



**Somos calidad,
somos USC**

Aplicación de técnicas cromatográficas y espectrometría de masas para la identificación y cuantificación de catinonas sintéticas en muestras incautadas: Una revisión sistemática

**Autor:
Esteban Bravo Rios**

**Título por el que opta:
Químico Farmacéutico**

**Director:
Dennis Mauricio Ocampo Chaguendo**

Grupo de Investigación: GIEMA Grupo de Investigación en Electroquímica y Medio Ambiente / QUIBIO Grupo de Investigación en Química y Biotecnología

Línea de Investigación: Alimentos y fármacos / Desarrollos tecnológicos y biotecnológicos

**Facultad de Ciencias Básicas
Programa de Química Farmacéutica
Universidad Santiago de Cali
Santiago de Cali - Colombia
2025**

IMPACTOS

Relacione el (los) impacto(s) que presentó el Trabajo de Grado según los siguientes criterios:

IMPACTO	PRODUCTO	BENEFICIARIO(S)
Económico	N/A	N/A
Responsabilidad social	Respuesta oportuna a identificación e incautación de catinonas sintéticas	Comunidad científica, entes reguladores y comunidad social.
Científico	Revisión sistemática de aplicaciones de técnicas analíticas	Comunidad científica y entes reguladores.
Indicadores de Gestión	N/A	N/A
Tecnológico	Investigación y aplicaciones	Comunidad científica interesada y entes reguladores.
Técnico	Aplicación de metodologías analíticas para identificación y cuantificación.	Laboratorios de investigación y entes reguladores.
Ambiental	Reducción de posibles problemas de salud pública	Entes reguladores y comunidad social.
Social	Disminución de tráfico y consumo de catinonas sintéticas	Entes reguladores y comunidad social.
Cultural	N/A	N/A

*Incluir los productos obtenidos derivados de la investigación como: apropiación social del conocimiento, generación de nuevo conocimiento entre otros.

APLICACIÓN DE TÉCNICAS CROMATOGRÁFICAS Y ESPECTROMETRÍA DE MASAS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE CATIONONAS SINTÉTICAS EN MUESTRAS INCAUTADAS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA.

Esteban Bravo Rios¹ (esteban.bravo01@usc.edu.co)

¹Grupo de Investigación GIEMA Grupo de Investigación en Electroquímica y Medio Ambiente / QUIBIO Grupo de Investigación en Química y Biotecnología, Programa de Química farmacéutica. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Santiago de Cali. Campus Pampalinda Calle 5 # 62-00. Santiago de Cali. Colombia

RESUMEN

Las cationonas sintéticas o "sales de baño", son potentes derivados de la cationona natural del arbusto khat. Surgieron como alternativas legales a las anfetaminas y el MDMA, aprovechando modificaciones en su estructura química para evadir regulaciones internacionales. Debido a su constante evolución molecular y la aparición de isómeros posicionales (como 3-CMC y 4-CMC), su detección representa un desafío crítico para la toxicología forense. La metodología de esta revisión siguió el protocolo PRISMA, analizando 16 estudios seleccionados de las bases de datos científicas: Nature, Oxford, PubMed, Scielo, ScienceDirect, Springer nature, Taylor & Francis y realizando una búsqueda gris en la base de datos de Google Scholar en el intervalo de tiempo desde 2019 a 2025. Se destaca que la cromatografía de gases (GC) y la cromatografía de líquidos (HPLC), acopladas a la espectrometría de masas (MS), son las técnicas de referencia debido a su alta sensibilidad y capacidad de identificación molecular. Aunque estas herramientas permiten analizar mezclas complejas y muestras impregnadas, enfrentan limitaciones como el alto costo de los equipos, la necesidad de personal especializado y la dificultad para distinguir isómeros con fragmentaciones idénticas.

Palabras clave: *Nuevas sustancias psicoactivas, metodología analítica, HPLC, GC-MS*

APPLICATION OF CHROMATOGRAPHIC TECHNIQUES AND MASS SPECTROMETRY FOR THE IDENTIFICATION AND QUANTIFICATION OF SYNTHETIC CATHINONES IN SEIZED SAMPLES: A SYSTEMATIC REVIEW.

ABSTRACT

Synthetic cathinones or "bath salts", are powerful derivatives of the natural cathinone of the khat bush. They emerged as legal alternatives to amphetamines and MDMA, taking advantage of changes in their chemical structure to circumvent international regulations. Due to their constant molecular evolution and the emergence of positional isomers (such as 3-CMC and 4-CMC), their detection represents a critical challenge for forensic toxicology. The methodology of this

review followed the PRISMA protocol, analyzing 16 studies selected from scientific databases: Nature, Oxford, PubMed, Scielo, ScienceDirect, Springer nature, Taylor & Francis and performing a grey search in the Google Scholar database under the inclusion and exclusion criteria and in the time interval from 2019 to 2025. Gas chromatography (GC) and liquid chromatography (HPLC), coupled with mass spectrometry (MS), are the reference techniques due to their high sensitivity and molecular identification capacity. Although these tools allow complex mixtures and impregnated samples to be analysed, they face limitations such as the high cost of equipment, the need for specialized personnel and the difficulty in distinguishing isomers with identical fragmentations.

Keywords: *New psychoactive substances, analytical methodology, HPLC, GC-MS*

HIGHLIGHTS

1. Las metodologías analíticas cromatográficas y espectrometría de masas demostraron eficazmente la identificación y cuantificación de catinonas sintéticas en muestras incautadas, así como su uso preliminar para la detección oportuna de estas nuevas sustancias psicoactivas.
2. Debido a la aparición o síntesis de diversos derivados de la catinona se han implementados o acoplado metodologías analíticas más complejas para su identificación y cuantificación como espectrometría de masas por tiempo de vuelo con movilidad iónica atrapada (TIMS-TOFMS) y Espectroscopia Raman de Resonancia en el UV Profundo (DUV-RRS).
3. Se siguen presentado dificultades al momento de realizar un análisis exacto de catinonas sintéticas y sus derivados por su facilidad al producirse o sintetizarse nuevos derivados por eso el estudio y aplicación de nuevas metodologías, debido a esto los entes y organizaciones reguladores siguen con investigaciones para identificar y cuantificar estas nuevas sustancias psicoactivas.

1. INTRODUCCIÓN

La catinona es un alcaloide natural presente en las hojas del khat (*Catha edulis*), un arbusto perenne de crecimiento lento originario de Etiopía y el este de África. Su consumo se remonta al siglo X, época en la que se masticaban las hojas frescas hasta formar una masa que se almacenaba en las mejillas y encías para absorber sus compuestos activos. Además de la masticación, otras formas tradicionales de consumo incluían la preparación de infusiones o brebajes (Garrido del Moral, 2017).

A partir de este precursor, surgieron las catinonas sintéticas como una alternativa legal al 3,4-metilendioximetanfetamina (MDMA) alrededor del año 2003. Químicamente, estos compuestos son β -ceto análogos de la anfetamina, es decir, son fenetilaminas que se diferencian únicamente por poseer un grupo funcional ceto en el carbono beta de la cadena amino-alquílica. Debido a su similitud estructural con las anfetaminas y el MDMA, actúan aumentando la concentración de dopamina, serotonina y noradrenalina en el espacio sináptico generando efectos estimulantes que incluyen excitación, agitación y, en ciertos casos, alucinaciones comparables a las producidas por el LSD (Garrido del Moral, 2017).

Aunque se conocían diversos análogos sintéticos, su uso recreativo no se masificó hasta que se implementaron políticas restrictivas, como la Convención Única de 1961 y el Convenio sobre Sustancias Psicotrópicas de 1971. Al ser prohibidas la mayoría de las anfetaminas e incluidas en la Lista I —reservada para sustancias de alto riesgo sin uso médico, el mercado ilícito comenzó a emplear alternativas "legales" para sustituir los productos fiscalizados (Lugo-Vargas et al., 2020).

Tras las medidas de la Convención de las Naciones Unidas de 1988, las catinonas sintéticas ganaron popularidad global, especialmente durante la primera década del siglo XXI, presentándose como sustitutos legales del MDMA. Para evadir el control judicial, se sintetizaron sustancias con baja analogía estructural respecto a las prohibidas y se comercializaron en tiendas virtuales bajo etiquetas engañosas como "sales de baño", "abono para plantas" o "sustancias de investigación", acompañadas de la advertencia "no apto para consumo humano" (Lugo-Vargas et al., 2020).

En el contexto colombiano, el Consejo Nacional de Estupefacientes estableció en 2016 el Sistema de Alertas Tempranas (SAT), bajo la supervisión del Observatorio de Drogas de Colombia (ODC), para monitorear la dinámica de estas sustancias. Este mecanismo ha identificado la aparición de drogas inéditas en el país, como la metilona y la etilona, detectadas por primera vez en 2013. La irrupción de estas drogas emergentes impone desafíos críticos para la toxicología clínica y analítica, ya que la velocidad con la que aparecen nuevas sustancias psicoactivas compromete la sincronía entre el marco judicial y el respaldo técnico-científico necesario para su regulación (ODC, 2017b).

Sin embargo, en respuesta para contrarrestar el comercio y distribución de estas nuevas drogas es necesario desarrollar herramientas analíticas que permitan la identificación oportuna de estas sustancias con el fin de agilizar la entrega de resultados del análisis fisicoquímico de la droga (González-Hernández, 2023). Para este tipo de identificación se destacan algunas metodologías analíticas como espectroscopia infrarroja (IR), espectroscopia de resonancia

magnética nuclear, espectrometría de masas y técnicas cromatográficas. Dada la variedad de métodos existentes, los especialistas forenses deben evaluar cuidadosamente qué técnica emplear. Esta decisión está condicionada por los recursos disponibles en el laboratorio y las capacidades técnicas del análisis, tales como la exactitud y la precisión del procedimiento. (Joshi & Sisco, 2023)

Entre estas, la cromatografía comprende un conjunto de métodos analíticos fundamentales para identificar, separar y purificar sustancias. Debido a su alta eficiencia, su aplicación es indispensable tanto en el ámbito científico experimental como en los procesos de producción industrial. La cromatografía separa mezclas de compuestos haciendo pasar una fase móvil sobre una fase estacionaria. Durante este recorrido, los compuestos se adhieren a la fase estacionaria. Como cada sustancia interactúa de forma distinta, se mueven a diferentes velocidades, permitiendo su separación. (Pássaro Carvalho et al., 2016) Para el caso de la cromatografía de gases se utiliza un gas inerte como el helio o nitrógeno para transportar la mezcla a través de columnas cerradas. Estas columnas pueden estar compactadas con material (rellenas) o consistir en tubos capilares de gran longitud (hasta 100 m). (Pássaro Carvalho et al., 2016).

Por otra parte, la espectrometría de masas es una técnica analítica basada en la separación de átomos o moléculas según sus diferencias de masa. Este proceso se ejecuta mediante cuatro etapas fundamentales como: La ionización generalmente a través del bombardeo con electrones para dotar de carga a las partículas; posteriormente, estos iones son acelerados mediante un campo eléctrico y dispersados en función de su relación masa/carga; finalmente, los iones impactan en un detector que transforma la señal en una corriente eléctrica para su análisis. (Payá, 2006)

De esta forma, la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas es una metodología analítica que se comprende de otras dos para la identificación y cuantificación de compuestos en mezclas; esta técnica analítica tiene la ventaja de que es aplicable a materiales volátiles, se pueden realizar análisis multicomponentes, dependiendo el caso tiene una alta sensibilidad, permite ilustrar espectros notablemente sencillos, generalmente únicos y con frecuencia fácilmente interpretables. Pero además de sus ventajas posee una notable desventaja el cual es el costo del equipo. (Gomis Yagües, 2008) También en la columna de cromatografía diferentes isómeros pueden salir al mismo tiempo, lo que hace imposible separarlos físicamente antes de que lleguen al espectrómetro de masas. (Frison et al., 2021) Y debido a la incapacidad de la GC-MS para distinguir ciertas estructuras químicas por sí sola, los laboratorios a menudo deben recurrir a otros métodos para confirmar la estructura exacta como espectroscopia infrarroja (FTIR) o Resonancia magnética nuclear (RMN).

Esta revisión sistemática examina las diversas metodologías de detección de catinonas sintéticas en muestras incautadas, con el propósito de fortalecer el control de sustancias. El estudio trasciende el análisis técnico al proponerse como una herramienta de identificación oportuna y rápida respuesta que benefician el sistema judicial y así contrastar los beneficios y limitaciones de cada metodología, consolidándose como un recurso práctico para orientar la labor de especialistas en toxicología, medicina legal y diagnóstico clínico en sus procesos de toma de decisiones, al analizar las aplicaciones de técnicas cromatográficas y espectrometría de masas para la identificación y cuantificación de catinonas sintéticas en muestras incautadas.

2. METODOLOGÍA

El presente documento se desarrolló dentro del enfoque de revisión sistemática, en el cual se compiló, analizó y sintetizó la información científica existente sobre las aplicaciones de técnicas cromatográficas y espectrometría de masas para la identificación y cuantificación de catinonas sintéticas en muestras incautadas.

Para garantizar la calidad científica de esta revisión sistemática, se siguieron las directrices del protocolo PRISMA (Elementos de Reporte Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis), que proporcionan una metodología transparente y reproducible para identificar, seleccionar, evaluar y sintetizar literatura científica.

2.1. Búsqueda bibliográfica y criterios de inclusión y exclusión.

2.1.1 Búsqueda bibliográfica.

Para el presente documento se realizó la búsqueda bibliográfica de artículos en las siguientes bases de datos: Nature, Oxford, PubMed, Scielo, ScienceDirect, Springer nature, Taylor & Francis. Además de búsqueda de literatura gris en la base de datos de Google Scholar.

Además, se realizó una búsqueda bibliográfica con conectores booleanos como: AND, OR y NOT priorizando términos vinculados con metodologías analíticas para la aplicación de técnicas cromatográficas y espectrometría de masa para la identificación y cuantificación de catinonas sintéticas en muestras incautadas. También se utilizaron las palabras claves en inglés y español como: identificación, cuantificación, cromatografía, espectrometría de masa, catinonas sintéticas e incautado.

2.1.2 Criterios de inclusión

Se seleccionó una antigüedad de los estudios de 5 años. Seleccionando artículos publicados en los años desde 2019 a 2025, además de incluir artículos en español e inglés. Además de incluir artículos que tengan texto o información completa y artículos que incluyan metodologías analíticas para la identificación y cuantificación de catinonas sintéticas.

2.1.3 Criterios de exclusión

Se excluirán artículos de revisión, resúmenes y tesis, artículos que no estén disponibles en texto completo con datos insuficientes, publicaciones en idiomas diferentes al español y al inglés, artículos que no evalúan o usen metodologías analíticas como cromatografía y espectrometría de masas, artículos que evalúan drogas o sustancias diferentes a catinonas sintéticas y artículos que incluyan evaluaciones en matrices biológicas.

2.2 Selección de estudios y extracción de información

La información se extrajo y organizo en el software de Microsoft Excel, en donde se tuvo en cuenta los siguientes aspectos de cada estudio: Autores y año de publicación, titulo, tipo de articulo, resumen, metodología empleada, resultados y ventajas y/o limitaciones.

3. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

La siguiente revisión sistemática incluyó un total de 16 estudios científicos, seleccionados mediante el modelo prisma, adaptado en la siguiente figura, los cuales se incluyeron estudios donde se aplicaron metodologías cromatográficas y la espectrometría de masas para la identificación y cuantificación de catinonas sintéticas y sus derivados en muestras incautadas. Para la búsqueda de los estudios científicos relacionados se contó con un total de 8 bases de datos previamente mencionada de las cuales se realizó la búsqueda según los términos de búsqueda, donde se obtuvieron un total de 755 estudios científicos. De esta búsqueda se identificaron los documentos duplicados y se removieron un total de 218 estudios científicos. Seguidamente se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión para dejar un total de 106 estudios científicos para los cuales se les realizó una última revisión identificando estudios completos, con información completa y que si correspondiera con el propósito de la revisión sistemática (Figura 1).

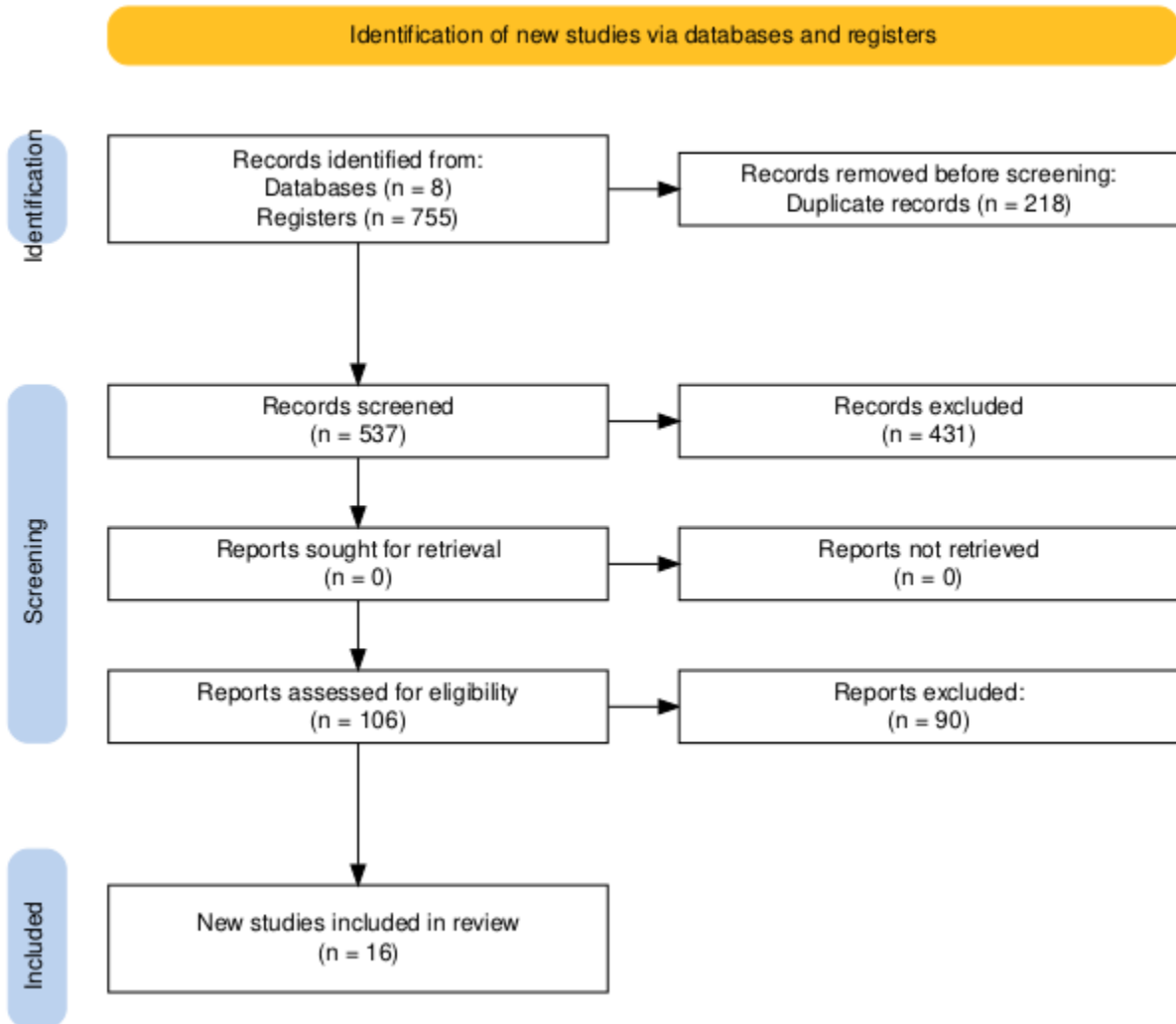


Figura 1. Diagrama PRISMA

#	Título	Tipo de estudio	Resumen	Metodología	Resultados	Ventajas y/o limitaciones	Referencias
1	Analytical Characterization of 3-MeO-PCP and 3-MMC in Seized Products and Biosamples: The Role of LC-HRAM-Orbitrap-MS and Solid Deposition GC-FTIR	Artículo de investigación	El estudio analiza la identificación de los isómeros posicionales 3-MeO-PCP y 3-MMC en muestras incautadas y biológicas. Aunque la técnica LC-HRAM-Orbitrap-MS determinó con precisión las fórmulas elementales y detectó numerosos metabolitos en sangre y orina, no logró distinguir entre isómeros debido a comportamientos espectrométricos similares. En contraste, el uso de SD-GC-FTIR permitió una diferenciación inequívoca de los isómeros gracias a la comparación con bibliotecas de espectros infrarrojos. La combinación de ambas técnicas resultó fundamental para lograr una caracterización estructural completa y confirmar el consumo de estas sustancias específicas, incluso sin estándares de referencia.	Dos polvos blancos, contenidos en pequeñas bolsas, fueron incautados por la policía a dos sujetos que más tarde ingresaron en dos departamentos de emergencia cercanos debido a una discapacidad neurológica. Para la determinación analítica, se disolvió 1 mg de cada producto incautado en 1 mL de metanol. Se inyectó en los sistemas GC-MS y SD-GC-FTIR aproximadamente 1 µL de una solución metanol diluida en un tenedor, mientras que en el sistema LC-Orbitrap-MS se inyectaron 10 µL de una fase móvil A (agua con 0,05 % de ácido fórmico y 10	Se identificaron con éxito 3-MMC y 3-MeO-PCP en las muestras incautadas. Mediante LC-HRAM-Orbitrap-MS se determinaron sus fórmulas elementales exactas. Finalmente, la técnica SD-GC-FTIR permitió distinguir estos isómeros específicos de sus variantes posicionales ("2-" o "4-") gracias a la alta coincidencia con patrones espectrales infrarrojos.	La ventaja del LC-HRAM-Orbitrap-MS es su alta sensibilidad para detectar metabolitos, pero su limitación es la incapacidad de distinguir isómeros posicionales. Por el contrario, el SD-GC-FTIR ofrece una resolución estructural superior, permitiendo diferenciar inequívocamente isómeros mediante librerías espectrales, incluso sin disponer de estándares de referencia iniciales.	Frison et al., 2021

mM de formiato de amonio) (10:90, v/v).

2	Characterization of a recently detected halogenated aminorex derivative: para-fluoro-4-methylaminorex (4'F-4-MAR)	Artículo de investigación	El estudio caracteriza el 4'F-4-MAR, una nueva sustancia psicoactiva detectada recientemente. La investigación demuestra cómo los productores de drogas están aplicando las modificaciones químicas usadas en las catinonas sintéticas al esqueleto de la aminorex para crear nuevos estimulantes que	Se analizó una muestra de un consumidor anónimo mediante espectrometría de masas de alta resolución (UHPLC-HRMS) y resonancia magnética nuclear bidimensional (RMN, experimentos COSY y HSQC). También se emplearon técnicas	Se confirmó la estructura del para-fluoro-4-metilaminorex mediante la identificación de un ion en m/z 195.0933 y fragmentos específicos como el ion fluorotropilio. Los experimentos de	La combinación de HRMS y RMN permite una identificación inequívoca de la estructura química, superando la ambigüedad de la masa exacta sola. Una limitación es que la fragmentación por MS no siempre	Fabregat-Safont et al., 2019
---	---	---------------------------	---	--	---	---	------------------------------

evadan las restricciones legales actuales

de cromatografía de gases (GC-MS) y espectroscopía infrarroja (FTIR) para una caracterización química completa.

RMN permitieron establecer con precisión la ubicación del grupo metilo en la posición 4 y del átomo de flúor en el anillo aromático

basta para situar sustituyentes en el anillo, requiriendo técnicas de RMN más complejas y costosas

3

Crystal structure and analytical profile of 1,2-diphenyl-2-pyrrolidin-1-ylethanone hydrochloride or 'a-D2PV': a synthetic cathinone seized by law enforcement, along with its diluent sugar, myo-inositol

Artículo de investigación

Este estudio caracteriza un paquete de drogas decomisado que contenía la catinona sintética α -D2PV y el azúcar mio-inositol. Mediante cristalografía de rayos X, se determinaron sus estructuras moleculares, destacando interacciones por puentes de hidrógeno y apilamiento π - π que estabilizan la red cristalina de ambas sustancias.

Se emplearon técnicas analíticas estándar como GC-MS (cromatografía de gases-espectrometría de masas) y FT-IR (espectroscopía infrarroja) para la identificación inicial. Posteriormente, se seleccionaron monocristales para realizar difracción de rayos X a 100 K, utilizando radiación Cu K α y software especializado como CrysAlis PRO para el procesamiento de datos.

Se confirmó la presencia de α -D2PV clorhidrato hemihidratado y mio-inositol. La catinona mostró un patrón de fragmentación de MS consistente con derivados de pirrolidinofenona. El inositol cristalizó con dos moléculas independientes en la unidad asimétrica, permitiendo por primera vez caracterizar ambos componentes de una muestra policial.

el análisis por GC-MS mostró una degradación térmica de la catinona en el puerto de inyección, generando picos adicionales que complican ligeramente el espectro.

Wood et al., 2024

4	Detection of the synthetic cathinone N, N-dimethylpentylone in seized samples from prisons	Artículo de investigación	El estudio reporta la primera detección de la catinona sintética N, N-dimetilpentilona en siete muestras de polvo incautadas en prisiones de Escocia entre enero y julio de 2023. Esta sustancia, un estimulante de baja potencia con potencial de abuso, se encontró pura o mezclada con benzodiazepinas y cannabinoides sintéticos.	Se analizaron polvos incautados mediante GC-MS para identificación primaria y cálculo de áreas de pico. Las primeras detecciones se confirmaron ortogonalmente usando UPLC-QTOF-MS para determinar la masa exacta y RMN para caracterizar la estructura molecular, comparando finalmente los resultados con estándares de referencia certificados	Se identificó dimetilpentilona en siete muestras de tres prisiones distintas. En cuatro casos, apareció mezclada con desalkilgidazepam o cannabinoides como MDMB-INACA. Los análisis químicos revelaron fragmentos de masa consistentes (m/z 100, 135, 149) y confirmaron que la sustancia se encontraba en forma de sal protonada.	El uso de técnicas avanzadas (RMN, QTOF) garantiza una identificación química inequívoca.	Norman et al., 2024
5	Differentiation of chloromethcathinone (CMC) isomers: The new kid on the block after methylmethcathinone (MMC) control in the Netherlands	Artículo de investigación	El estudio aborda la dificultad de identificar isómeros de CMC (2-, 3- y 4-CMC), que han ganado popularidad tras la prohibición de la 3-MMC. Se descubrió que la 4-CMC puede presentarse en forma hidratada, lo que altera sus firmas espectrales y complica su detección rutinaria	Se emplearon técnicas de GC-MS, FTIR y espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR). Para la diferenciación de isómeros, se desarrollaron modelos quimiométricos de Análisis	Los modelos de LDA lograron predecir correctamente la forma isomérica en 50 muestras reales de casos forenses ⁶⁶⁶⁶ . Se confirmó que la 4-CMC hidratada se convierte en su forma anhidra al	las técnicas espectroscópicas directas (FTIR, NIR) producen señales compuestas en muestras mezcladas con adulterantes, lo que puede llevar a predicciones erróneas si no se	Van Beek et al., 2024

6

Electrochemical detection of the synthetic cathinone 3,4-methylenedioxypropylamphetamine using carbon screen-printed electrodes: A fast, simple and sensitive screening method for forensic samples

Artículo de investigación

Este trabajo presenta, por primera vez, la detección electroquímica de la catinona sintética MDPV. Se utilizó un electrodo de carbono impreso (SPE-Gr) y voltamperometría de pulso diferencial adsorbtiva (AdSDPV). El método resultó ser una herramienta de cribado rápida, económica y sensible para muestras forenses incautadas.

Se empleó la técnica AdSDPV optimizada con electrodos de grafito desechables. Las muestras se prepararon mediante dilución y sonicación en metanol y electrolito de soporte (tampón BR pH 6.0). El comportamiento electroquímico inicial se validó mediante voltamperometría cíclica en un electrodo de carbono vítreo

Componentes Principales (PCA) y Análisis Discriminante Lineal (LDA) aplicados a los datos espectrales y de masas obtenidos

calentarla a 75°C durante 24 horas, permitiendo su identificación mediante bibliotecas estándar de FTIR.

separan previamente.

Se identificaron tres procesos de oxidación irreversibles para la MDPV. El método alcanzó un límite de detección de 0.5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ y una excelente estabilidad (RSD < 1.6%). Pruebas con muestras reales y de referencia de la UNODC confirmaron su precisión y selectividad frente a adulterantes comunes

La principal desventaja de estas metodologías es que, aunque sensible para muestras incautadas, tiene una sensibilidad menor en comparación con técnicas cromatográficas complejas como LC-MS, que son necesarias para análisis definitivos

Lima et al., 2020

7

Enantioselective analysis of the methamphetamine precursors ephedrine and pseudoephedrine by capillary electrokinetic chromatography using cyclodextrins as chiral selectors

Artículo de investigación

El estudio analiza la efedrina (EPH) y pseudoefedrina (ΨEPH) como precursores fundamentales para la síntesis de psicoestimulantes como la metanfetamina y la metcatinona. La investigación destaca que la configuración quiral de estos precursores determina la potencia de las drogas finales, siendo esencial para investigaciones forenses sobre rutas de producción clandestina.

Se desarrolló un método de cromatografía electrocinética capilar (CEKC) para separar los cuatro diastereómeros de los precursores. El análisis se validó mediante muestras simuladas que contenían (S)-metanfetamina al 5% y trazas de precursores (0.1% a 1%) para replicar impurezas de síntesis encontradas en incautaciones reales

Se logró identificar y cuantificar con éxito la metanfetamina y los enantiómeros de sus precursores en menos de 11 minutos. El método permitió observar que la eliminación del grupo hidroxilo en precursores naturales produce (S)- (+)-metanfetamina, mientras que su oxidación genera (S)- (+)-metcatinona, ambos con alta potencia estimulante

Aunque es eficaz para identificar precursores de catinonas, el equipo DAD tiene menor sensibilidad que los sistemas de espectrometría de masas (MS) utilizados en otros estudios.

Protti et al., 2022

8	Improved differentiation of NPS analogs through the application of chemometric methods to GC-solid deposition-FTIR spectra	Artículo de investigación	El estudio evalúa el uso de quimiometría para diferenciar análogos de catinonas sintéticas con espectros infrarrojos (GC-solid deposition-FTIR) visualmente casi idénticos. La aplicación de Análisis de Componentes Principales (PCA) permitió identificar correctamente el 100% de las muestras, superando las limitaciones de la inspección visual y algoritmos convencionales.	Se analizó un conjunto primario de tres catinonas (metilona, N-etilpentilona y pentilona) mediante GC-IR en dos laboratorios distintos. Los datos fueron procesados mediante normalización, truncamiento a la región de la huella dactilar y técnicas quimiométricas como PCA y distancias de Mahalanobis para clasificar objetivamente las muestras	El modelo quimiométrico logró una precisión del 100% en la validación cruzada del conjunto primario. Sin embargo, se detectaron variaciones significativas en los espectros dependiendo del instrumento, la preparación de la muestra (metanólica vs. extracción básica) y el tiempo, lo que dificulta la fiabilidad de las comparaciones visuales directas.	la variabilidad espectral entre instrumentos y métodos de preparación limita la efectividad de bibliotecas compartidas, exigiendo que cada laboratorio genere sus propios estándares específicos para evitar errores.	Bonetti et al., 2024
9	Resonance-enhanced deep-UV Raman spectroscopy for MDMA identification in colored ecstasy tablets	Artículo de investigación	El DUV-RRS permite diferenciar eficazmente entre la MDMA y sus derivados, como la metilona (3,4-metilenedioxi-N-metilcatinona). Al operar en una región libre de fluorescencia, esta técnica identifica con precisión la estructura química de estas	Se empleó un láser NeCu de 248.6 nm para excitar las muestras. Se analizaron materiales de referencia de 3,4-metilona y otras catinonas, comparando sus firmas espectrales con las de la MDMA y	La metilona se distingue fácilmente de la MDMA por un desplazamiento de su pico principal a 1606 cm ⁻¹ . Este cambio se debe a la vibración del grupo carbonilo,	alta especificidad molecular, que permite distinguir isómeros de posición en el anillo aromático de las catinonas	Jasperse et al., 2025

Seizures of illicit substances for personal use in two Italian provinces: Analysis of trends by type and purity from 2008 to 2017

Artículo de investigación

Las catinonas sintéticas, como mefedrona, butilona, 4-MEC, 3-MMC y pentedrona, emergieron como estimulantes peligrosos dentro del grupo de Nuevas Sustancias Psicoactivas (NSP). Aunque representan solo el 1.7% del total de incautaciones, su presencia refleja una diversificación del mercado local hacia drogas de diseño con toxicidad poco conocida.

La identificación de estas sustancias se realizó mediante un cribado de las muestras incautadas utilizando cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS) y cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas en tándem (LC-MS/MS). Posteriormente, se empleó un detector de ionización de llama (GC-FID) para análisis cuantitativos

Se detectó mefedrona por primera vez en 2010, volviéndose recurrente en años posteriores. A partir de 2014, el rango de derivados se amplió significativamente. Estas sustancias fueron confiscadas exclusivamente a sujetos jóvenes, específicamente en el rango de edad de entre 25 y 34 años.

Estas metodologías requieren laboratorios equipados con tecnología costosa y personal especializado. Además, la rápida aparición de nuevos derivados sintéticos exige una actualización constante de las bibliotecas de referencia para evitar que estas sustancias pasen desapercibidas

Verri et al., 2019

nuevas sustancias psicoactivas (NPS) incluso en muestras complejas o coloreadas

evaluando cómo los cambios estructurales afectan la señal de resonancia Raman

que además genera una señal Raman fuerte y única a 1679 cm⁻¹, ausente en la MDMA7.

11	Seizures of New Psychoactive Substances on the Italian territory during the COVID-19 pandemic	Artículo de investigación	El estudio destaca que las catinonas sintéticas fueron las sustancias más prevalentes, representando el 24.4% del total de incautaciones. La 3-MMC (meta-mefedrona) dominó el mercado con un 18.6% de los casos totales. Estas sustancias proliferaron como alternativas a estimulantes tradicionales durante los confinamientos por COVID-19	Se analizaron 117 muestras de catinonas extraídas de paquetes postales mediante GC-MS y LC-HRMS. El protocolo incluyó la disolución en metanol y sonicación, comparando los espectros de masas con bibliotecas como Cayman y HighResNPS para identificar isómeros estructurales derivados de la 2-amino-1-fenil-1-propanona	Se identificaron ocho tipos de catinonas, siendo la 3-MMC el 76% de esta categoría, seguida por la N-etilhexedrona (13%). Otros derivados hallados fueron 4-CI-PVP, 4-CMC, α-PHiP, eutilona, BMDP y MDPHP7. La mayoría de estas moléculas se detectaron por primera vez en Italia.	La rápida creación de derivados no fiscalizados dificulta su detección con kits de campo estándar, exigiendo análisis de laboratorio costosos.	Vincenti et al., 2021
12	Synthesis, characterisation and quantification of the new psychoactive substance 1-(1,3-benzodioxol-5-yl)-2-(propylamino) butan-1-one (bk-PBDB, putylone)	Artículo de investigación	Las catinonas sintéticas son un grupo en evolución de drogas ilícitas, con nuevas variantes detectadas constantemente. Este estudio reporta la primera detección en el Reino Unido de la putilona (bk-PBDB) en tabletas incautadas. Se confirmó su identidad mediante la síntesis de un estándar puro y análisis espectral comparativo	Se sintetizó un estándar de referencia de clorhidrato de putilona para validación. La caracterización estructural incluyó RMN de alto y bajo campo, ATR-FTIR y GC-EI-MS. Se desarrolló un método de GC-EI-MS validado bajo guías ICH para cuantificar la sustancia en muestras forenses a granel.	El análisis reveló que las tabletas contenían una mezcla de bk-PBDB (130.6-135.5 mg/tableta) y cafeína (40.2-43.4 mg/tableta). La caracterización por RMN y GC-MS mostró una concordancia excelente entre las muestras incautadas y el estándar	El método de RMN de sobremesa permite una identificación rápida y automatizada en el campo mediante algoritmos de coincidencia de patrones.	Dixon et al., 2023

13

Three years of wastewater surveillance for new psychoactive substances from 16 countries

Artículo de investigación

Este estudio internacional analizó aguas residuales en 16 países entre 2019 y 2022 para monitorear Nuevas Sustancias Psicoactivas (NPS). Las catinonas sintéticas resultaron ser la clase más prevalente detectada. Se identificaron tendencias espaciales, como el dominio de la 3-MMC en Europa y la eutilona en Nueva Zelanda

Se recolectaron muestras de afluentes de hasta 47 sitios durante el periodo de Año Nuevo en tres campañas consecutivas. Las muestras se analizaron mediante métodos validados de cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas. La lista de analitos, incluyendo diversas catinonas, se actualizó anualmente según alertas internacionales

sintetizado. El método de cuantificación demostró ser lineal, preciso y exacto

Se hallaron 18 tipos de NPS, siendo las catinonas sintéticas las más frecuentes. La 3-MMC mostró un aumento significativo en Europa, superando los 100 mg/día/1000 personas en 2021-22. La eutilona destacó en Nueva Zelanda, mientras que otras catinonas como mefedrona y metilona aparecieron principalmente en Oceanía

Estas metodologías permiten identificar rápidamente sustancias, detectar tendencias temporales y espaciales, y evaluar impactos en la salud pública donde otros datos fallan

Bade et al., 2023

14	Trapped ion mobility mass spectrometry of new psychoactive substances: Isomer-specific identification of ring-substituted cathinones	Artículo de investigación	El estudio presenta un método novedoso de espectrometría de movilidad iónica atrapada con tiempo de vuelo (TIMS-TOFMS) para identificar isómeros posicionales de catinonas sintéticas. Estas sustancias representan dos tercios de las nuevas sustancias psicoactivas (NPS) incautadas en Europa. La técnica permite una identificación inequívoca y rápida en muestras forenses	Se utilizó un flujo de trabajo optimizado que emplea regiones de atrapamiento de iones estrechas y calibración de movilidad interna con ketamina-D4. Las muestras se analizaron mediante infusión directa tras una preparación sencilla (disolución/dilución). Un algoritmo en MATLAB procesó los datos para ajustar distribuciones gaussianas y determinar precisiones de movilidad	Se logró la separación de isómeros de metilmetcatinona (MMC), metiletcatinona (MEC), metilona y etilona en menos de 5 minutos. La detección de dos protómeros distintos por isómero aumentó la confianza en la identificación. El método asignó correctamente catinonas en mezclas complejas y muestras reales de calle (polvos y líquidos).	El método actual tiene limitaciones para distinguir mezclas que contienen múltiples isómeros de una misma catinona con la misma fórmula molecular	Majeed et al., 2023
15	Trends in illicit drugs based on the analysis of seizures from the Tanzania mainland drugs market	Artículo de investigación	Este estudio analiza las incautaciones de drogas en Tanzania (2011-2016). Aunque el cannabis y la heroína predominan, se investigó la presencia de catinonas naturales presentes en el khat (<i>Catha edulis</i>) y estimulantes sintéticos tipo anfetamina (ATS). Los ATS mostraron una presencia mínima pero constante en el mercado.	Para identificar catinonas y ATS, se utilizaron técnicas avanzadas como GC-FID, GC-MS y HPLC. Las muestras de khat se extrajeron con metanol y se purificaron con ácido sulfúrico antes del análisis por HPLC, mientras que los ATS fueron extraídos	Las catinonas naturales del khat representaron el 39.21% del peso total incautado, con un aumento significativo hacia 2016. En contraste, los derivados sintéticos (ATS) fueron los menos frecuentes,	La ventaja del estudio es el uso de inteligencia forense para documentar rutas de tráfico y diversificación del mercado	Makangara & Mulima, 2021

Spotting isomer mixtures in forensic illicit drug casework with GC-VUV using automated coelution detection and spectral deconvolution

Artículo de investigación

Este estudio investiga la capacidad de la deconvolución espectral VUV para detectar e identificar mezclas de drogas con resolución incompleta. En escenarios forenses, el surgimiento continuo de nuevas sustancias psicoactivas (NPS) hace que isómeros desconocidos puedan coeluir con conocidos, dificultando su detección mediante métodos tradicionales como GC-MS

Se utilizaron estándares de referencia de catinonas y fluoroanfetaminas para preparar con diferentes proporciones. Para simular situaciones críticas, se indujo deliberadamente una coelución severa mediante programas de temperatura de GC subóptimos. Además, se eliminaron compuestos de la biblioteca para evaluar la detección de sustancias novedosas

mediante basificación y cloroformo

representando solo el 0.09% de los casos y el 0.01% de las muestras totales analizadas durante el periodo

El software de deconvolución detectó correctamente ambos componentes incluso en casos de coelución casi total con espectros muy similares. Los puntajes de coincidencia (match scores) para positivos se mantuvieron consistentemente entre 0.998 y 1.000. Incluso sin la referencia en la biblioteca, el sistema alertó sobre la presencia de mezclas.

La identificación exacta sigue dependiendo de la disponibilidad de espectros de referencia en la biblioteca. La deconvolución se vuelve más desafiante cuando las diferencias espectrales son mínimas o el ruido es alto.

Kranenburg et al., 2021

3.1 Catinonas sintéticas y derivados.

Las catinonas sintéticas, conocidas popularmente en el mercado ilícito como "sales de baño", representan una de las familias más dinámicas de las NPS. Su origen se remonta a la catinona natural, un alcaloide estimulante hallado en las hojas del arbusto khat (*Catha edulis*), consumido tradicionalmente en el este de África y la península arábiga. Sin embargo, sus derivados sintéticos actuales son potentes análogos de la anfetamina que se caracterizan por poseer un grupo cetona en la posición beta de su estructura química (Wood et al., 2024). Esta modificación estructural permite a los laboratorios clandestinos crear una variedad casi infinita de derivados para evadir las regulaciones legales; cuando una sustancia específica es prohibida, se introduce una pequeña variación molecular para crear una "nueva" droga técnicamente legal. (Norman et al., 2024)

Entre sus derivados más extendidos se encuentran compuestos clásicos como la mefedrona (4-MMC) y la metilona, pero la presión legislativa ha impulsado la aparición de nuevas variantes. Por ejemplo, tras el control de la 3-metilmecatinona (3-MMC) en diversos países, surgieron los isómeros clorados conocidos como clorometcatinonas (3-CMC y 4-CMC), que han ganado una presencia masiva en el mercado europeo (Van Beek et al., 2024). Otros derivados detectados con frecuencia incluyen la pentilona, la N-etilpentilona y la N, N-dimetilpentilona, además de compuestos más complejos como la α -D2PV. En cuanto a su composición física, estas drogas suelen presentarse como polvos cristalinos o tabletas que rara vez son puras, ya que a menudo se mezclan con diluyentes como el mio-inositol o incluso con precursores como la efedrina y pseudoefedrina, que también se utilizan en la síntesis de metanfetaminas. (Protti et al., 2022)

La prevalencia de las catinonas sintéticas se consolida como la segunda categoría más grande de sustancias monitoreadas por organismos internacionales como el Centro Europeo de Monitoreo de Drogas y Adicciones (EMCDDA). Su uso es particularmente notable en entornos de ocio nocturno y en prisiones, donde se utilizan como sustitutos más económicos o accesibles de estimulantes tradicionales como la cocaína o el MDMA (Norman et al., 2024). No obstante, esta disponibilidad conlleva riesgos graves para la salud pública; el consumo de estos derivados se ha vinculado directamente con numerosos casos de intoxicaciones agudas y fatalidades en todo el mundo, exacerbadas por la dificultad de los servicios forenses para identificar rápidamente estas moléculas debido a su constante evolución y a la similitud química entre sus distintos isómeros. (Jasperse et al., 2025)

3.2 Aplicaciones cromatográficas y espectrometría de masas

El análisis de las catinonas sintéticas y sus precursores utiliza principalmente técnicas cromatográficas como la cromatografía de gases (GC), la cual se fundamenta en la vaporización de la muestra y su transporte a través de una columna mediante una fase móvil gaseosa, permitiendo la separación de los analitos según su volatilidad y afinidad con la fase estacionaria (Frison et al., 2021). Por otro lado, para aquellas sustancias que son térmicamente inestables o no volátiles, se recurre a la cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC o LC), cuyo fundamento reside en el paso de una fase móvil líquida a través de una columna o fase estacionaria sólida bajo alta presión permitiendo la separación de los analitos según la afinidad de estos con la fase estacionaria. (Bonetti et al., 2024).

La espectrometría de masas (MS) se ha consolidado como la técnica de referencia en el análisis forense y toxicológico debido a su excepcional sensibilidad y capacidad para identificar sustancias mediante su firma molecular única. Su fundamento reside en la conversión de las moléculas de una muestra en iones en fase gaseosa, los cuales son posteriormente acelerados y separados en función de su relación masa-carga (m/z) dentro de un analizador (De Hoffmann & Stroobant, 2007). Este proceso genera un espectro de masas que refleja la abundancia de los fragmentos iónicos, permitiendo a los analistas reconstruir la estructura química del compuesto original y confirmar su identidad con un alto grado de certeza. La MS es extremadamente potente, se complementa frecuentemente con otras técnicas como la espectroscopía infrarroja (FTIR) o la detección por ultravioleta en vacío (VUV) cuando es necesario diferenciar entre isómeros posicionales que producen patrones de fragmentación casi idénticos. (van Beek et al., 2024; Bonetti et al., 2024)

3.3 Muestras forenses o incautadas

En el ámbito forense, la presencia en muestras incautadas revela una evolución constante, la fiscalización de la 3-metilmecatinona (3-MMC), se ha reemplazado rápidamente por sus análogos clorados, como la 3-clorometcatinona (3-CMC) y la 4-CMC, lo que demuestra la capacidad de los laboratorios clandestinos para evadir la legislación mediante ligeras modificaciones estructurales. En las incautaciones realizadas por las autoridades, estas sustancias se presentan habitualmente en forma de polvos cristalinos de color blanco o crema, o en tabletas de diversos colores. La composición de estas muestras es un aspecto crítico, ya que rara vez se encuentran puras, es frecuente hallar mezclas que incluyen diluyentes como el mio-inositol (un azúcar común) o combinaciones de varias NPS, como la N, N-dimetilpentilona y la α -D2PV. Esta última se ha detectado incluso en materiales impregnados, como papel, en contextos de alta seguridad como los centros penitenciarios, lo que complica aún más su detección visual y operativa. (Wood et al., 2024)

3.4 Ventajas y limitaciones de las metodologías analíticas

La aplicación de estas metodologías analíticas enfrenta limitaciones significativas, particularmente cuando se trata de diferenciar isómeros posicionales, ya que muchos compuestos nuevos presentan patrones de fragmentación casi idénticos en la espectrometría de masas convencional (Van Beek et al., 2024). Esta dificultad exige a menudo la integración de técnicas complementarias, como la espectroscopia infrarroja (GC-IR) o el uso de quimiometría y modelos matemáticos avanzados para lograr una clasificación objetiva. Asimismo, la separación cromatográfica de ciertos análogos puede resultar sumamente lenta y compleja, lo que supone un desafío para la rapidez de respuesta que requieren los laboratorios (Bonetti et al., 2024). Además del elevado coste de los equipos, la necesidad de personal altamente cualificado y la dependencia de bibliotecas de espectros que deben actualizarse constantemente ante la rápida evolución del mercado de drogas sintéticas, representan barreras operativas que limitan su implementación universal.

4. CONCLUSIONES

Las aplicaciones de metodologías analíticas como cromatografía y espectrometría de masas han demostrado resultados positivos para la identificación y cuantificación de nuevas sustancias psicoactivas NSP. La combinación de metodologías analíticas de separación como técnicas cromatográficas favorecen la identificación de estas sustancias, puesto que primero se realiza una separación de los compuestos de interés que pueden estar en matrices complejas con otros compuestos y su identificación mediante técnicas como la espectrometría de masas (MS) que da un perfil más preciso de la muestra en cuestión.

Las metodologías analíticas convencionales como la espectrometría de masas (MS) acoplada a cromatografía líquida (LC) y cromatografía gaseosa (GC) pueden abordar una amplia gama de sustancias o compuestos pero tiene la limitante de no diferenciar entre isómeros de estos mismos compuestos por lo cual se opta por adicionalmente implementar otras metodologías analíticas como espectrometría de masas por tiempo de vuelo con movilidad iónica atrapada (TIMS-TOFMS) y Espectroscopia Raman de Resonancia en el UV Profundo (DUV-RRS) para poder cubrir las limitantes de las metodologías analíticas convencionales.

Sin embargo, la implementación de estas metodologías analíticas complementarias tiene las limitaciones de costos para su implementación y personal cualificado para el uso de estos mismos. La aparición o síntesis de estas NSP sigue representando un problema al momento de su análisis preliminar para su identificación por lo cual se sigue buscando nuevas metodologías o metodologías complementarias para su oportuna detección y cuantificación.

5. AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios quien es el que ha hecho todo esto posible y me ha dado todas las oportunidades en mi vida, a todas las personas que han hecho parte de esta etapa académica, comenzando por los profesores quienes fueron los precursores y fuentes de conocimiento los cuales me han guiado y aconsejado para culminar esta etapa de mi vida, a mis amigos quienes fueron un apoyo tanto en el ámbito académico como social, a mis padres quienes han sido siempre mi motivación, los que me inculcaron e impulsaron para empezar y terminar una carrera profesional, que su apoyo siempre ha sido incondicional y su amor el más puro, a mis hermanos y de más familiares que siempre me han apoyado económica y moralmente para poder conseguir un logro más en mi vida.

6. DECLARACION DEL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Los autores declaran que no han usado herramientas de inteligencia artificial (IA) en la creación de este artículo

7. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Garrido del Moral, E. (2017). Nuevas drogas de abuso: catinonas sintéticas o “sales de baño”.
- Lugo-Vargas, A. F., Chaves-Silva, D. C., Quevedo-Buitrago, W. G., & Martínez-Suárez, J. F. (2020). Catinonas sintéticas: una revisión del panorama actual y las estrategias de detección analítica. *Revista de Toxicología*, 37(1).
- ODC. Sistema de alertas tempranas: Aparición de nuevas sustancias psicoactivas en Colombia, enero de 2017. Bogotá D.C., Colombia, 2017.
- González-Hernández, J. (2023). Drogas emergentes: detección mediante sensores electroquímicos. *Revista Colombiana de Química*, 52(1), 25-41.
- Joshi, M., & Sisco, E. (2023). Forensic seized drug analysis: Current challenges and emerging analytical solutions. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Forensic Science*, 5(5), e1486.
- Pássaro Carvalho, C. P., Rivera Narváez, C. M., Román Páez, M. A., Cardona Bermúdez, L. M., Muñoz Echeverri, L. M., Gómez, D. D., ... & Rojas Bedoya, L. C. (2016). Guía sobre principios básicos de cromatografía y sus aplicaciones.
- Payá, A. (2006). Fundamentos y Funciones de la Espectrometría de Masa. *Universidad de Valencia, España*.
- Gomis Yagües, V. (2008). Tema 3. Cromatografía de gases. *Técnicas Instrumentales en el Análisis Industrial*.
- De Hoffmann, E., & Stroobant, V. (2007). Mass spectrometry: principles and applications. John Wiley & Sons.
- Frison, G., Zancanaro, F. v, Frasson, S., Quadretti, L., Agnati, M., Vlassich, F., Gagliardi, G., Salerno, T. M. G., Donato, P., & Mondello, L. (2021). Analytical Characterization of 3-MeO-PCP and 3-MMC in Seized Products and Biosamples: The Role of LC-HRAM-Orbitrap-MS and Solid Deposition GC-FTIR. *Frontiers in Chemistry*, 8. <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.618339>
- Fabregat-Safont, D., Carbón, X., Ventura, M., Fornís, I., Hernández, F. J., & Ibáñez, M. (2019). Characterization of a recently detected halogenated aminorex derivative: para-fluoro-4-methylaminorex (4'F-4-MAR). *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44830-y>
- Wood, M. R., Bernal, I., & Lalancette, R. A. (2024). Crystal structure and analytical profile of 1,2-di-phenyl-2-pyrrolidin-1-ylethanone hydrochloride or 'a-D2PV': a synthetic cathinone seized by law enforcement, along with its diluent sugar, myo-inositol. *Acta Crystallographica. Section C, Structural Chemistry*, 80(Pt 4), 91–97. <https://doi.org/10.1107/S2053229624000561>
- Norman, C., Schwelm, H. M., Semenova, O., Reid, R., Marland, V., & Nic Daeid, N. (2024). Detection of the synthetic cathinone N, N-dimethylpentylone in seized samples from prisons. *Forensic Science International*, 361. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2024.112145>
- van Beek, A., Stuyver, L. I., Mes, E. M., van Asten, A. C., & Kranenburg, R. F. (2024). Differentiation of chloromethcathinone (CMC) isomers: The new kid on the block after methylmethcathinone (MMC) control in the Netherlands. *Forensic Chemistry*, 40, 100599. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forc.2024.100599>
- Lima, C. D., Couto, R. A. S., Arantes, L. C., Marinho, P. A., Pimentel, D. M., Quinaz, M. B., Silva, R. A. B., Richter, E. M., Barbosa, S. L., & dos Santos, W. T. P. (2020). Electrochemical detection of the synthetic cathinone 3,4-methylenedioxypropylone

using carbon screen-printed electrodes: A fast, simple and sensitive screening method for forensic samples. *Electrochimica Acta*, 354. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2020.136728>

- Protti, M., Mandrioli, R., Gonzalez-Rodriguez, J., & Mercolini, L. (2022). Enantioselective analysis of the methamphetamine precursors ephedrine and pseudoephedrine by capillary electrokinetic chromatography using cyclodextrins as chiral selectors. *Journal of Chromatography Open*, 2, 100032. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcoa.2022.100032>
- Bonetti, J. L., Kranenburg, R. F., Hokanson, S., Pothier, M., Samanipour, S., & van Asten, A. C. (2024). Improved differentiation of NPS analogs through the application of chemometric methods to GC-solid deposition-FTIR spectra. *Forensic Chemistry*, 41, 100619. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forc.2024.100619>
- Jasperse, L., Konings, M. C., Ariese, F., & Kranenburg, R. F. (2025). Resonance-enhanced deep-UV Raman spectroscopy for MDMA identification in colored ecstasy tablets. *Forensic Chemistry*, 46, 100704. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forc.2025.100704>
- Verri, P., Rustichelli, C., Ferrari, A., Marchesi, F., Baraldi, C., Licata, M., Vandelli, D., Palazzoli, F., Poti, F., & Silingardi, E. (2019). Seizures of illicit substances for personal use in two Italian provinces: Analysis of trends by type and purity from 2008 to 2017. *Substance Abuse: Treatment, Prevention, and Policy*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s13011-019-0229-y>
- Vincenti, F., Gregori, A., Flammini, M., di Rosa, F., & Salomone, A. (2021). Seizures of New Psychoactive Substances on the Italian territory during the COVID-19 pandemic. *Forensic Science International*, 326. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.110904>
- Kranenburg, R. F., Lukken, C. K., Schoenmakers, P. J., & van Asten, A. C. (2021). Spotting isomer mixtures in forensic illicit drug casework with GC-VUV using automated coelution detection and spectral deconvolution. *Journal of Chromatography B*, 1173, 122675. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2021.122675>
- Dixon, D. I., Millea, M. F., M. Wilcock, A. T., Costello, A., Ellison, J. R., Lord, S., O'Brian, K. A., Mewis, R. E., & Sutcliffe, O. B. (2023). Synthesis, characterisation and quantification of the new psychoactive substance 1-(1,3-benzodioxol-5-yl)-2-(propylamino) butan-1-one (bk-PBDB, putylone). *Forensic Chemistry*, 35, 100523. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forc.2023.100523>
- Bade, R., Rousis, N., Adhikari, S., Baduel, C., Bijlsma, L., Bizani, E., Boogaerts, T., Burgard, D. A., Castiglioni, S., Chappell, A., Covaci, A., Driver, E. M., Sodre, F. F., Fatta-Kassinos, D., Galani, A., Gerber, C., Gracia-Lor, E., Gracia-Marín, E., Halden, R. U., ... Mueller, J. F. (2023). Three years of wastewater surveillance for new psychoactive substances from 16 countries. *Water Research X*, 19, 100179. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wroa.2023.100179>
- Majeed, H. A., Bos, T. S., Voeten, R. L. C., Kranenburg, R. F., van Asten, A. C., Somsen, G. W., & Kohler, I. (2023). Trapped ion mobility mass spectrometry of new psychoactive substances: Isomer-specific identification of ring-substituted cathinones. *Analytica Chimica Acta*, 1264, 341276. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aca.2023.341276>
- Makangara, J. J., & Mulima, E. Z. (2021). Trends in illicit drugs based on the analysis of seizures from the Tanzania mainland drugs market. *Forensic Science International: Synergy*, 3, 100209. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2021.100209>