de cocaína que se aplicaron en los paños de muestreo, mediante el empleo de pipetas, para la confección de la curva de calibración a partir de las soluciones estándar fueron de 0.01, 0.025, 0.05, 0.1, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 y 2 µg.

Materiales empleados:

- Metanol, *Panreac*, grado HPLC.
- Volumétricos de 100 mL para las disoluciones de partida.
- Volumétricos de 50 mL para las disoluciones estándar.
- Volumétricos de 25 mL para las disoluciones estándar.
- Pipeta graduada de 10 mL para las alícuotas de los estándares.
- Pipeta graduada de 1 mL para las alícuotas de los estándares.
- Pipeta graduada de 0.1 mL para aplicar los estándar en el paño.
- Balanza analítica *Sartorius 2432*,.Alemana.

Metodología para la preparación de las muestras y las mediciones.

Como las mediciones con el equipo *IONSCAN* se realizan de forma indirecta en las regiones sospechosas de cada persona investigada, por medio del paño de muestreo que se pasa con ayuda de la vara recolectora, colocando después el paño en el equipo para la medición; se puede considerar que cada persona es la matriz de la muestra, con las características propias, únicas e individuales que ello implica, considerando como factor común que todas son seres humanos. Por tanto, para realizar la investigación, fue necesario macular con la cocaína a ayudantes, los cuales fueron escogidos al azar.

Considerando lo antes planteado, se decidió macular a las personas directamente en las manos, en la palma y el dorso, con la cantidad de 0.009 g de cocaína clorhidrato al 80 % en polvo, lo que se denominó como el Experimento # 1. De igual forma se macularon personas con la misma cantidad de la droga, pero en este caso en solución de metanol a la concentración de 0.009 g/mL, con un volumen de 1 mL de solución, en lo que se denominó como el Experimento # 2.

Cada experimento se realizó por triplicado, maculando en cada réplica a 5 personas, por lo que se utilizaron un total de 30 ayudantes; utilizando cada réplica para un ciclo de mediciones con el equipo.

Las mediciones en el *IONSCAN* se realizaron en cada ciclo a partir de las 24 horas (1 cada día) de realizada la maculación de los ayudantes, hasta la no detección. La muestra se levanta o toma de las manos de cada persona con un solo paño, el cual se pasa por ambas caras de las manos con ayuda de la vara recolectora, recorriendo por cinco veces cada cara, desde la muñeca hasta la punta de cada dedo de modo lineal, de forma que se cubra la mayor superficie posible, para un total de 20 recorridos del paño por persona. Acto seguido se toma el paño de la vara recolectora con unas pinzas y se coloca en el porta muestra con la superficie recolectora hacia arriba, para realizar a continuación la medición en el equipo.

Debe significarse que cuando la lectura da resultados positivos, en la pantalla del equipo aparecen reportados valores de 4 parámetros que son los siguientes: **CumA**, **MaxA**, **Delta** y **#Seg**. De estos valores sólo se tomaron para la investigación los de Amplitud Acumulativa

(CumA), pues el manual del operador del equipo reporta que este parámetro es el más representativo de la cantidad de droga presente. ⁽²⁾

Utilización de la Técnica Canina.

Se utilizaron perros de la Técnica Canina, para comparar los resultados positivos de detección obtenidos con el equipo *IONSCAN*, con los que se obtuvieran con los perros especializados en la detección de drogas. Para ello, una vez realizadas las determinaciones con el equipo, los compañeros eran sometidos a continuación a rondas de selección con perros especializados en la detección de drogas, colocando a los mismos intercalados en hileras de 5 ó 6 personas, para que el perro marcara a los individuos que detectaran con olor a droga. ⁽⁴⁶⁾

Procesamiento de datos.

Para la realización de los cálculos y análisis de la data experimental se utilizaron los programas de *Microsoft Excel*, *Statgraphics Plus 5.1* y *Microcal Origin 8.0* soportados sobre la plataforma de *Windows XP*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del paño de muestreo.

Respecto al resultado del espectro infrarrojo realizado al paño de muestreo empleado en el *IONSCAN*, este corrobora que el paño es efectivamente de algodón, lo que favorece el levantamiento, absorción y retención de las trazas de cocaína en el paño, por la formación de puentes de hidrógeno intermoleculares entre los grupos hidroxilo del algodón y los átomos de oxígeno y nitrógeno que presenta esta droga.

Aplicación de la Espectrometría de Movilidad Iónica.

Cuantificación mediante la curva de calibración.

Las cantidades de cocaína que se aplicaron en los paños de muestreo, mediante el empleo de pipetas, para la confección de la curva de calibración a partir de las soluciones estándar; fueron sometidas a medición con el *IONSCAN*. En la tabla siguiente se pueden apreciar los resultados de la lectura de tres réplicas para cada cantidad de cocaína y los resultados del análisis estadístico para el conjunto de mediciones.

Tabla # 1. Mediciones para curva de calibración.

#	COC (μg)	Mediciones en IONSCAN (Cum A)			Media (Cum A)	S	CV
		R1	R2	R3			
1	0,01	237	0	0	79	136,8	1,7321
2	0,025	626	943	1201	923,3	288	0,3119
3	0,05	1678	1688	2254	1873,3	329,7	0,1760
4	0,1	2302	3172	3189	2887,7	507,3	0,1757
5	0,4	3155	3492	2819	3155,3	336,5	0,1066
6	0,8	6723	6770	7183	6892	253,1	0,0367
7	1,2	9232	8923	9284	9146,3	195,2	0,0213
8	1,6	12110	12566	10163	11613	1276,3	0,1099
9	2	10773	12635	11798	11735,3	932,6	0,0795

Leyenda: COC.- cocaína; μg .- microgramos; R1, R2, R3.- réplicas 1, 2 y 3; Cum A.- amplitud Acumulativa; S.- desviación estándar; CV.- coeficiente de variación.

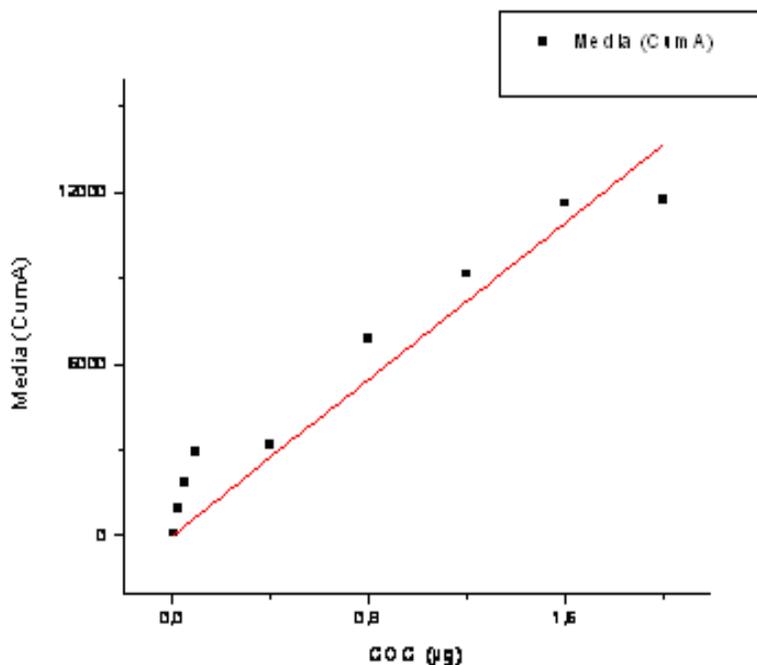
En los resultados obtenidos para la cantidad más baja de 0.01 μg (10 ng) se aprecia que el equipo no siempre lo detecta, lo cual puede deberse a que se trata de una cantidad muy pequeña de cocaína, que se encuentra cercana al límite de detección reportado para este equipo referente a la cocaína.

Con las medias de las lecturas de la **CumA** y los correspondientes valores de cantidad de cocaína en microgramos (μg), se confeccionó la curva de calibración.

Tabla # 2. Data de Curva de calibración.

COC (μg)	Media (Cum A)
0,01	79
0,025	923,3
0,05	1873,3
0,1	2887,7
0,4	3155,3
0,8	6892
1,2	9146,3
1,6	11613
2	11735,3

Figura # 1. Curva de calibración.



Leyenda: COC.- cocaína;

μg .- microgramos; Cum A.- amplitud acumulativa.

La ecuación resultante de la curva de calibración es la siguiente:

$$CumA = (6831.67) * \mu\text{g} \quad (1)$$

A partir de la ecuación # 1 se obtiene, despejando, la ecuación # 2 que se presenta a continuación.

$$\mu\text{g} = \frac{CumA}{(6831.67)} \quad (2)$$

A partir de esa última ecuación se confeccionó una tabla de **CumA VS. Cantidad de Cocaína en Microgramos**, que permite convertir la data de los valores de lectura de CumA del IONSCAN, en cantidad de Cocaína expresados en la unidad de masa **Microgramos** (μg); que puede variar desde un máximo de 2 μg , hasta un mínimo de 0.01 μg , siempre en el orden de las trazas (Anexo # 1).

Se debe significar que los valores de lectura de **CumA** en el *IONSCAN* que no se correspondan exactamente con los valores asignados en la tabla, se buscan en la misma entre el par de valores que se puede situar, y según esté más cercano al valor superior o inferior, se escoge el valor superior o inferior correspondiente en la tabla a la cantidad de **Cocaína en Microgramos**.

Resultados de los experimentos # 1 y # 2.

Resultados de las mediciones.

Atendiendo a los resultados de todas las mediciones realizadas con el equipo *IONSCAN 400 B* en los experimentos # 1 y # 2, cada uno con sus tres etapas correspondientes; se pudo apreciar la tendencia a la disminución progresiva de los valores de **CumA** desde 1 día hasta los 12 días, con bastante semejanza entre ellos.

A continuación, en la tabla siguiente, se puede apreciar el resultado del análisis estadístico de todas las datas unidas, lo que confirma lo antes expuesto.

Tabla # 3. Resumen de los Experimentos # 1 y # 2.

Días	CumA		
	Media	S	CV
1	5831,0	2149,3	0,4
2	3503,2	1683,9	0,5
3	1939,8	1257,7	0,6
4	1933,0	1573,0	0,8
5	1809,6	1274,1	0,7
6	1066,2	831,2	0,8
7	943,1	741,5	0,8
8	572,1	569,0	1,0
9	385,2	335,4	0,9
10	397,9	414,1	1,0
11	347,4	268,4	0,8
12	80,2	179,3	2,2

Leyenda: **Cum A.**- amplitud acumulativa;
S.- desviación estándar;
CV.- coeficiente de variación.

Se debe significar que en varias de las personas ayudantes que participaron en los experimentos, se realizaron mediciones simultáneamente en los antebrazos, y en todos los casos las lecturas de **CumA** eran bastante menor que en las manos; lo cual ratifica que, no

obstante la cercanía a las manos, son precisamente estas “las manos” la zona de mayor contaminación con la cocaína.

Análisis estadístico con comparación de modelos alternativos.

Con los valores de las medias de la **CumA** para cada **Día**, se realizó un análisis de regresión simple para buscar un modelo de curva que se ajuste a la disminución de los valores de **CumA** en las manos de las personas con el paso de los **Días**, procediendo a la comparación de modelos alternativos.

Teniendo en cuenta como se planteó con anterioridad, que la matriz, o sea, el “ser humano”, es bastante compleja dada la particularidad de cada individuo; considerando los resultados obtenidos en un ajuste inicial, para disminuir la dispersión entre los valores de “Y” predichos, y los límites de predicción y de confianza para un 95 %; se decidió realizar el mismo análisis buscando el ajuste de los modelos por separado, o sea, en intervalos de 1 a 5 y de 6 a 12 días.

En ambos casos, se pudo apreciar que el modelo que más se ajusta es el **Inverso-X**, cuyos estadígrafos r y R^2 se observan en la siguiente tabla:

Tabla # 4. Resultados de análisis de regresión simple.

Intervalo	Anexo	r	R²
1 a 5	# 5	0,9885	97,72 %
6 a 12	# 6	0,9695	94,00 %

Legenda: **Intervalo.**- Intervalo de días;
r.- coeficiente de correlación;
R².- coeficiente de determinación.

El valor r , indica una relación relativamente fuerte entre las variables y R^2 , que el modelo explica la variabilidad en las **Medias de CumA** en el porcentaje dado en cada caso; esto unido a que los p-valores en la tabla ANOVA son inferiores en ambos casos a 0.01, revela una relación estadísticamente significativa entre las **Medias de CumA** y **Días** para un nivel de confianza del 99 %. El comportamiento es similar a cuando se trabajó la data completa desde 1 a 12 días, y se logró el objetivo de disminuir la dispersión de los valores, tal como se observa en la tabla siguiente.

Tabla # 5. PREDICCIONES (Con ajustes por separado de 1- 5 y de 6-12).

CumA						
Días	Predicho	95 %		95 %		Media de las mediciones
		Límites de Predicción		Límites de Confianza		
X	Y	Inferior	Superior	Inferior	Superior	
1	5865,0	4544,5	7185,4	4955,8	6774,1	5831
2	3231,5	2180,6	4282,5	2798,5	3664,5	3503,2
3	2353,7	1289,06	3418,41	1888,39	2819,07	1939,8
4	1914,8	822,3	3007,2	1389,0	2440,6	1933
5	1651,4	536,1	2766,7	1079,7	2223,2	1809,6
6	1104,6	799,5	1409,7	917,5	1291,7	1066,2
7	834,1	562,8	1105,3	709,6	958,6	943,1
8	631,2	372,2	890,1	536,4	725,9	572,1
9	473,3	214,9	731,7	380,1	566,6	385,2
10	347,1	83,3	610,8	239,9	454,3	397,9
11	243,8	-27,9	515,5	118,2	369,4	347,4
12	157,7	-122,9	438,4	13,7	301,7	80,2

Leyenda: Cum A.- amplitud acumulativa; X.- valores del eje X; Y.- valores del eje Y.

A partir de los resultados que se observan en la tabla # 5 con las predicciones, realizando algunos ajustes y aproximaciones, se confeccionó la tabla indicadora de la relación **CumA VS. Tiempo** (Tabla # 6), por medio de la cual se puede realizar un estimado del tiempo transcurrido (días) desde que una persona estuvo en contacto por última vez con la droga, a partir del valor de **CumA** determinado con el *IONSCAN* para la cocaína, de acuerdo a su ubicación en el intervalo entre el máximo y mínimo (Anexo # 2).

Tabla # 6. Estimado del tiempo transcurrido.

Valores de lectura de CumA en el IONSCAN		Tiempo desde la maculación	
Máximo	Mínimo	Hasta: (Días)	
≥ 6774	a	4961	1
4960	a	3671	1 – 2
3670	a	2816	2
2815	a	2401	3
2400	a	1291	3 – 5
1290	a	961	5 – 6
960	a	711	7
710	a	551	8
550	a	≤ 80	9 – 12

Leyenda:

(\geq) - Mayor o igual que;

(\leq) - Menor o igual que;

Máximo – Límite de valor máximo;

Mínimo – Límite de valor mínimo.

El rango de los valores de **CumA** entre los valores máximos y mínimos indicados, permite hacer un estimado del tiempo transcurrido en **Días** desde que la persona estuvo en contacto por última vez con la cocaína, según corresponda el valor obtenido de **CumA** con el que se indica en la columna de la extrema derecha en **Días**.

Aplicación de la Técnica Canina.

La comparación de los resultados obtenidos en el **IONSCAN** con los perros se realizó en el Experimento #1 en la 3^{ra} etapa, y en el Experimento # 2 en la 1^{ra} etapa; tal como se aprecia en las siguientes tablas:

Tabla # 7.
Experimento # 1, 3^{ra} etapa.

Tiempo desde la maculación (días)	Ayudante (1)		Ayudante (2)		Ayudante (3)		Ayudante (4)		Ayudante (5)	
	ION Scan	Perro	ION Scan	Perro	ION Scan	Perro	ION Scan	Perro	ION Scan	Perro
3	(+)	Kilo (+)	(---)	(---)	(+)	(---)	(+)	Kilo (-)	(+)	Kilo (-)
7	(-)	(---)	(+)	(---)	(+)	Kilo(+) Yeni(+) Pluto(-) Tino(-)	(+)	Kilo(+) Pluto(-) Tino(-)	(+)	(---)
9	(-)	(---)	(+)	(---)	(-)	Kilo(+) Pluto(-) Tino(-)	(+)	Kilo(-) Pluto(-) Tino(-)	(+)	Kilo(+) Pluto(-) Tino(-)
10	(-)	(---)	(+)	Pluto(+) Yeni(-) Tino(-)	(-)	Yeni(+) Pluto(-) Tino(-)	(-)	(---)	(+)	Pluto(-) Yeni(-) Tino(-)

Tabla # 8.
Experimento # 2, 1^{ra} etapa.

Tiempo desde la maculación (días)	Ayudante (1)		Ayudante (2)		Ayudante (3)		Ayudante (4)		Ayudante (5)	
	ION Scan	Perro	ION Scan	Perro						
4	(+)	(---)	(+)	Vania(-) Pluto(-) Tino(-) Tango(-)	(+)	Vania(-) Pluto(-) Tino(-) Tango(-)	(+)	Vania(-) Pluto(-) Tino(-) Tango(-)	(+)	(---)
5	(+)	Vania(-) Pluto(-) Tango(-) Yeni(-)	(+)	(---)	(+)	Vania(-) Pluto(-) Tango(-) Yeni(-)	(+)	Vania(-) Pluto(-) Tango(-) Yeni(-)	(+)	(---)

Leyenda para ambas tablas:

Ayudante – Persona maculada con la droga, sometida a revisión con el IONSCAN y la Técnica Canina.

(+) ----- Que ofreció resultados positivos a la revisión con el IONSCAN y/o la Técnica Canina.

(-) ----- Que ofreció resultados negativos a la revisión con el IONSCAN y/o la Técnica Canina.

(---) ----- Que no fue sometido a revisión con el IONSCAN y/o la Técnica Canina.

(Perro) ----- Se observan nombres de los perros empleados en la experimentación.

Se puede apreciar que de un total de 46 pruebas comparativas realizadas con los perros, en las cuales los ayudantes habían resultado positivos con el IONSCAN; sólo en 6 se obtuvieron resultados positivos con los perros, para un 13.04 % de efectividad. Mientras que en 6 pruebas comparativas realizadas con los perros, en las que los ayudantes habían dado negativo con el IONSCAN; en 2 se obtuvieron resultados positivos con los perros. Se realizaron adicionalmente y como referencia 2 pruebas con 2 ayudantes, que fueron maculados en la técnica canina con 1 mL de solución conteniendo 0.009 g de cocaína y transcurrida media hora se incorporaban a la ronda de selección de personas, los cuales siempre fueron detectados con resultados positivos por los perros.

Aunque aparentemente los resultados con la técnica canina no son buenos, considerando que la cocaína presente en las manos está en el orden de las trazas (**ppm**) o menos, que la **presión de vapor** de la cocaína se reporta a una temperatura de 25 °C que es de **0.25 ppb** y que el límite de detección de sustancias planteado para el sentido del olfato de los perros es de **1 x 10⁻¹⁴g (fg)**; estos resultados en realidad deben ser los esperados sobre la base del siguiente análisis.

Empleando el dato de la presión de vapor, se puede calcular la cantidad de sustancia que se evapora a partir de la cantidad detectada en las manos y que pueden detectar los perros con su olfato en los siguientes casos:

1. Cantidad de sustancia con que se maculan las manos en el **Proyecto IONSCAN** es de **9 mg**, que equivale según la Presión de Vapor (pV) a **2.25 x 10⁻¹² g/ml**.
2. Cantidad de sustancia más alta de cocaína que se detecta en las manos con el **IONSCAN** (experimental) es de **2 µg**, que equivale según la pV a **5 x 10⁻¹⁶ g/ml**.
3. Cantidad más baja de cocaína que contiene un apor de entrenamiento (en el primer día) es de **2.49 µg**, que equivale según la pV a **6.22 x 10⁻¹⁶ g/ml**.
4. Cantidad más baja que da la aplicación de un spray de cocaína al **0.1 %** es un promedio de **0.6 mg**, que equivale según la pV a **1.5 x 10⁻¹³ g/ml**.
5. Cantidad más baja que da la aplicación de un spray de cocaína al **0.05 %** es de **0.3 mg**, que equivale según la pV a **7.5 x 10⁻¹⁴ g/ml**.

En la tabla que aparece a continuación, expresadas en dos notaciones diferentes, se puede apreciar de una forma detallada, el lugar que ocupa cada uno de los 5 casos antes expuestos con relación al límite de detección olfativo de los perros:

Tabla # 9. Comparativa de cada caso.

#	g	mg	µg	ng	pg	fg	ag	
	0.	000	000	000	000	010	000	000
		1x 10 ⁻³	1x 10 ⁻⁶	1x 10 ⁻⁹	1x 10 ⁻¹²	1x 10 ⁻¹⁴	1x 10 ⁻¹⁸	
	COC pV			0. 10 ⁻⁹	25			
1					2.2 10 ⁻¹²			
2							5 10 ⁻¹⁶	
3							6.2 10 ⁻¹⁶	
4						1.5 10 ⁻¹³		
5						7.5 10 ⁻¹⁴		

Leyenda:
COC pV- presión de vapor de la cocaína
g- gramo
mg- miligramo
µg- microgramo
ng- nanogramo
pg- picogramo
fg- fentogramo
ag- atogramo
- número de caso

Análisis de cada caso:

- En el caso # 1, los perros detectaron sin dificultad, pues se puede apreciar que aunque es baja la cantidad que se evapora, se encuentra aún dentro de los valores de percepción olfativa para el perro.
- En el caso # 2, es evidente que el perro no lo deba detectar, de ahí que lo detectado con el *IONSCAN* puede no ser detectado por los perros y el bajo porcentaje de efectividad obtenido en la presente investigación con los perros es de 13.04 %.
- En el caso # 3, que es resultado de una investigación anterior usada como referencia, no debe ser detectado tampoco por los perros, lo cual queda pendiente de verificar. ⁽³⁹⁾
- En el caso # 4, que es resultado también de una investigación anterior usada como referencia, aunque es baja la cantidad de sustancia que se evapora, se encuentra aún dentro de los valores de percepción olfativa para el perro y de hecho en dicha investigación, se reporta un 100 % de efectividad en la detección por los perros. ⁽³⁸⁾

- En el caso # 5, de la misma referencia anterior, el valor obtenido se encuentra en el mismo límite de la percepción olfativa del perro, por lo cual pueda deberse que en dicha investigación la efectividad para la detección de cocaína por los perros baje al 50 %.⁽³⁸⁾

La información más valiosa que brinda la comparación de los resultados obtenidos en el *IONSCAN* con los obtenidos por la técnica canina especializada en la detección de drogas, es que con el equipo se pueden detectar trazas de cocaína presente en las personas ($\leq 2 \mu\text{g}$) que es muy difícil que pueda ser detectada por la técnica canina, pues lo que se evapora de ésta ($5 \times 10^{-16} \text{ g/ml}$) no lo detecta el perro, teniendo en cuenta que el límite de detección olfativo de estos animales es de $1 \times 10^{-14} \text{ g}$.

CONCLUSIONES

1. Se determinó la cantidad de cocaína en el cuerpo de los sujetos sospechosos a partir del resultado de las mediciones realizadas con el IONSCAN.
2. Se estableció un modelo que describe la relación entre la cantidad de cocaína determinada en el cuerpo del sujeto sospechoso y el tiempo transcurrido desde el último contacto con la droga.
3. Se elaboraron los patrones de diferente concentración de cocaína que permitieron la confección de la curva de calibración en Espectrometría de Movilidad Iónica para su utilización en la investigación.
4. Se estableció un procedimiento para la maculación y toma de muestras de los sujetos experimentales.
5. La aplicación de la Espectrometría de Movilidad Iónica con el equipo *IONSCAN* posibilita la determinación de trazas de cocaína en las personas, que no es posible detectar por la técnica canina.

BIBLIOGRAFIA

1. Sánchez Bruzón JF, **"Aspectos Analíticos de la Determinación de Drogas en Fluidos Biológicos"**, Instituto de Medicina Deportiva. Cuba, 2003.
2. **"IONSCAN^R 400B, Manual del Operador"**, Smiths Detection, New Jersey, USA, Abril, 2004.
3. **"IONSCAN 500DT and GC IONSCAN"**, Smiths Detection, New Jersey, USA, Internet 2007.
4. **"IONSCAN SENTINEL II, NON-CONTACT, WALK-THROUGH PORTAL FOR EXPLOSIVES OR NARCOTICS DETECTION"**, Smiths Detection, bringing technology to life, Smiths Detection - IONSCAN SENTINEL II.htm, 2007.
5. Koyuncu H., Seven E., Calimli A., **"Examination of Some Organic Explosives by Ion Mobility Spectrometry (IMS)"**, Turk J. Chem., 29, 255-264, 2005.
6. **"IONSCAN^R-LS, The Ultra-Fast Alternative to HPLC"**, Smiths Detection, Technical Information, New Jersey, USA, Internet 2007.
7. **"IONSCANTM, Based on IMS Technology"**, Smiths Detection, New Jersey, USA, Internet 2007.
8. **"Cocaína, El Brío de la Coca"**. <http://www.mindsurf.net/drogas/coca.htm>, 2000.
9. Martínez R., Dedios L., Buiza M., **"Cocaína. Obtención, Purificación, Síntesis, Reconocimiento y Estabilización"**, Curso de Química Orgánica 3, Prof. MC. Nora Herrera, <http://www.todoquímica.tk>, 2007.
10. Pascual F., Torres M. y Calafat A., **"Monografía Cocaína"**, Adicciones, Vol. 13. Suplemento 2, Delegación del Gobierno para el Plan Nacional sobre Drogas, Valencia, España, 2001.
11. Domínguez Mulet M.E., **"Sistema Técnico Criminalístico para la Comparación de Muestras de Cocaína"**, Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Jurídicas, 2004.
12. **"Handbook of Chemistry and Physics"**, 54th Edition, CRC Press, Ohio, USA, 1973-1974.
13. **"The Merck Index of Chemical and Drugs"**, Merck & Co. Inc., (p. 136, 272-273, 396, 869), 1960.
14. Martínez R., Dedios L., Buiza M., **"Cocaína. Obtención, Purificación, Síntesis, Reconocimiento y Estabilización"**, Curso de Química Orgánica 3, Prof. MC. Nora Herrera, <http://www.todoquímica.tk>, 2007.
15. Lizasoain, I.; Moro, M.A.; Lorenzo, P., **"Cocaína: aspectos farmacológicos, Adicciones"**, 14(1):57-64, 2002.
16. Alvarez I., Bermejo A.M., Tabernero M.J., Fernandez P., Lopez P., **"Determination of cocaine and cocaethylene in plasma by solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry"**, J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci., 845(1):90-4, 2007.
17. Bermejo A.M., Lopez P., Alvarez I., Tabernero M.J., Fernandez P., **"Solid-phase microextraction for the determination of cocaine and cocaethylene in human hair by gas chromatography-mass spectrometry"**, Forensic Sci Int., 156(1):2-8., 2006.
18. Bourland J.A., Hayes E.F., Kelly R.C., Sweeney S.A., Hatab M.M., **"Quantisation of cocaine, benzoylecgonine, cocaethylene, methylecgonine and norcocaine in human hair by positive ion chemical ionization (PCI) gas chromatography tandem mass spectrometry"**, J. of Anal. Toxicol., 24(7): 489-495, 2000.
19. Follador M.J., Yonamine M., de Moraes Moreau R.L., Silva O.A., **"Detection of cocaine and cocaethylene in sweat by solid-phase microextraction and gas chromatography/mass spectrometry"**, J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci., 811(1):37-40, 2004.
20. Aderjan R.E., Schmit G., Wu M. and Meyer C., **"Determination of cocaine and benzoylecgonine by derivatization with iodometane D3 or PFFA-HFIP in human blood and urine using GC/MS (EI or PCI mode)"**, J. Anal. Toxicol., 17:51, 1993.
21. Abusada G.M., Abukhalaf I.K., Alford D.D., Vinzon-Bautista I., Ansari N.A., Manno J.E. and Manno B.R., **"Solid-phase extraction and GC-MS quantisation of cocaine, ecgonine"**

- methyl ester, benzoylecgonine and cocaethylene from meconium, whole blood and plasma*", J. Anal. Toxicol., 17, 353, 1993.
22. Bailey D.N., **"Cocapropylene (Propylcocaine) Formation by Human Liver in Vitro"**, Journal of Analytical Toxicology, 19, 1995.
 23. Clauwaer K.M., Lambert W. and De Leenheer A., **"High Performance liquid chromatographic determination of cocaine and its main metabolites in biological samples: A review"**, J. Liq. Chromatogr., 18: 2 097, 1995.
 24. Romolo F.S., Rotolo M.C., Palmi I., Pacifici R., Lopez A., **"Optimized conditions for simultaneous determination of opiates, cocaine and benzoylecgonine in hair samples by GC—MS"**, Forensic Sci Int., 138(1-3):17-26, 2003.
 25. Balanza M., Valdés J. L., **"Reconocimiento legal de la odorología criminalística"**, Rev. Elect. De Asoc. Juristas de Cuba, 2001.
 26. Bailey D.N., **"Studies of cocaethylene (ethylcocaine) formation by human tissues in Vitro"**, J. of Analytical Toxicology, 18, 1994.
 27. Bella Casa E. and Martone G., **"A Quantitative Densitometric Determination of Heroin and Cocaine Samples by High-Performance Thin-Layer Chromatography"**, Forensic Science International, 32: 117-120, 1986.
 28. Cone E.J., Welch M.J., Babecki M.B., **"Hair Testing for Drugs of Abuse"**, International Research and Technology, NIH Publication No. 95-3727:91-120, 1995.
 29. Hold K.M., Hubbard D.L., Wilkins D.G. and Rollins D.E., **"Quantisation of cocaine in human hair, the effect of centrifugation of hair digest"**, J. Anal. Toxicol., 22: 414, 1998.
 30. Oyler J., Darwin W.D., Preston K.L., Sress D. and Cone E.J., **"Cocaine disposition in meconium from newborn of cocaine abusing mothers and urine of adult drug user"**, J. Anal. Toxicol., 20: 453, 1996.
 31. Sims D.N., Felgate P.D., Felgate H.E. and Lokan R.J., **"Application of a simple extraction procedure using aqueous ammonia to the analysis of basic drugs in blood by gas chromatography"**, Forensic Sci, Int, 49: 33, 1991.
 32. Kochkin D. N., Plaksin S. A., Iablokov S. N., **"Acabado de los Tejidos Planos de Algodón"**, Editorial Científico-Técnica, Ciudad de la Habana, 1-6, 1981.
 33. Babor J. A., Ibarz J., **"Química General Moderna"**, Ediciones de Ciencia y Técnica, Habana, Cuba, 1962.
 34. Espinosa L, y col., **"Los Medios de Marcaje en la Lucha contra el Delito"**, Folleto de Instrucción, CIDT-Minint, 2^{da} Edición, 1998.
 35. Lars Falt, **"Versión de conferencia ofrecida por especialista de alta calificación (Suecia) acerca del empleo de los perros"**, Secretaría del Ministerio del Interior, Cuba, 30-10-1997.
 36. Rhykerd C.L., Hannum D.W., Murray D.W., Parmeter J.E., **"Guide for the Selection of Commercial Explosives Detection Systems for Law Enforcement Applications"**, U.S. Department of Justice, Office of Justice Programs, National Institute of Justice, NIJ Guide 100-99, September 1999.
 37. David W. Hannum, Dr. John E. Parmeter, **Survey of Commercially Available Explosives Detection Technologies and Equipment**, Sandia National Laboratories, for: The National Law Enforcement and Corrections Technology Center, a Program of the National Institute of Justice, U.S. Department of Justice; September 1998.
 38. Villar R., Álvarez A., **"Investigación para el Desarrollo de Sprays Olorosos con Fines Operativos"**, CIDT-Minint, CITECNA 2004.
 39. Villar R., **"Desarrollo de un Método Analítico para la Determinación de Cocaína en Aportes Olorosos"**, Tesis en opción al grado científico de Máster en Ciencias Químicas, 2009.
 40. Clauwaert K.M., Van Bocxlaer J.F., Lambert W.E. and De Leenheer A.D., **"Analysis of cocaine, benzoylecgonine and cocaethylene in urine by HPLC with diode array detection"**, Anal. Chem., 68:3021, 1996.

41. Jenkins A. J., Oyler J. M., Cone E. J., ***“Comparison of heroin and cocaine concentrations in saliva with concentrations in blood and plasma”***, J. Anal. Toxicol., 19(6):359-374, 1995.
42. Neudorf P., Hupe M., Pilon P., and Lawrence A. H., ***“Determination of Ecgonidine Methyl Ester Vapor Pressure Using a Dynamic Gas Blending System and Gas Chromatographic Analysis”***, Anal. Chem., 69:4283-4285, 1997.
43. Neudorf P.S., Hupe M.B., Drolet G., Pilon J.B., Lawrence A.H., Cote J.S., ***“Trace vapour detection”***, United State Patent 5,859,362, January 12, 1999.
44. Dindal A., Buchanan M., Jenkins R., Bayne C., ***“Determination of cocaine and heroine vapour pressures using commercial and illicit samples”***, Analyst, 125:1393- 1396, 2000.
45. Informe: ***“Cuantificación de una muestra de cocaína proveniente del CIDT”***, Laboratorio Central de Criminalística, Julio de 2007.
46. Hernández O., ***“Técnica Canina Operativa”*** (Conferencia, Base Material de Estudio), División de Criminalística, Minint, 2008.

ANEXO # 1. Tabla de *CumA* VS. Cantidad de Cocaína en Microgramos
(Para convertir la data del IONSCAN en cantidad de Cocaína)

CumA	Microgramos	CumA	Microgramos	CumA	Microgramos
13668	2	11368	1,66	9068	1,33
13618	1,99	11318	1,66	9018	1,32
13568	1,99	11268	1,65	8968	1,31
13518	1,98	11218	1,64	8918	1,31
13468	1,97	11168	1,63	8868	1,3
13418	1,96	11118	1,63	8818	1,29
13368	1,96	11068	1,62	8768	1,28
13318	1,95	11018	1,61	8718	1,28
13268	1,94	10968	1,61	8668	1,27
13218	1,93	10918	1,6	8618	1,26
13168	1,93	10868	1,59	8568	1,25
13118	1,92	10818	1,58	8518	1,25
13068	1,91	10768	1,58	8468	1,24
13018	1,91	10718	1,57	8418	1,23
12968	1,9	10668	1,56	8368	1,22
12918	1,89	10618	1,55	8318	1,22
12868	1,88	10568	1,55	8268	1,21
12818	1,88	10518	1,54	8218	1,2
12768	1,87	10468	1,53	8168	1,2
12718	1,86	10418	1,52	8118	1,19
12668	1,85	10368	1,52	8068	1,18
12618	1,85	10318	1,51	8018	1,17
12568	1,84	10268	1,5	7968	1,17
12518	1,83	10218	1,5	7918	1,16
12468	1,83	10168	1,49	7868	1,15
12418	1,82	10118	1,48	7818	1,14
12368	1,81	10068	1,47	7768	1,14
12318	1,8	10018	1,47	7718	1,13
12268	1,8	9968	1,46	7668	1,12
12218	1,79	9918	1,45	7618	1,12
12168	1,78	9868	1,44	7568	1,11
12118	1,77	9818	1,44	7518	1,1
12068	1,77	9768	1,43	7468	1,09
12018	1,76	9718	1,42	7418	1,09
11968	1,75	9668	1,42	7368	1,08
11918	1,74	9618	1,41	7318	1,07
11868	1,74	9568	1,4	7268	1,06
11818	1,73	9518	1,39	7218	1,06
11768	1,72	9468	1,39	7168	1,05
11718	1,72	9418	1,38	7118	1,04
11668	1,71	9368	1,37	7068	1,03
11618	1,7	9318	1,36	7018	1,03
11568	1,69	9268	1,36	6968	1,02
11518	1,69	9218	1,35	6918	1,01
11468	1,68	9168	1,34	6868	1,01
11418	1,67	9118	1,33	6818	1

CumA	Microgramos	CumA	Microgramos	CumA	Microgramos
6768	0,99	4468	0,65	2168	0,32
6718	0,98	4418	0,65	2118	0,31
6668	0,98	4368	0,64	2068	0,3
6618	0,97	4318	0,63	2018	0,3
6568	0,96	4268	0,62	1968	0,29
6518	0,95	4218	0,62	1918	0,28
6468	0,95	4168	0,61	1868	0,27
6418	0,94	4118	0,6	1818	0,27
6368	0,93	4068	0,6	1768	0,26
6318	0,92	4018	0,59	1718	0,25
6268	0,92	3968	0,58	1668	0,24
6218	0,91	3918	0,57	1618	0,24
6168	0,9	3868	0,57	1568	0,23
6118	0,9	3818	0,56	1518	0,22
6068	0,89	3768	0,55	1468	0,21
6018	0,88	3718	0,54	1418	0,21
5968	0,87	3668	0,54	1368	0,2
5918	0,87	3618	0,53	1318	0,19
5868	0,86	3568	0,52	1268	0,19
5818	0,85	3518	0,51	1218	0,18
5768	0,84	3468	0,51	1168	0,17
5718	0,84	3418	0,5	1118	0,16
5668	0,83	3368	0,49	1068	0,16
5618	0,82	3318	0,49	1018	0,15
5568	0,82	3268	0,48	968	0,14
5518	0,81	3218	0,47	918	0,13
5468	0,8	3168	0,46	868	0,13
5418	0,79	3118	0,46	818	0,12
5368	0,79	3068	0,45	768	0,11
5318	0,78	3018	0,44	718	0,11
5268	0,77	2968	0,43	668	0,1
5218	0,76	2918	0,43	618	0,09
5168	0,76	2868	0,42	568	0,08
5118	0,75	2818	0,41	518	0,08
5068	0,74	2768	0,41	468	0,07
5018	0,73	2718	0,4	418	0,06
4968	0,73	2668	0,39	368	0,05
4918	0,72	2618	0,38	318	0,05
4868	0,71	2568	0,38	268	0,04
4818	0,71	2518	0,37	218	0,03
4768	0,7	2468	0,36	168	0,02
4718	0,69	2418	0,35	118	0,02
4668	0,68	2368	0,35	68	0,01
4618	0,68	2318	0,34		
4568	0,67	2268	0,33		
4518	0,66	2218	0,32		

Leyenda:

- **CumA.** – Lectura del IONSCAN
- **Microgramos .** – Unidad de masa (cantidad de sustancia)

Nota: Las lecturas de valores de CumA en el IONSCAN que no se correspondan exactamente con los valores asignados en la tabla se buscan en la misma entre el par de valores que se puede situar, y según esté más cercano al valor superior o inferior, se escoge el valor superior o inferior correspondiente en la tabla a la cantidad de Cocaína en Microgramos.

ANEXO # 2.

**TABLA INDICADORA DE LA RELACION
CumA VS.Tiempo**

Valores de lectura de CumA en el IONSCAN		Tiempo desde la maculación	
<i>Máximo</i>		<i>Mínimo</i>	<i>Hasta: (Días)</i>
≥ 6774	a	4961	1
4960	a	3671	1 – 2
3670	a	2816	2
2815	a	2401	3
2400	a	1291	3 – 5
1290	a	961	5 – 6
960	a	711	7
710	a	551	8
550	a	≤ 80	9 – 12

Leyenda:

- (\geq) - Mayor o igual que
- (\leq) - Menor o igual que
- **Máximo** – Límite de valor máximo
- **Mínimo** – Límite de valor mínimo

Nota: El rango de los valores de CumA entre los valores máximos y mínimos indicados, permite hacer un estimado del tiempo transcurrido en Días desde que la persona estuvo en contacto por última vez con la cocaína, según corresponda el valor obtenido de CumA con el que se indica en la columna de la extrema derecha en *Días*.