



# SABER, arte y técnica

Minerva. Saber, arte y técnica

**AÑO 9 • VOL. 2 • DICIEMBRE 2025**

**Dossier Educación Media a Distancia**

<https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s25456245/8vrrr8q5g>

ISSN en línea 2545-6245

ISSN impreso 2591-3840

**IUPFA**

# La identificación de nuevas sustancias psicoactivas mediante cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas: un aporte al Sistema de Alerta Temprana Argentino

**ARÍSTIDES ÁNGEL POCHETTINO\***

Gabinete Científico Rosario, Policía Federal Argentina

[aristidespochettino@gmail.com](mailto:aristidespochettino@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-9520-2729>

**MARÍA VIRGINIA SORELLO\*\***

Gabinete Científico Córdoba, Policía Federal Argentina

[virginiasorello@gmail.com](mailto:virginiasorello@gmail.com)

RECIBIDO: 25 DE JULIO DE 2025

ACEPTADO: 12 DE SEPTIEMBRE DE 2025

## Resumen

El análisis forense de las Nuevas Sustancias Psicoactivas (NPS) representa un desafío creciente para los Gabinetes Científicos de la Policía Federal Argentina (PFA). Este trabajo tiene como objetivo exponer las NPS identificadas por los laboratorios de la PFA que fueron reportadas al Sistema de Alerta Temprana (SAT) en el año 2022. La metodología empleada incluyó análisis preliminares mediante cromatografía en capa delgada (TLC) y espectrofotometría UV, seguidos de la confirmación y caracterización por cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (GC-MS). Se analizaron cinco muestras incautadas, identificándose catinonas sintéticas como 4-clorometcatinona (4-CMC), 3-clorometcatinona (3-CMC) y 3-metilmecatinona (3-MMC). Además, se detectó la presencia de MDMA y M-ALPHA en otra muestra, y una mezcla de MDMA y ketamina en una sustancia comercializada como 2C-B. Los resultados demuestran la eficacia de la GC-MS para separar mezclas, identificar compuestos relacionados y detectar adulteraciones. Los hallazgos fueron cruciales para la emisión de alertas del SAT y la incorporación de M-ALPHA a la Ley 23.737,

subrayando el papel fundamental del SAT en la salud pública y seguridad frente a la evolución del mercado de drogas ilícitas.

**Palabras clave:** catinona; cromatografía gaseosa; nuevas sustancias psicoactivas; espectrometría de masas; Sistema de Alerta Temprana de Argentina

## Identification of New Psychoactive Substances by Gas Chromatography-Mass Spectrometry: A Contribution to the Argentine Early Warning System

### Abstract

The forensic analysis of New Psychoactive Substances (NPS) poses a growing challenge for the scientific units of the Argentine Federal Police. This paper aims to present the NPS identified by the Argentine Federal Police laboratories that were reported to the Early Warning System (SAT) in 2022. The methodology involved preliminary analyses using thin-layer chromatography (TLC) and UV spectrophotometry, followed by confirmation and characterization via gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Five seized samples were analyzed, identifying synthetic cathinones such as 4-chloromethcathinone (4-CMC), 3-chloromethcathinone (3-CMC), and 3-methylmethcathinone (3-MMC). Additionally, MDMA and M-ALPHA were detected in another sample, and a mixture of MDMA and ketamine was found in a substance marketed as 2C-B. The results demonstrate the efficacy of GC-MS in identifying related compounds, separating mixtures, and detecting adulterations. These findings were crucial for issuing SAT alerts and incorporating M-ALPHA into Law 23.737, highlighting the SAT's essential role in public health and safety in response to the evolving illicit drug market.

**Keywords:** cathinone; gas chromatography; new psychoactive substances; mass spectrometry; Argentine Early Warning System

### Introducción

El análisis pericial de las drogas de diseño, conocidas formalmente como Nuevas Sustancias Psicoactivas (NPS), es un proceso de considerable complejidad que involucra la aplicación de diversas técnicas analíticas especializadas por parte de los Gabinetes Científicos de la Policía Federal Argentina. Las NPS son compuestos sintéticos diseñados para imitar los efectos de drogas ilegales tradicionales, como el éxtasis y las anfetaminas, con el propósito de eludir los controles legales y expandir los mercados de consumo. Estas sustancias se producen en laboratorios clandestinos y su composición química puede variar ampliamente, lo que dificulta significativamente su detección y regulación (UNODC, 2013).

La rápida aparición de nuevas sustancias y la constante modificación de sus estructuras químicas representan un desafío continuo para los sistemas forenses y de salud pública. Esta dinámica crea una competencia entre los productores ilícitos y las autoridades encargadas de la detección y fiscalización. La *novedad* de estas sustancias no siempre radica en una invención reciente, sino en su aparición en mercados específicos, lo que implica que los marcos legales y forenses a menudo reaccionan *a posteriori* a su proliferación (Peacock *et al.*, 2019; UNODC, 2013).

Para abordar esta problemática, la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC) ha clasificado a las NPS en varios grupos principales según su estructura química y sus efectos farmacológicos. Entre ellos se incluyen aminoindanos, cannabinoides sintéticos, catinonas sintéticas, sustancias del tipo de la fenciclidina, fenetilaminas, piperacinas, sustancias de origen vegetal, triptaminas y otras sustancias. Esta clasificación es fundamental para la identificación y regulación de estas sustancias, ya que permite a los laboratorios forenses agrupar diferentes compuestos según sus características químicas y efectos farmacológicos (UNODC, 2013). La diversidad inherente a estas categorías y la continua emergencia de nuevas sustancias dentro de ellas complican los esfuerzos regulatorios y la estandarización de los protocolos de análisis. Esto exige enfoques analíticos de amplio espectro y marcos regulatorios flexibles, en lugar de depender de leyes específicas para cada sustancia.

En Argentina, las autoridades han implementado el Sistema de Alerta Temprana (SAT) como un mecanismo crucial para monitorear y reportar la aparición de nuevas drogas, permitiendo una respuesta más rápida y efectiva a esta problemática (OAS/CICAD, 2019). El SAT se define como un conjunto de procedimientos técnicos y comunicacionales que involucra a diversos organismos del Estado y organizaciones de la sociedad civil. Su objetivo es la recopilación y producción de información para la detección precoz de nuevas sustancias psicoactivas, drogas emergentes y modalidades de consumo, con la consiguiente evaluación de riesgos para la población y la elaboración de respuestas oportunas en materia de salud pública y seguridad (Ministerio de Seguridad *et al.*, 2023).

El SAT considera como NPS a aquellas sustancias, en forma pura o en preparado, que no están controladas por la Convención Única sobre Estupefacientes, de 1961, ni por el Convenio sobre Sustancias Psicotrópicas, de 1971, pero que pueden suponer una amenaza para la salud pública. Es importante destacar que el término *nuevas* no se refiere necesariamente a invenciones recientes, sino a sustancias que han aparecido recientemente en el mercado y que aún no han sido incorporadas en las convenciones mencionadas (UNODC, 2013). Además, el marco del SAT argentino incorpora sustancias que, aun estando registradas en dichas convenciones, no se haya constatado previamente su consumo en el país.

La implementación del SAT en Argentina se estableció en 2019 (OAS/CICAD, 2019) y fue formalmente aprobado mediante la Resolución Conjunta 1/2023, emitida por el Ministerio de Seguridad, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y la Secretaría de Políticas Integrales sobre Drogas de la Nación Argentina (Ministerio de Seguridad *et al.*, 2023). Este enfoque multiinstitucional, que incluye la sociedad civil, y su énfasis en la detección temprana, la evaluación de riesgos y la respuesta oportuna, reflejan una evolución en la política de drogas. Se observa una transición de políticas puramente punitivas hacia una estrategia más orientada a la salud pública y la prevención, lo cual es fundamental dada la naturaleza dinámica de las NPS.

Este trabajo tiene como objetivo describir las Nuevas Sustancias Psicoactivas (NPS) identificadas por los laboratorios de la Policía Federal Argentina que fueron reportadas al Sistema de Alerta Temprana (SAT) en el año 2022, con el fin de contribuir al conocimiento de las tendencias actuales en el consumo y detección de estas sustancias en Argentina.

## Metodología

El proceso investigativo-pericial para la identificación y clasificación de las NPS en los Gabinetes Científicos de la PFA involucra una serie de etapas sistemáticas. Inicialmente, las muestras sospechosas son recolectadas durante operativos realizados por las fuerzas de seguridad y posteriormente enviadas al laboratorio.

## Alcance y Diseño del Estudio

Este trabajo se enmarca en un estudio descriptivo transversal. Este tipo de diseño de investigación se caracteriza por la recolección de datos en un “solo momento” o un “periodo específico de tiempo” para describir las características de una población o una situación (Universidad Complutense de Madrid, s.f.). En el contexto forense, un estudio transversal es de gran importancia porque proporciona una “fotografía” de los patrones de consumo de alto riesgo y de las dinámicas del mercado de drogas en un momento determinado (Burgueño *et al.*, 2019). Su objetivo no es establecer causalidad o generalizar a una población amplia, sino describir una situación emergente, lo cual es fundamental para la detección precoz y la evaluación de riesgos que persigue el Sistema de Alerta Temprana (UNODC, 2022).

## Proceso de Muestreo

Las muestras utilizadas en este estudio fueron incautadas por las fuerzas de seguridad durante operativos realizados en el año 2022. En los análisis forenses, el protocolo de muestreo se basa en la cantidad de unidades incautadas. De acuerdo con el Protocolo Único de Análisis de Estupefacientes del Ministerio Público Fiscal de Argentina, cuando el número de unidades incautadas es inferior a diez, se someterán todas a estudio pericial (Fiscalía General de la Nación,

2018). Dado que el presente estudio involucró el análisis de cinco muestras, se procedió a un análisis exhaustivo de la totalidad de las muestras pertinentes, de conformidad con los estándares metodológicos aplicables para este tipo de casos.

### Análisis Preliminares

Una vez recibidas, las muestras se someten a análisis preliminares utilizando técnicas de laboratorio de *screening*. Estas incluyen la cromatografía en capa delgada (TLC) y la espectrofotometría UV. La cromatografía en capa delgada permite una separación inicial de los componentes de la muestra, proporcionando una indicación del grupo químico al que podría pertenecer la sustancia. La espectrofotometría UV, por su parte, complementa esta etapa al ofrecer un perfil de absorción característico para ciertos principios activos. La combinación de estas técnicas permite una identificación rápida y económica de posibles grupos de sustancias, optimizando el uso de métodos más complejos y costosos para la confirmación. Este enfoque secuencial demuestra un flujo de trabajo eficiente y rentable en los laboratorios forenses, donde el cribado preliminar filtra sustancias comunes y reduce las posibilidades, maximizando la eficacia de los métodos de confirmación que requieren más recursos.

### Estudios de Corrimientos Cromatográficos en Capa Delgada (TLC)

Para los estudios de Corrimientos Cromatográficos en Capa Delgada (TLC), se realizaron extractos adecuados de las porciones de comprimidos, material cristalino y polvos retenidos. Con alícuotas de estos extractos, se efectuaron corrimientos cromatográficos en capa delgada de Silicagel HF-254 en forma simultánea. El objetivo principal fue investigar la presencia de sustancias incluidas en la Ley 23.737, incluyendo específicamente derivados anfetamínicos. Se utilizaron los siguientes sistemas de solventes de corrida: Sistema I: Metanol-Amoníaco concentrado (100:1.5); Sistema II: Metanol, Butanol, Ácido Clorhídrico (60:40:1.8); y Sistema III: Cloroformo, Metanol (90:10).

El revelado se llevó a cabo de manera secuencial, diferencial y específica. Para cada grupo en estudio, se aplicó el reactivo de Mandelín para la detección de MDMA. Posteriormente, se obtuvieron máculas de color y valores de  $R_f$  que coincidieron con los valores teóricos de MDMA (3,4-Metilendioximetanfetamina) y de otros derivados anfetamínicos presentes en el mercado ilícito, conocidos vulgarmente como *Ecstasy Group* (MDMA, MDEA, MDA, etc.).

### Estudios Espectrofotométricos al Ultravioleta

Los estudios espectrofotométricos se realizaron en el rango del ultravioleta utilizando un espectrofotómetro Shimadzu 1601 UV visible. El análisis consistió en un barrido de longitudes de onda entre 330nm y 220nm, lo que permitió obtener un espectro de absorción coincidente con los datos teóricos establecidos para los diferentes principios activos visualizados en placa (Moffat *et al.*, última edición).

## Cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (GC-MS)

Una vez identificado el grupo químico al que pertenece la sustancia mediante los análisis preliminares, la muestra se sometió a técnicas de Cromatografía Gaseosa acoplada a Espectrometría de Masas (GC-MS).<sup>1</sup> Esta técnica combina la capacidad de separación de la cromatografía de gases con la sensibilidad y selectividad del detector de masas, lo que permite el análisis y la cuantificación efectiva de compuestos traza en mezclas complejas. La GC-MS es el instrumento de elección más utilizado en toxicología forense debido a su alta sensibilidad y selectividad, lo que refuerza la fiabilidad de los resultados obtenidos en este estudio (Núñez Bravo, 2022; Stashenko y Martínez, 2010).

El proceso de GC-MS implica volatilizar la muestra e inyectarla en una columna cromatográfica capilar de treinta metros. La elución de los analitos ocurre mediante el flujo de un gas inerte, como el helio, que los transporta a través de la columna. Durante este recorrido, los componentes se retienen reversiblemente debido a la adsorción física, según su afinidad por la fase estacionaria de la columna, la cual se selecciona específicamente para diferentes grupos de sustancias. Los componentes separados eluyen de la columna y son bombardeados con un haz de electrones, lo que fragmenta las moléculas en iones positivos. Estos iones pasan a través de un campo electromagnético y se desvían según su relación masa/carga. Un detector de masas registra estos iones, creando un espectro de masas que muestra la abundancia de diferentes iones en función de su relación masa/carga. Finalmente, estos datos se comparan con bases de datos espectrales para identificar las sustancias presentes. El uso de GC-MS se limita a la separación de compuestos orgánicos, volátiles o semivolátiles, con peso molecular menor de 1000 umas y a temperaturas de hasta 400 °C. Una ventaja significativa de esta técnica es que no requiere sustancias de referencia para la identificación (UNODC, 2016).

### Detalles Experimentales del GC-MS

Los parámetros operacionales específicos del equipo de GC-MS utilizado son cruciales para la reproducibilidad de los resultados. Estos se detallan en la Tabla N°1.

---

<sup>1</sup> Cromatografía de Gases-Masas (GC-MS). CAI Ciencias de la Tierra y Arqueometría, Unidad de Técnicas Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid. <https://cai.ucm.es/ciencias-tierra-arqueometria/tecnicas-geologicas/tecnicas/cromatografia-de-gases-masas-gc-ms/38/> [consulta: octubre 2024].

Parámetro Operacional	Valor/Descripción
Equipamiento	Cromatógrafo gaseoso PerkinElmer, modelo 680 con detector de masa modelo 600T
Solventes y Reactivos	Metanol calidad HPLC
Preparación de Muestras	10 mg de muestra disueltos en 5 ml de metanol calidad HPLC; sonicación por 5 minutos
Inyección	Manual, con jeringa de 1 µl
Temperatura del Inyector	300 °C
Gas Portador	Helio
Flujo del Gas Portador	1 ml/min (modo constante)
Retraso de Solvente	4.30 minutos
Tiempo Total de Corrida	20 minutos
Programa de Temperatura del Horno	Inicial: 60 °C (1 minuto); Rampa: 12 °C/min hasta 230 °C; Mantenimiento: 5 minutos a 230 °C
Modo de Operación del Detector	Scan
Rango de Masas	45 a 300 umas
Energía de Ionización	70 Ev
Temperatura de la Fuente de Ionización	230 °C

Tabla N° 1. Parámetros Operacionales del Cromatógrafo Gaseoso con Detector de Masa (GC-MS).

Resultados

Los análisis realizados sobre cinco muestras incautadas por las fuerzas de seguridad revelaron la presencia de diversas Nuevas Sustancias Psicoactivas (NPS) y mezclas, utilizando las metodologías descritas. Los hallazgos principales se resumen a continuación y se detallan en la Tabla N° 2.

Muestra	Descripción de la Muestra	Sustancia(s) Identificada(s)	Tiempo de Retención (min)	Pico Base (m/z)	Coincidencia (%)
1	Comprimido amarillo con forma y relieve similar a un átomo	4-clorometcatinona (4-CMC)	9.81	58+	92.6
2	Comprimido violeta con inscripción parcial "EN"	3-clorometcatinona (3-CMC)	9.84	58+	92.2



<b>3</b>	Material cristalino en bolsita con cierre hermético, con etiqueta "3-MMC Rocks"	3-metilmetcatinona (3-MMC)	9.94	58+	85
<b>4</b>	Comprimido rectangular gris y azul, con inscripción parcial "ER"	3,4-metilendioximetanfetamina (MDMA)	11.06	58+	No especificado
		M-ALPHA	14.58	58+	No especificado
<b>5</b>	Polvo rosa (tusi o cocaína rosa)	3,4-metilendioximetanfetamina (MDMA)	10.02	No especificado	91
		Ketamina	12.98	No especificado	93

*Tabla N°2. Sustancias Identificadas por GC-MS y sus características cromatográficas*

## Análisis detallado de las muestras

### Muestra 1

La Muestra 1, consistente en parte de un comprimido de color amarillo con forma y relieve similar a un átomo, que fue sometida a cromatografía en capa delgada de silicagel HF. Los resultados preliminares sugirieron la presencia de un principio químico derivado de anfetaminas. El análisis por GC-MS evidenció la presencia de un único principio activo que eluyó a 9.81 minutos, con un pico base de 58+. La comparación del espectro de masas obtenido con las bibliotecas teóricas arrojó una coincidencia del 92.6% con la 4-clorometcatinona (4-CMC). El cromatograma de la Muestra 1 se presenta en la Figura 1, su espectro de masas en la Figura N° 2, y la comparación del espectro con la 4-clorometcatinona (4-CMC) en la Figura N° 3.

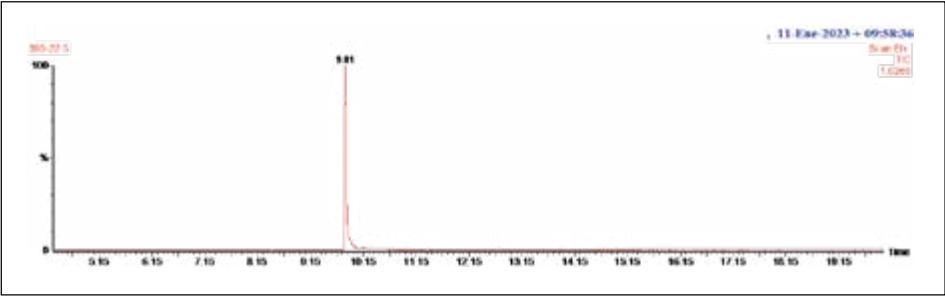


Figura N° 1.Cromatograma de la Muestra 1.

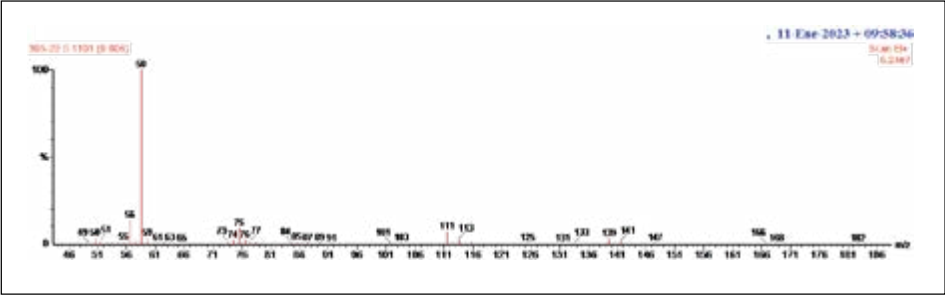


Figura N° 2. Espectro de masas de la Muestra 1.

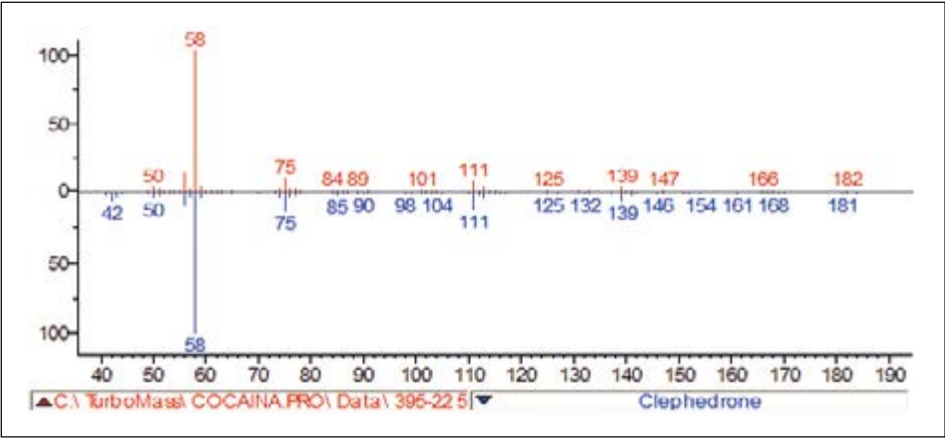


Figura N° 3. Comparación del espectro de la Muestra 1 y el de la 4-clorometcatinona (4-CMC).

Muestra 2

La Muestra 2, parte de un comprimido de color violeta con la inscripción parcial “EN” en bajo relieve, también mostró resultados preliminares de TLC que indicaron la posible presencia de un principio químico derivado de anfetaminas. Mediante GC-MS, se detectó un principio activo a los 9.84 minutos con un pico base de 58+. Este compuesto tuvo una coincidencia del 92.2% con la 3-clorometcatinona (3-CMC) al compararlo con las bibliotecas teóricas. La Figura N° 4 muestra el cromatograma de la Muestra 2, la Figura N° 5 su espectro de masas, y la Figura N° 6 la comparación del espectro con la 3-clorometcatinona (3-CMC).

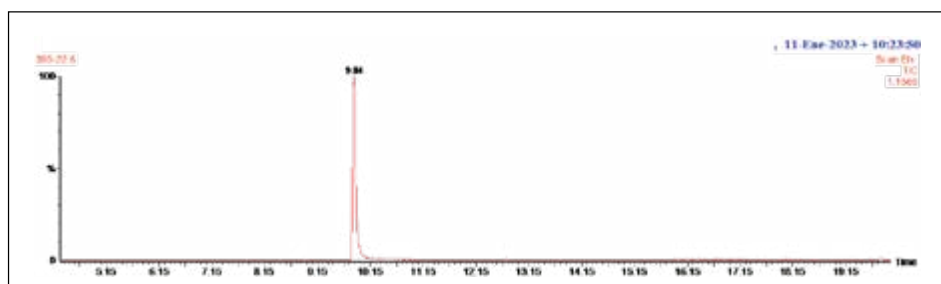


Figura N° 4. Cromatograma de la Muestra 2.

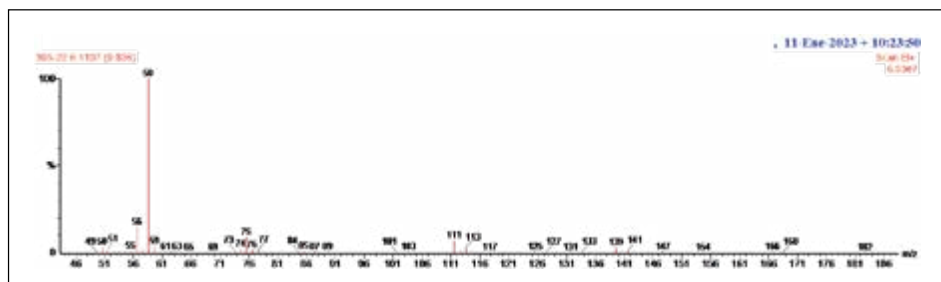


Figura N° 5. Espectro de masas de la Muestra 2.

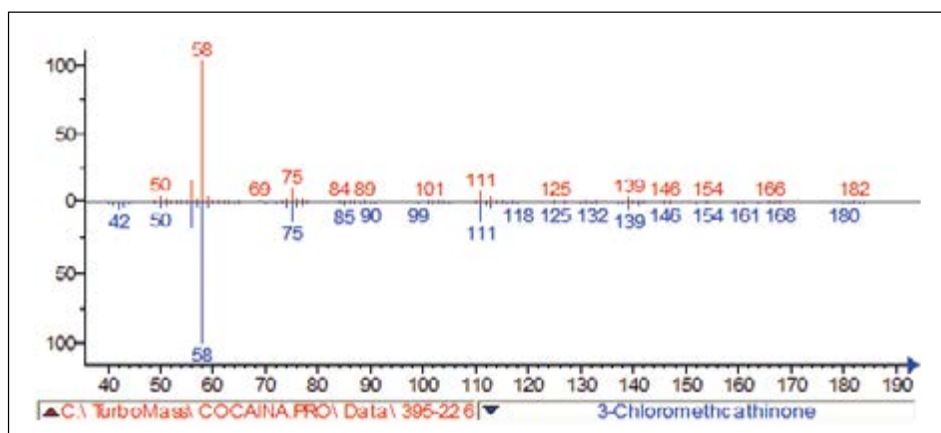


Figura N° 6. Comparación del espectro de la Muestra 2 y el de la 3-clorometcatinona (3-CMC).

### Muestra 3

La Muestra 3 consistía en material cristalino contenido en una bolsita con cierre hermético, etiquetada como “3-MMC Rocks Category: Catinones CAS Number 1246816-62-5”. Los resultados preliminares de TLC nuevamente sugirieron la presencia de un principio químico derivado de anfetaminas. El análisis por GC-MS evidenció que la muestra estaba compuesta por un principio activo detectado a los 9.94 minutos, con un pico base de 58+. La comparación con las bibliotecas teóricas mostró una coincidencia del 85% con la sustancia 3-metilmecatinona (3-MMC). El cromatograma de la Muestra 3 se presenta en la Figura 7, su espectro de masas en la Figura 8, y la comparación del espectro con la 3-metilmecatinona (3-MMC) en la Figura N° 9.

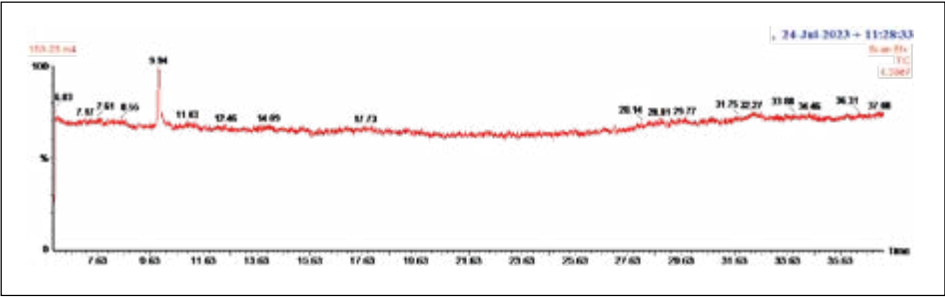


Figura N° 7. Cromatograma de la Muestra 3.

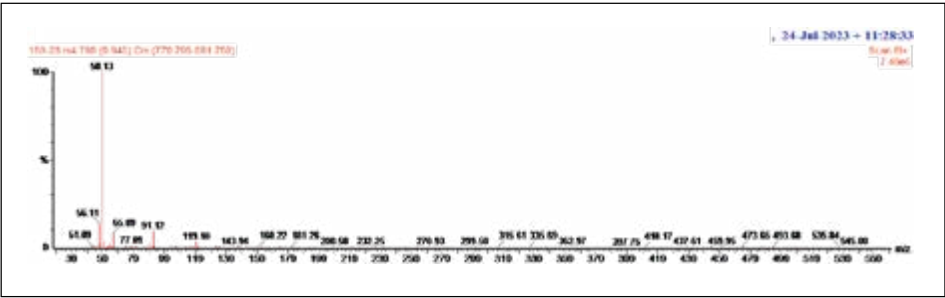


Figura N° 8. Espectro de masas de la Muestra 3.

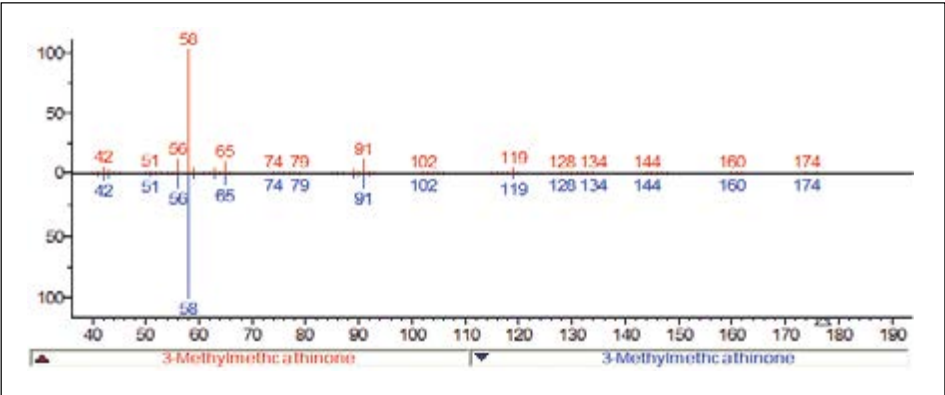


Figura N° 9. Comparación del espectro de la Muestra 3 y el de la 3-metilmetcatinona (3-MMC).

Las catinonas sintéticas, como las identificadas en las Muestras 1, 2 y 3 (4-CMC, 3-CMC y 3-MMC), han sido reportadas por la UNODC como Nuevas Sustancias Psicoactivas desde 2012 (UNODC, 2013). Suelen presentarse como polvos blancos, grisáceos o amarillentos, aunque también pueden encontrarse en otros colores y en forma de comprimidos (UNODC, 2012). Estas sustancias se consumen comúnmente por vía inhalatoria (esnifada) o por vía oral, con dosis que varían ampliamente y efectos agudos que se manifiestan en menos de 30 minutos (UNODC, 2016). Es importante señalar que algunas catinonas poseen

una estructura química similar a la de estimulantes de tipo anfetamínico, como la anfetamina, la metanfetamina y la MDMA, y pueden afectar el comportamiento, la actividad motriz, la regulación térmica, la capacidad cognitiva y la memoria (UNODC, 2016). Tanto la 3-CMC, la 4-CMC como la 3-MMC están incluidas en el Anexo I de la Ley 23.737 (Gobierno de Argentina, 2021). La Figura N° 10 presenta una comparación de las estructuras químicas de las catinonas sintéticas identificadas.

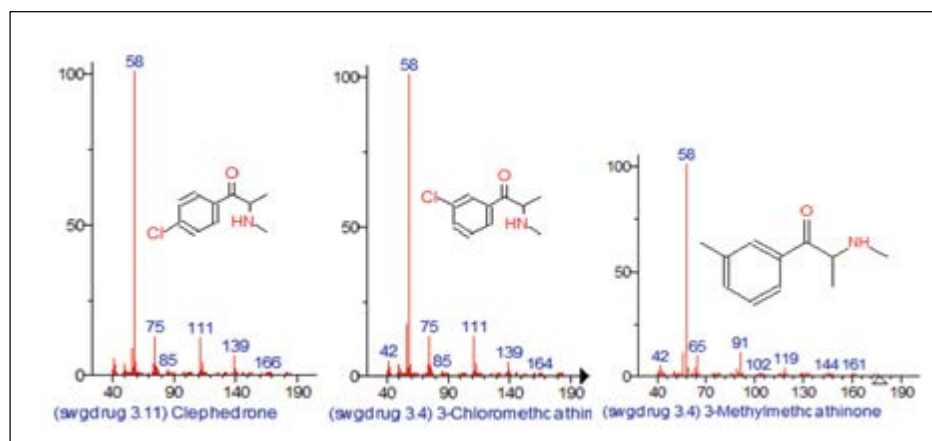


Figura N° 10. Comparación de las estructuras químicas de las sustancias identificadas.

## Muestra 4

La Muestra 4 consistía en parte de un comprimido rectangular de color gris y azul, con la inscripción parcial ER en bajorrelieve. Los análisis preliminares de TLC indicaron la posible presencia de un principio químico derivado de anfetaminas. El análisis por GC-MS identificó dos principios químicos distintos que eluyeron a 11.06 y 14.58 minutos, respectivamente. Ambos compuestos presentaron el fragmento 58+, aunque en proporciones diferentes. Al efectuar las comparaciones con las bibliotecas teóricas, se obtuvieron correlaciones que permitieron identificar al primer componente como 3,4-metilendioxitometanfetamina (MDMA) y al segundo como M-ALPHA. El cromatograma de la Muestra 4 se muestra en la Figura N° 11. Los espectros de masas de las sustancias eluidas a 11.06 y 14.58 minutos se presentan en las Figuras N° 12 y 13, respectivamente. La comparación del espectro del compuesto eluido a 11.06 minutos con el del MDMA se muestra en la Figura N° 14, y la comparación del espectro del compuesto eluido a 14.58 minutos con el del M-ALPHA en la Figura 15.

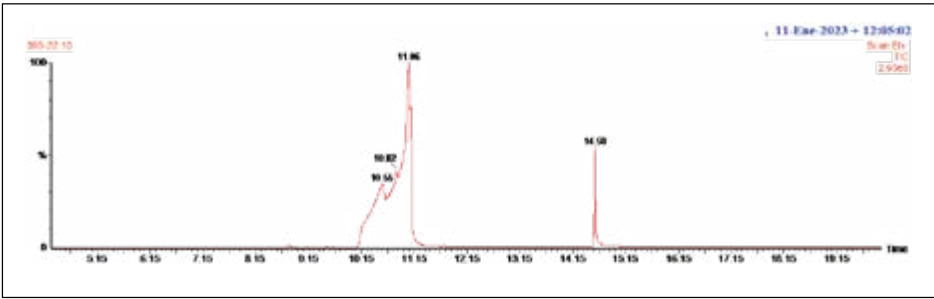


Figura N° 11. Cromatograma de la Muestra 4.

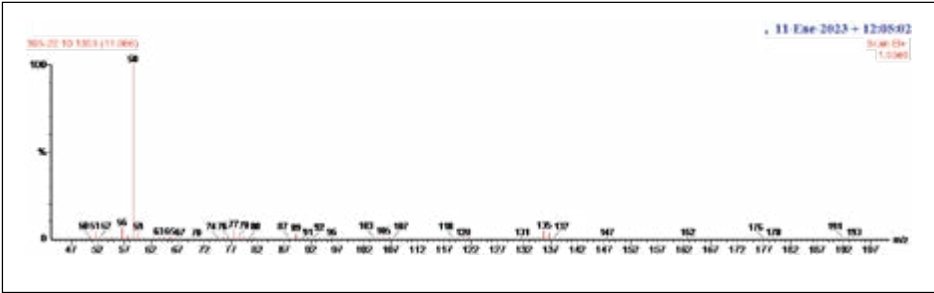


Figura N° 12. Espectro de masas de la sustancia con tiempo de retención 11.06minutos.

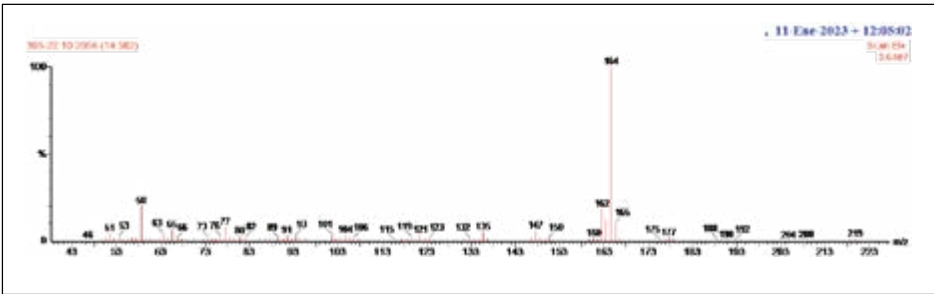


Figura N° 13. Espectro de masas de la sustancia con tiempo de retención 14.58 minutos.

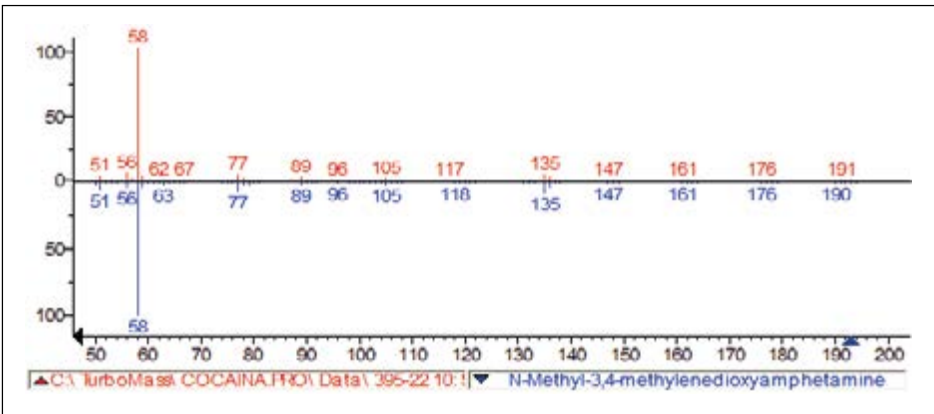


Figura N° 14. Comparación del espectro de masas del compuesto eluido a 11.06 minutos con el del 3,4-metilendioximetanfetamina (MDMA).

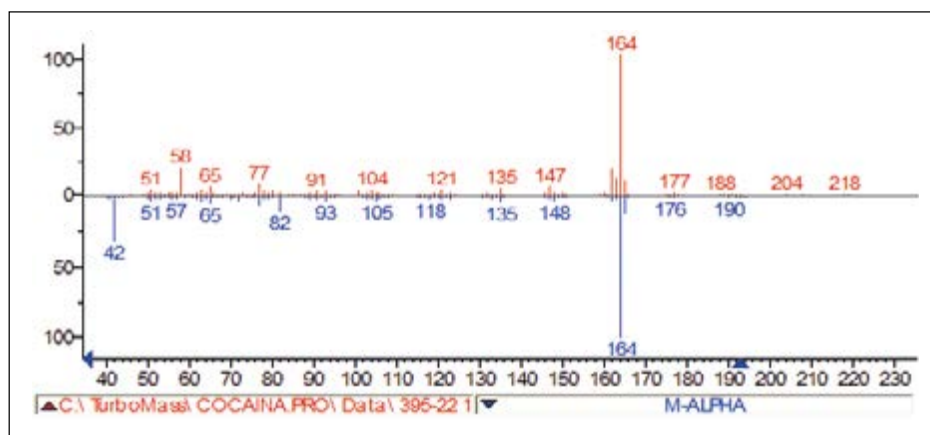


Figura N° 15. Comparación del espectro de masas del compuesto eluido a 14.58 minutos con el del M-ALPHA.

El éxtasis, o MDMA, es una sustancia estimulante de tipo anfetamínico que puede producir diversos síntomas según la dosis consumida, incluyendo aumento del estado de alerta y euforia, incremento de la frecuencia cardíaca, presión arterial, respiración y temperatura corporal, así como agitación, temblores, hipertensión, pérdida de memoria y alucinaciones (Holland, 2001; Müller & Borgwardt, 2018). El M-ALPHA, un isómero de posición del MDMA, también posee actividad estimulante y empatógena, habiéndose reportado su aparición en 2010 (United Nations Office on Drugs and Crime, 2019). La estructura del M-ALPHA en comparación con el MDMA muestra que la posición del grupo N más cerca del anillo lo diferencia de una fenetilamina, aunque sus efectos sean similares. La Figura 16 presenta una comparación de las estructuras químicas de la 3,4-metilendioximetanfetamina y el M-ALPHA.

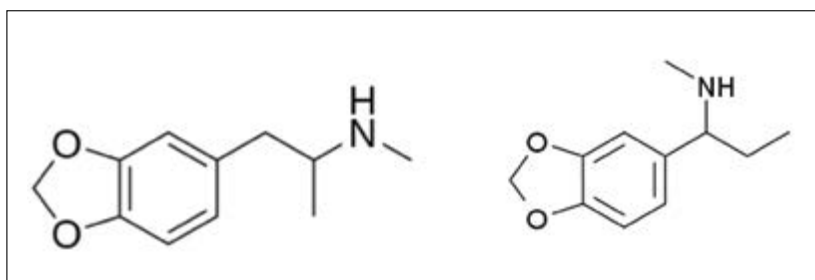


Figura N° 16. Comparación de las estructuras químicas de la 3,4-metilendioximetanfetamina y el M-ALPHA.

## Muestra 5

La Muestra 5, descrita como polvo rosa y comúnmente conocida como *tusi* o *cocaína rosa*, fue analizada preliminarmente por TLC, lo que sugirió la presencia de un principio químico derivado de anfetaminas y otro relacionado con la

ketamina. El análisis por GC-MS de esta muestra reveló una mezcla de dos compuestos. Se identificaron como MDMA y ketamina, con una coincidencia del 91% y 93%, respectivamente. Este resultado no se correspondió con la sustancia esperada, que generalmente se asocia con la 4-bromo-2,5-dimetoxifeniletamina (2C-B). Sin embargo, es frecuente que las sustancias incautadas comercializadas como 2C-B no contengan esta sustancia, sino mezclas que simulan sus efectos, como MDMA y ketamina. El cromatograma de la Muestra 5 se muestra en la Figura N° 17. Los espectros de masas de los compuestos eluidos a 10.02 y 12.98 minutos se presentan en las Figuras N° 18 y 19, respectivamente. La comparación del espectro de masas del primer compuesto con el del MDMA se muestra en la Figura N° 20, y la comparación del cromatograma del segundo compuesto con el de la ketamina en la Figura N° 21.

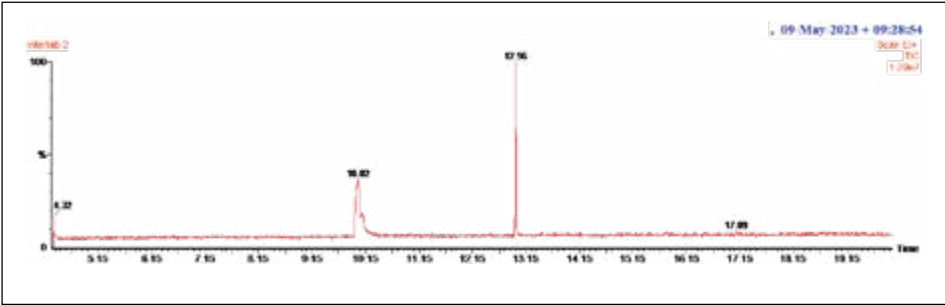


Figura N° 17. Cromatograma de la Muestra 5.

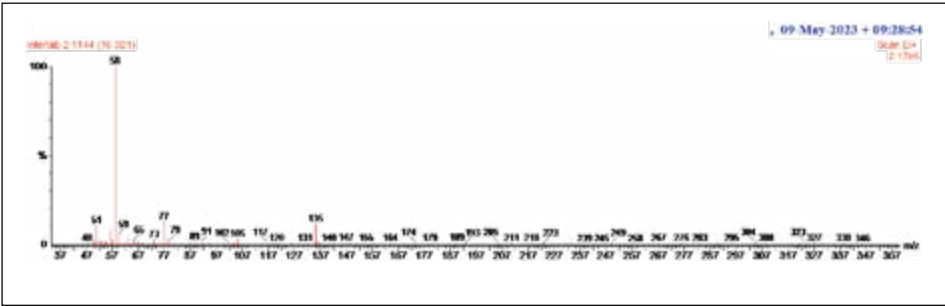


Figura N° 18. Espectro de masas del compuesto eluido a 10.02 minutos.

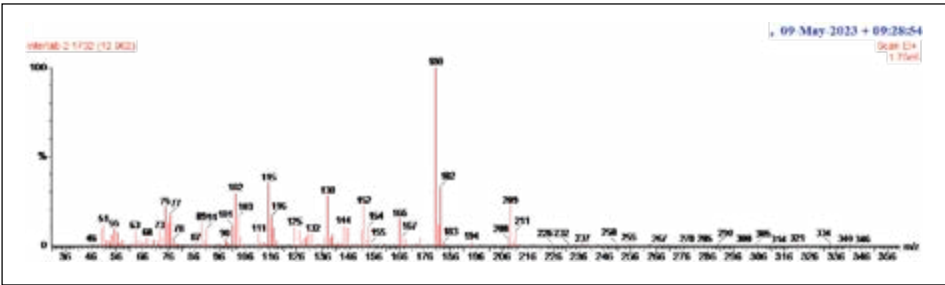


Figura N° 19. Espectro de masas del compuesto identificado a 12.98 minutos.



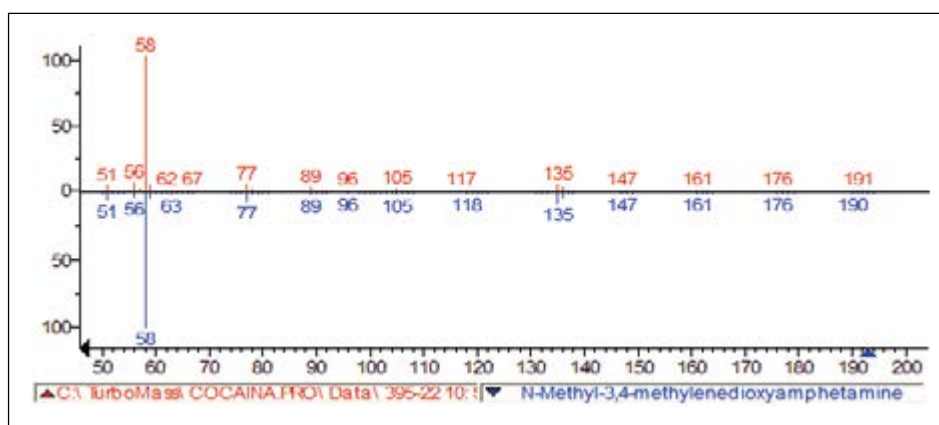


Figura N° 20. Comparación del espectro de masas del primer compuesto y el del MDMA.

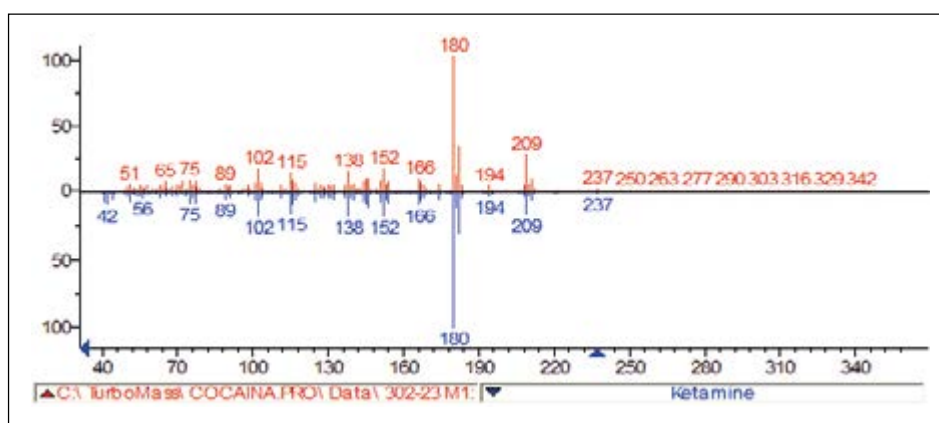


Figura N° 21. Comparación del cromatograma del segundo compuesto y el de la ketamina.

La ketamina, un derivado de la fenciclidina, se emplea en medicina como sedante, anestésico y analgésico. Su uso como droga de abuso se debe a sus efectos alucinógenos disociativos, que distorsionan las percepciones visuales y auditivas, y pueden producir sentimientos de aislamiento o disociación del entorno y del propio individuo (UNODC, 2013).

## Discusión

Los hallazgos de este estudio proporcionan información crucial sobre el panorama actual de las NPS y las adulteraciones en el mercado ilícito de drogas. La capacidad de la cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) para identificar tanto los componentes principales como las sustancias presentes en menor proporción, incluyendo adulterantes e isómeros, es fundamental para comprender el perfil químico completo de las drogas

incautadas (Núñez Bravo, 2022; Stashenko y Martínez, 2010). Este análisis exhaustivo genera inteligencia crítica para la salud pública y las fuerzas del orden, yendo más allá de la mera identificación de sustancias.

La identificación de múltiples catinonas sintéticas (4-CMC, 3-CMC, 3-MMC) en las Muestras 1, 2 y 3 no es un hecho aislado, sino que refleja una dinámica documentada del mercado ilícito de drogas. Las catinonas son  $\beta$ -ceto análogos de las anfetaminas, con una estructura química modificada que les ha permitido eludir los controles legales por un tiempo, sirviendo como sustitutos de sustancias tradicionales fiscalizadas (UNODC, 2013). Los productores ilícitos modifican rápidamente las estructuras químicas o crean mezclas engañosas para evadir la fiscalización y maximizar sus beneficios. Esta constante adaptación de los fabricantes de drogas ilegales presenta desafíos significativos para la identificación forense y la salud pública, ya que la ciencia forense se encuentra en una carrera constante para seguir el ritmo de estos cambios químicos (Peacock *et al.*, 2019).

Los casos de las Muestras 4 y 5 ejemplifican claramente esta dinámica de adaptación del mercado. La detección de MDMA junto con M-ALPHA, un isómero de posición que no estaba previamente fiscalizado, demuestra la sofisticación de las rutas de síntesis clandestina (UNODC, 2019). La GC-MS, con su alta especificidad, es una técnica de inmenso valor para distinguir entre estos compuestos estrechamente relacionados. El hallazgo de esta mezcla resalta la importancia de la identificación precisa para anticipar y contrarrestar la aparición de nuevas amenazas. Del mismo modo, la identificación de una mezcla de MDMA y ketamina en una sustancia comercializada como “tusi” (2C-B) es un hallazgo consistente con reportes de otras organizaciones y agencias en la región. La UNODC y organizaciones de reducción de daños en América Latina han documentado que el “tusi” rara vez contiene el 2C-B original, sino que es un cóctel de sustancias como MDMA y ketamina, entre otras (Vargas Mena & Díaz Moreno, 2023; UNODC, 2022).

Esta constante adulteración y la creación de nuevos análogos no son incidentes aislados; son una estrategia de mercado. El peligro de las drogas mal etiquetadas o adulteradas va más allá de la toxicidad inherente de una sustancia individual o de sus mezclas. Introduce un elemento impredecible que aumenta significativamente la probabilidad de efectos adversos para la salud, como el sinergismo de efectos y las sobredosis. Cuando los usuarios creen consumir una sustancia, pero ingieren otra, pueden no obtener el efecto esperado, lo que puede llevar a un aumento de la dosis o a un policonsumo de alto riesgo (Energy Control, s.f.; Vargas Mena & Díaz Moreno, 2023). Esta situación subraya el imperativo ético de la ciencia forense de proporcionar información precisa a las agencias de salud pública para que puedan implementar estrategias de reducción de daños e informar las respuestas médicas de emergencia.

Este estudio no es solo un reporte de casos; es un ejemplo concreto de cómo la inteligencia forense se traduce en acción de política pública y salud. Los hallazgos de las Muestras 1, 2, 3 y 4 fueron reportados al Sistema de Alerta

Temprana de Argentina (SAT), lo que tuvo consecuencias directas y tangibles. Por ejemplo, a raíz de la detección de 3-MMC, se emitió la Alerta SAT N° 1/2023 (Sedronar, 2023). De manera aún más significativa, la identificación del M-ALPHA condujo a su posterior inclusión en el Anexo I de la Ley 23.737, lo que amplía la capacidad legal del Estado para fiscalizar la sustancia (Gobierno de Argentina, 2021). Esto demuestra que el SAT actúa como un circuito de retroalimentación crucial, traduciendo el conocimiento científico en estrategias de salud pública accionables y cambios legislativos. El vínculo directo entre el descubrimiento forense y la acción política evidencia el “aporte” del SAT como un puente dinámico entre la ciencia y la política pública.

## Conclusión

La cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) se confirma como una técnica analítica relativamente sencilla y altamente efectiva para la identificación de los componentes en sustancias incautadas. Su capacidad para identificar compuestos relacionados dentro de una misma familia, como las catinonas, así como para separar mezclas de principios activos y detectar adulteraciones, la convierte en una herramienta indispensable en el ámbito forense (Núñez Bravo, 2022; Stashenko y Martínez, 2010).

Los resultados obtenidos en este estudio, que incluyen la identificación de diversas catinonas sintéticas, MDMA, M-ALPHA y la detección de adulteraciones en muestras como el tusi, han tenido un aporte directo y significativo en el Sistema de Alerta Temprana de Argentina (SAT). La comunicación de estos hallazgos al SAT condujo a la emisión de alertas específicas y a la incorporación de sustancias emergentes, como el M-ALPHA, en la legislación nacional (Gobierno de Argentina, 2021). Esta interconexión entre la investigación forense y la acción política subraya la eficacia del SAT como un mecanismo dinámico para adaptar las leyes y las respuestas de salud pública a la evolución del mercado de drogas ilícitas (Ministerio de Seguridad *et al.*, 2023; OAS/CICAD, 2019).

La función dual del SAT, que incluye alertar al sistema sanitario sobre la circulación de estas sustancias para mejorar la atención en casos de intoxicaciones agudas y, simultáneamente, informar a la comunidad para prevenir o reducir el consumo, representa una intervención integral de salud pública (Ministerio de Seguridad *et al.*, 2023; OAS/CICAD, 2019). Este enfoque proactivo busca mitigar los daños tanto de forma reactiva (tratando intoxicaciones) como preventiva (reduciendo el consumo). El SAT actúa como un circuito de retroalimentación crucial, traduciendo la inteligencia forense en estrategias de salud pública accionables.

Sin embargo, la naturaleza dinámica de las NPS, con su constante aparición y modificación estructural, implica que la ciencia forense y las respuestas de salud pública deben permanecer en un estado de adaptación continua. Este desafío persistente requiere una vigilancia constante y el desarrollo continuo de métodos analíticos. Las futuras líneas de investigación deberían enfocarse en medidas proactivas y en el desarrollo de análisis predictivos, más allá de

la identificación reactiva. Esto podría incluir la investigación de métodos de detección más rápidos y portátiles para su uso en campo, la expansión de bases de datos espectrales para incluir compuestos aún no caracterizados, y estudios sobre los efectos a largo plazo en la salud de las NPS específicas y sus mezclas. La colaboración internacional y el intercambio de información entre laboratorios forenses y sistemas de alerta temprana seguirán siendo esenciales para enfrentar eficazmente esta amenaza global.

## Bibliografía

- Burgueño, M. J.; Sánchez, S.; Castro, M. Á. y Mateos-Campos, R. (2019). Drogas y consumo de alto riesgo: patrón epidemiológico a partir de análisis de cabello en el contexto forense. *Revista Española de Salud Pública*, 93, e201911065. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11582838/>
- Energy Control (s.f.). *Catinonas sintéticas*. <https://energycontrol.org/sustancias/catinonas-sinteticas/>
- Fiscalía General de la Nación (2018). *Resolución 2023-21: Protocolo único de análisis de estupefacientes*. <https://www.mpf.gob.ar/procunar/files/2018/02/Resolución-2023-21-Protocolo-%C3%A1nico-de-An%C3%A1lisis-de-Estupefacientes.pdf>
- Gobierno de Argentina (2021). *Ley 23.737*. [https://www.oas.org/juridico/spanish/mesicic2\\_arg\\_fia\\_ley23737\\_sp.htm](https://www.oas.org/juridico/spanish/mesicic2_arg_fia_ley23737_sp.htm)
- Holland, J. (ed.) (2001). *Ecstasy: The complete guide: A comprehensive look at the risks and benefits of MDMA*. Park Street Press.
- Ministerio de Seguridad, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, & Secretaría de Políticas Integrales sobre Drogas de la Nación Argentina (25 de abril de 2023). *Resolución Conjunta 1/2023. Apruébese el Sistema de Alerta Temprana de Nuevas Sustancias Psicoactivas (SAT)*. Boletín Oficial de la República Argentina. <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/285094/20230425>
- Moffat, A. C.; Osselton, M. D. y Widdop, B. (eds.) (2004). *Clarke's Analysis of Drugs and Poisons* (3ª ed.). Pharmaceutical Press.
- Núñez Bravo, M. A. (2022). *Identificación de 3, 4-Metilendioximetanfetamina (MDMA) por cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (GC-MS)*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.
- Müller, F. y Borgwardt, S. (2018). The effects of 3,4-methylenedioxymethamphetamine on the brain: A review of the neuroimaging literature. *Current Pharmaceutical Design*, 24(15), 1736-1746. <https://doi.org/10.2174/1381612824666180412100913>
- OAS/CICAD (2019). *Sistema de Alerta Temprana de las Américas (SATA)*. Observatorio Interamericano sobre Drogas (OID). Recuperado de <https://www.oas.org/ext/es/seguridad/sistema-alerta-temprana/moduleid/6827/id/637/lang/2/controller/item/action/download>
- Peacock, A.; Bruno, R.; Gisev, N.; Degenhardt, L.; Hall, W.; Sedefov, R. et al. (2019). New psychoactive substances: challenges for drug surveillance, control, and public health responses. *Lancet (London, England)*, 394(10209), 1668-1684. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31668410/>
- Secretaría de Políticas Integrales sobre Drogas de la Nación Argentina (SEDRONAR) (2023). *Alerta SAT N° 1/2023: Hallazgo de 3-MMC*. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe\\_alerta\\_sat\\_ndeg1-\\_3-mmc\\_2023\\_2.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_alerta_sat_ndeg1-_3-mmc_2023_2.pdf)
- Stashenko, E. E. y Martínez, J. R. (2010). Algunos aspectos prácticos para la identificación de analitos por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. *Scientia Chromatographica*, 2(1), 29-47.

United Nations Office on Drugs and Crime (2019). World drug report 2019. United Nations. <https://wdr.unodc.org/wdr2019/>

UNODC (febrero de 2013). The challenge of new psychoactive substances - A Report from the Global SMART Programme. United Nations Office on Drugs and Crime. <https://www.unodc.org/unodc/en/scientists/the-challenge-of-new-psychoactive-substances---global-smart-programme.html>

UNODC (2016). *Métodos recomendados para la identificación y el análisis de las catinonas sintéticas en los materiales incautados*. Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito. [https://www.unodc.org/documents/scientific/STNAR49\\_Synthetic\\_Cathinones\\_S.pdf](https://www.unodc.org/documents/scientific/STNAR49_Synthetic_Cathinones_S.pdf)

UNODC (diciembre de 2022). "Tuci", "agua feliz", "leche en polvo k" – ¿Se está expandiendo el mercado ilícito de ketamina? *Global SMART Update*, 27. [https://www.unodc.org/documents/scientific/GlobalSMART\\_27\\_ES.pdf](https://www.unodc.org/documents/scientific/GlobalSMART_27_ES.pdf)

Universidad Complutense de Madrid (s.f.). *Diseño de la investigación: Estudios descriptivos*. [https://ori.hhs.gov/education/products/sdsu/espanol/res\\_des1.htm](https://ori.hhs.gov/education/products/sdsu/espanol/res_des1.htm)

---

**Cita sugerida:** Pochettino, A. A. y Sorello, M. V. (2025). La identificación de nuevas sustancias psicoactivas mediante cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas: un aporte al Sistema de Alerta Temprana Argentino. *Minerva. Saber, arte y técnica*, 9(2). Instituto Universitario de la Policía Federal Argentina (IUPFA), pp. 128-147.

---

#### \*POCHETTINO, ARÍSTIDES ÁNGEL

Dr. Ciencias Biológicas. Bioq. Especialista en Cs. de los Alimentos. Diplomado Superior en Toxicología Forense y Química Legal. Profesor Adjunto Área Toxicología. Departamento de Ciencias de los Alimentos y del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas (Universidad Nacional de Rosario).

#### \*\*SORELLO, MARÍA VIRGINIA

Lic. en Química Farmacéutica, Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Diplomada en Criminología y Criminalística. Diplomada en Producción Industrial de Medicamentos. Diplomada en Plantas Medicinales y Medicamentos Fitoterápicos.