



► Amphetamines, cocaine and marijuana in surface waters:  
a systematic review of their occurrence and analysis

# ANFETAMINAS, COCAÍNA Y MARIHUANA EN AGUAS SUPERFICIALES:

una revisión sistemática de su ocurrencia y análisis

Por:  Jorge Luis Mejía-Méndez · Miriam Nolasco-López · Araliz López-Pintor · Lucila Isabel Castro-Pastrana

Mejía Méndez J. *et al.* (2020). Anfetaminas, cocaína y marihuana en aguas superficiales:  
una revisión sistemática de su ocurrencia y análisis. *Entorno UDLAP*, 13.

 **Recibido:** 10 de febrero de 2020  **Aceptado:** 15 de junio de 2020

## RESUMEN

El abuso de drogas recreativas (por ejemplo, cocaína, marihuana y anfetaminas) es un problema de salud pública mundial. En consecuencia, su ocurrencia en cuerpos de agua ha aumentado alrededor del mundo, con concentraciones superiores a los nanogramos por litro siendo detectadas principalmente mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y purificadas por extracción de fase sólida (SPE). Para conocer el estado del arte, en el presente trabajo se realizó una revisión sistemática cualitativa de la literatura existente sobre el tema utilizando el motor de búsqueda PubMed. En los catorce estudios que cumplieron los criterios de inclusión para nuestro análisis se reportan principalmente la presencia de anfetaminas, cocaína y su principal metabolito benzoilecgonina en agua de ríos, lagos y costas de América, Europa y Asia. Esta revisión demuestra la necesidad de más investigaciones sobre el tema y de estrategias para contener a estos contaminantes emergentes del agua.

## PALABRAS CLAVE:

Marihuana · Cocaína · Anfetaminas · Aguas superficiales · Contaminantes emergentes

## ABSTRACT

Recreational drug abuse (eg cocaine, marijuana and amphetamines) is a global public health problem. Consequently, the occurrence of these drugs in surface-water bodies has increased throughout the world, with concentrations higher than nanograms per liter being mostly detected by high-performance liquid chromatography (HPLC) and purified by solid-phase extraction (SPE). In order to know the state of the art, in this work a qualitative systematic review of the existing literature on the subject was carried out using the PubMed search engine. In the 14 studies that fulfilled the inclusion criteria for our analysis, the presence of amphetamines, cocaine and its main metabolite benzoilecgonine was overall reported in water from rivers, lakes and coasts of America, Europe and Asia. This review demonstrates the need for further research on the subject and for strategies to contain these emerging water pollutants.

## KEY WORDS

Marijuana · Cocaine · Amphetamines · Surface water · Emerging contaminants



**EL ABUSO DE DROGAS RECREATIVAS (POR EJEMPLO, COCAÍNA, MARIHUANA Y ANFETAMINAS) ES UN PROBLEMA DE SALUD PÚBLICA A NIVEL MUNDIAL.**

**◆◆ INTRODUCCIÓN**

El abuso de drogas recreativas (por ejemplo, cocaína, marihuana y anfetaminas) es un problema de salud pública mundial. Al igual que los medicamentos, las drogas recreativas no son completamente metabolizadas por el organismo y llegan a las aguas residuales sin cambios o como metabolitos (por ejemplo: metabolitos de la cocaína como cocaetileno y norcocaína) (Zuccato *et al.*, 2005). La ocurrencia de drogas recreativas y sus metabolitos en las aguas residuales ha aumentado en todo el mundo llegando a detectarse, en algunos casos, en concentraciones superiores a los nanogramos por litro (Asimakopoulos *et al.*, 2017; Botello *et al.*, 2012). A su vez se ha reportado que las plantas de tratamiento tienen la capacidad de remover sólo entre el 30 al 75% de estos contaminantes emergentes (Stasinakis *et al.*, 2013). Por lo tanto, múltiples grupos de investigadores han abordado el tema al implementar nuevos métodos analíticos capaces de monitorear la deposición de drogas ilícitas en cuerpos de agua. Es sabido que compuestos de esta categoría y sus metabolitos llegan a los cauces de los ríos a través de las descargas municipales, la actividad industrial, agricultura y la manufactura clandestina de estas sustancias; en particular esta última causa la contaminación directa de los cauces (Jiang *et al.*, 2014). Todas estas fuentes en conjunto favorecen la presencia de estas sustancias en aguas superficiales (ríos, lagos y costas). Por ello, las drogas recreativas y sus metabolitos han sido reconocidos recientemente como un grupo importante de contaminantes emergentes (Li *et al.*, 2016).

Como se ha comprobado estas drogas son potencialmente riesgosas para la salud y representan un riesgo ecotoxicológico. Parolini *et al.* (2015) demostraron la alteración oxidativa en el molusco *D. polymorpha* mientras que Archer *et al.* (2017) discutieron el impacto de los contaminantes emergentes en el metabolismo hormonal de peces. Debido a lo anterior,

**LA OCURRENCIA DE DROGAS RECREATIVAS Y SUS METABOLITOS EN LAS AGUAS RESIDUALES HA**

**AUMENTADO EN TODO EL MUNDO**

**LLEGANDO A DETECTARSE, EN ALGUNOS CASOS, EN CONCENTRACIONES SUPERIORES A LOS NANOGRAMOS POR LITRO (ASIMAKOPOULOS *ET AL.*, 2017; BOTELLO *ET AL.*, 2012).**

se ha incrementado el interés por conducir estudios sobre la presencia de marihuana, cocaína, anfetaminas y sus respectivos metabolitos en las aguas superficiales de diversos países como China, Bélgica, Brasil y Estados Unidos; estas sustancias han sido detectadas en distintas concentraciones y frecuencias en sus ríos, costas y lagos (Li *et al.*, 2016).

Los principales métodos analíticos para detectar la presencia de drogas y sus metabolitos en las aguas superficiales requieren de una extracción en fase sólida (SPE, por sus siglas en inglés) y del uso de cromatografía líquida y espectrometría de masas para su cuantificación (LC-MS, por sus siglas en inglés). También se ha descrito la utilización de otras técnicas analíticas como la cromatografía de gases, cromatografía líquida de alta y ultra-alta resolución (HPLC, UPLC, por sus siglas en inglés) y electroforesis capilar, entre otros métodos, los cuales han sido reportados por diversos autores (Wongniramaikul *et al.*, 2012).

Por lo tanto, para conocer el estado del arte y concentrar la evidencia disponible a nivel global, el objetivo del presente trabajo fue realizar una revisión sistemática cualitativa en PubMed utilizando términos MeSH y la metodología PRISMA para obtener y analizar toda la literatura disponible hasta el mes de noviembre de 2019 sobre la detección de cocaína, marihuana, anfetaminas y sus respectivos metabolitos en aguas superficiales de todo el mundo.

**MÉTODOS**

**Obtención de los estudios**

Se llevó a cabo un estudio de revisión sistemática cualitativa empleando el motor de búsqueda PubMed. La búsqueda avanzada de los artículos recopilados fue realizada el 15 de noviembre de 2019 de acuerdo al diccionario MeSH (*Medical Subject Headings*) con los siguientes términos: (“Fresh Water”[Mesh]) AND ((((((“street drugs”[MeSH Terms] AND “pharmaceuticals”[All Fields])) OR cocaine[MeSH Terms]) OR amphetamines[MeSH Terms]) OR marijuana[MeSH Terms]). La búsqueda no se restringió a un periodo de tiempo en particular debido a la poca bibliografía publicada referente al tema.

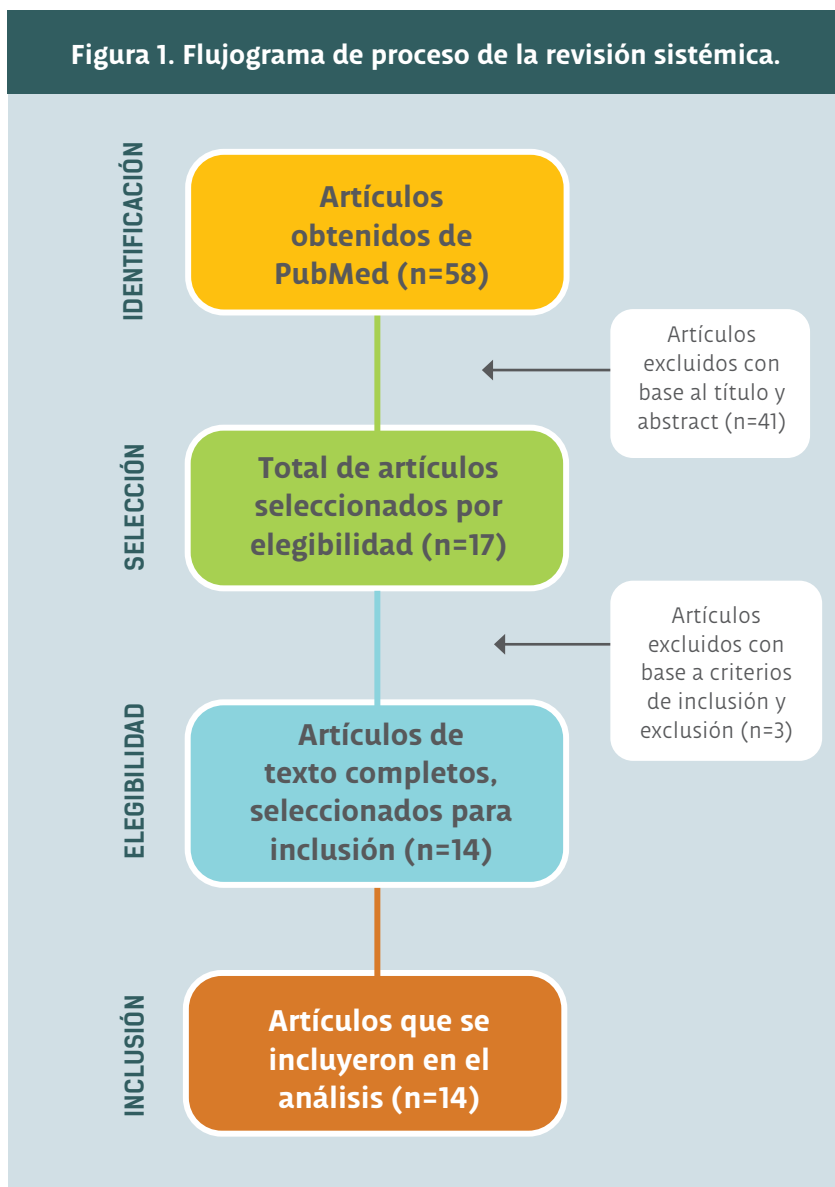
**Selección de los estudios**

Se usó la metodología PRISMA (Urrútia y Bonfill, 2010) para evaluar los estudios arrojados por la búsqueda y para estructurar la revisión sistemática. Los siguientes cuatro criterios fueron usados para la inclusión de artículos:

- 1 **Análisis de artículos originales publicados en PubMed**
- 2 **Análisis espectroscópicos de las drogas anteriormente mencionadas**
- 3 **Análisis de drogas recreativas en aguas de ríos y costas**
- 4 **Determinación química de cocaína, componentes de la marihuana y anfetaminas como principales drogas recreativas y/o de sus respectivos metabolitos**

Por otra parte, se excluyeron: artículos de revisión sistemática, artículos no publicados en PubMed, artículos que no analizaron las drogas recreativas de interés y artículos que analizaron la deposición de cocaína, marihuana y anfetaminas en compartimentos ambientales diferentes al acuático. Se elaboró y aplicó una hoja de extracción de datos para verificar que cada artículo encontrado cumpliera con los criterios de inclusión. El análisis se hizo de manera independiente por tres revisores. Se identificaron 58 artículos en PubMed, de los cuales sólo catorce fueron incluidos y analizados por ser los que cumplían con los criterios de inclusión estipulados. Los estudios seleccionados se muestran en la figura 1.

**Figura 1. Flujograma de proceso de la revisión sistémica.**

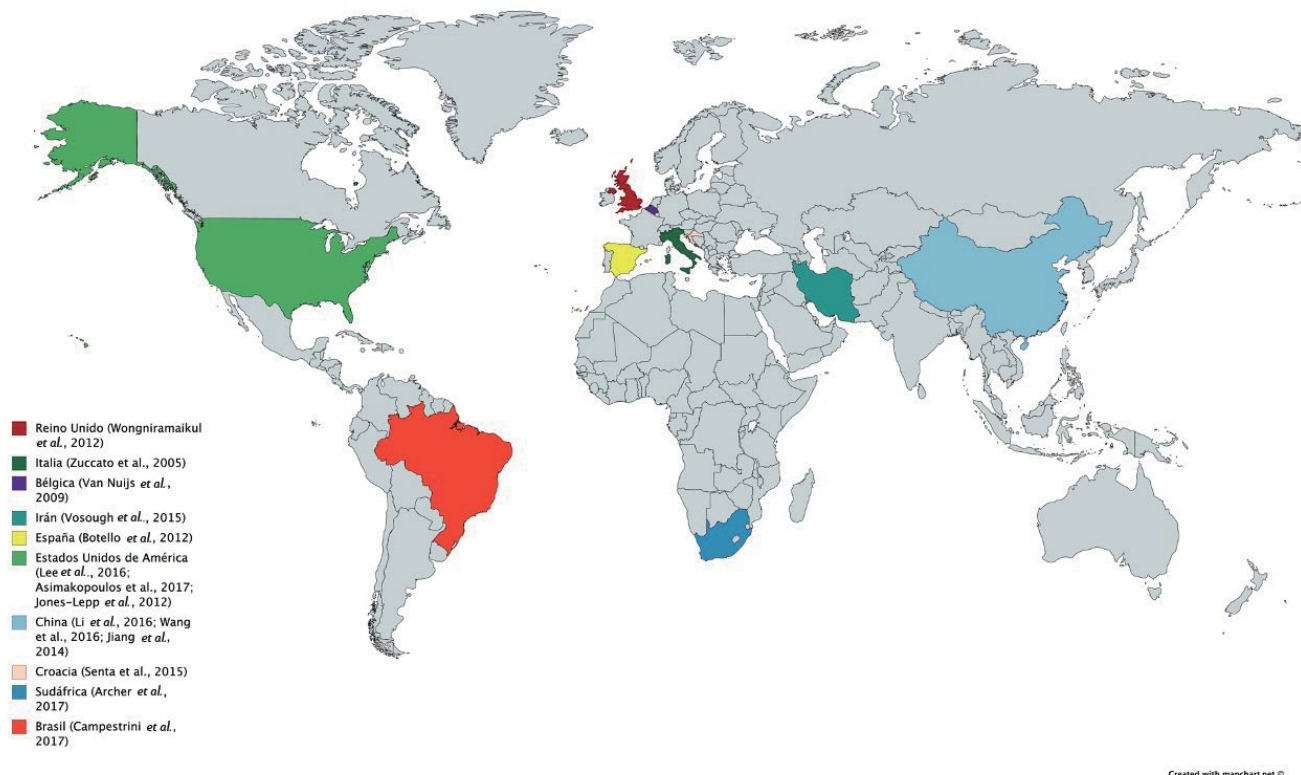


**Tabla 1. Drogas investigadas y métodos empleados para su análisis en aguas superficiales.**

Estudio (autor y año de publicación)	País	Drogas investigadas	Método analítico empleado
Zuccato <i>et al.</i> (2005)	Italia	Cocaína y su metabolito benzoilecgonina	HPLC MS/MS
Van Nuijs <i>et al.</i> (2009)	Bélgica	Cocaína y su metabolito benzoilecgonina	HPLC MS/MS
Botello <i>et al.</i> (2012)	España	Cocaína, EDDP, codeína y 6-acetilmorfina	SPE-CE
Jones-Lepp <i>et al.</i> (2012)	EE. UU.	Metanfetamina, metilamfetamina y pseudoefedrina	LC-ESI-IT MS
Wongniramaikul <i>et al.</i> (2012)	Escocia	Anfetamina y metilamfetamina	MIP-SPE y GC-MS sin derivatización utilizando monitoreo selectivo de iones (SIM)
Jiang <i>et al.</i> (2014)	China	Anfetamina, metanfetamina, MDMA, cannabinol, cocaína, heroína, pseudoefedrina y otros 24 compuestos	SPE-LC-MS/MS
Senta <i>et al.</i> (2015)	Croacia	Anfetamina, metanfetamina, MDMA, efedrina, pseudoefedrina y otros veinte compuestos derivados sintéticos tipo anfetamina	LC MS/MS
Vosough <i>et al.</i> (2015)	Irán	Metanfetamina y pseudoefedrina	SPE-HPLC Y MCR-ALS
Lee <i>et al.</i> (2016)	EE. UU.	Anfetamina, metanfetamina, MDMA y otras once sustancias	HPLC MS/MS
Li <i>et al.</i> (2016)	China	Cocaína, benzoilecgonina, anfetamina, metanfetamina, MDA, MDMA y otras seis drogas	MS/MS
Wang <i>et al.</i> (2016)	China	Anfetamina, metanfetamina, cocaína, benzoilecgonina y otros siete compuestos	LC MS/MS
Asimakopoulos <i>et al.</i> (2017)	EE. UU.	Anfetamina, metanfetamina, MDA, MDMA, cocaína y sus derivados NOR y COE, benzoilecgonina, cannabinol, cannabidiol, THC, EDDP y otros 77 compuestos	LC-ESI (+) MS/MS y LC-QOQ MS/MS
Archer <i>et al.</i> (2017)	Sudáfrica	Anfetamina y otros 89 compuestos	UPLC/TDQ-MS
Campestrini y Jardim (2017)	Brasil	Cocaína y su metabolito benzoilecgonina	LC MS/MS

**Abreviaturas.** COE: cocaetileno, EDDP: 2-etilideno-1,5-dimetil-3,3-difenil-pirrolidina, MDA: 3,4-metilendioxi-anfetamina, MDMA: 3,4-metilendioxi-metanfetamina, NOR: norcocaína, THC: tetrahidrocannabinol. MCR-ALS: multivariate curve resolution alternating least squares, GC-MS: gas chromatography-mass spectrometry, HPLC: high performance liquid chromatography, LC-ESI-IT-MS: liquid chromatography- electrospray-ion trap mass spectrometry, LC-ESI(+)-MS/MS: Liquid chromatography-electrospray ionization tandem mass spectrometry, LC-MS/MS: Liquid chromatography-mass spectrometry, LC-QOQ-MS/MS: liquid chromatography-triple quadrupole-tandem mass spectrometry, LOD: límite de detección del método, MIP-SPE: molecularly imprinted polymer-solid phase extraction, MS/MS: mass spectrometry, SPE: solid phase extraction, SPE-CE: solid-phase extraction-capillary electrophoresis, UPLC/TDQ-MS: Ultra-performance liquid chromatography system coupled to a triple quadrupole mass spectrometer.

**Figura 2. Regiones geográficas donde se realizaron los estudios incluidos en la revisión (elaboración con ayuda del sitio online mapchart.net).**



## ◆◆ RESULTADOS

### • Análisis de los estudios y principales hallazgos

La tabla 1 resume la región geográfica, las drogas analizadas y los métodos analíticos empleados en cada uno de los artículos seleccionados, listados en orden cronológico. En la figura 2 se resaltan los países donde se realizaron los estudios analizados en el presente trabajo. En la tabla 2 se relaciona cada estudio con la droga y/o los metabolitos investigados y sus respectivas concentraciones reportadas.

Adicionalmente a la determinación de las drogas ilícitas y a la descripción del método analítico empleado para ello, los autores de los trabajos analizados en esta revisión realizaron evaluaciones y observaciones complementarias que se resumen a continuación.

Zuccato *et al.* (2005) demostraron la eficacia de su método para estimar el consumo de cocaína (COC) por la población a partir de me-

dir los niveles de COC y su metabolito benzoilecgonina (BEN) en el agua de ríos. Las concentraciones que encontraron en el río Po indican que constantemente transporta el equivalente a 4 kilogramos de COC por día, lo que sugiere un consumo de 27 dosis al día (cada dosis de 100 mg en promedio) por cada mil adultos jóvenes.

Van Nuijs *et al.* (2009) también propusieron el desarrollo de una nueva «epidemiología de aguas residuales» después de analizar diez ríos (tabla 2) y treinta plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARS). Las mediciones permitieron estimar un mayor consumo durante los fines de semana y durante el invierno, así como el efecto de la temperatura y el pH en la degradación de COC y BEN puesto que se observó una mayor concentración de las drogas en el invierno, lo que sugiere una hidrólisis más lenta en agua a baja temperatura. Por su parte, Botello *et al.* (2012) propusieron un méto-

do, tanto útil como ecológico, para medir drogas en agua superficial (río Ebro) y del grifo, ya que cada análisis consume bajas cantidades de solventes orgánicos. En las muestras de agua de grifo (Tarragona, España) no encontraron ni COC ni las otras sustancias investigadas.

A lo largo del río Colorado, Jones-Lepp *et al.* (2012) investigaron además de drogas ilícitas (tabla 2), la presencia de algunos fármacos. El antibiótico azitromicina junto con las drogas metanfetamina (MET) y pseudoefedrina (PSE) fueron las sustancias encontradas con mayor frecuencia. Debido a la gestión del agua que se realiza en esa zona geográfica, los autores resaltaron la importancia de conocer la presencia de estos contaminantes sobre todo en fuentes de agua que se usan para el abastecimiento de agua potable.

En lo que respecta al desarrollo de técnicas optimizadas para la detección de drogas en muestras de agua de ríos, Wongniramaikul *et al.* (2012) lograron reducir con su método analítico los límites de detección de anfetamina (ANF) y metilanfetamina (META) a  $5.43 \pm 0.07$  ng/L y  $7.6 \pm 0.4$  ng/L, respectivamente.

Jiang *et al.* (2014) analizaron las aguas costeras del suroeste de Taiwán para determinar la ocurrencia de diez drogas ilícitas, siete antiinflamatorios no esteroideos, cinco antibióticos, entre otros compuestos. Además de las drogas de interés, en este trabajo resaltó la presencia de PSE en todas las muestras analizadas en una concentración promedio de  $1.40 \pm 0.41$  ng/L. Adicionalmente los autores calcularon los cocientes de riesgo (RQ) para organismos acuáticos de diez compuestos, entre ellos la droga MDMA, a partir de la concentración ambiental medida (MEC) y de la concentración prevista sin efecto (PNEC). Los fármacos codeína y



**LOS FÁRMACOS  
CODEÍNA Y AMPICILINA  
PRESENTARON UN  
RQ>1 LO CUAL INDICA  
QUE SU PRESENCIA  
PODRÍA SIGNIFICAR UN  
ALTO RIESGO PARA LOS  
ORGANISMOS ACUÁTICOS  
DE LAS AGUAS COSTERAS.**

ampicilina presentaron un RQ >1 lo cual indica que su presencia podría significar un alto riesgo para los organismos acuáticos de las aguas costeras. Por el contrario, MDMA presentó un RQ menor a 0.01, por lo que es poco probable que implique algún riesgo ambiental.

Senta *et al.* (2015) detectaron niveles traza de 25 drogas sintéticas en aguas residuales y en el río Sava, en su mayoría anfetaminas. En el río, la mayoría de los compuestos no se detectaron o se detectaron por debajo de los límites de detección del método, con excepción de la MDMA (tabla 2), de la metilona (1.8 ng/L) y de la PSE (30 ng/L). Respecto a las aguas residuales estudiadas, los autores reportaron que la ocurrencia de las drogas coincidió con eventos

**Tabla 2. Concentraciones máximas o rango de concentraciones reportado para cada droga y/o metabolito en agua superficiales.**

Estudio (autor y año de publicación)	Concentración de cada droga / metabolito en nanogramos por litro (ng/L)									
	ANF	MET	MDMA	META	COC	COE	NOR	BEN	CABN	THC
Zuccato et al. (2005)	-	-	-	-	1.2 ± 0.2 <sup>c</sup>	-	-	25 ± 5 <sup>c</sup>	-	-
Van Nuijs et al. (2009)	-	-	-	-	2 - 115 <sup>a</sup> 4 - 97 <sup>b</sup>	-	-	9 - 520 <sup>a</sup> 8 - 264 <sup>b</sup>	-	-
Botello et al., (2012)	-	-	-	-	270	-	-	-	-	-
Jones-Lepp et al. (2012)	-	570	96	-	-	-	-	-	-	-
Wongniramaikul et al. (2012)	29 ± 3	-	-	15 ± 4	-	-	-	-	-	-
Jiang et al. (2014)	ND	ND	4.82	-	ND	-	-	-	ND	-
Senta et al. (2015)	<LD	ND	8.6	-	-	-	-	-	-	-
Vosough et al. (2015)	-	ND	-	-	-	-	-	-	-	-
Lee et al. (2016)	630	7	<LD	-	-	-	-	-	-	-
Li et al. (2016)	<LD <sup>d</sup> 1.4 ± 0.4 <sup>e</sup>	95.9 <sup>d</sup> 58.2 ± 18.6 <sup>e</sup>	<LD <sup>d</sup> 1.3 ± 0.5 <sup>e</sup>	-	<LD <sup>d</sup> 0.7 ± 0.5 <sup>e</sup>	-	-	<LD <sup>d</sup> 1.4 ± 0.4 <sup>e</sup>	-	-
Wang et al. (2016)	1.41 - 3.26	0.1 - 42.0	ND	-	0.053 - 12.9	-	-	0.07 - 16.2	-	-
Asimakopoulos et al. (2017)	ND	ND	ND	-	ND	ND	ND	6.4	ND	ND
Archer et al. (2017)	27.1 - 37.0	ND	-	-	ND	ND	-	ND	-	-
Campestrini y Jardim (2017)	-	-	-	-	6 - 62	-	-	10 - 1019	-	-

<sup>a</sup> muestras obtenidas en verano; <sup>b</sup>muestras obtenidas en invierno; <sup>c</sup>media reportada; <sup>d</sup>agua de lagos; <sup>e</sup>agua de ríos; (-) = no fue investigada. Abreviaturas: <LD: debajo del límite de detección del método; ND: no detectado; ANF: anfetamina, BEN: benzoilecgonina, CABN: cannabinoil, COC: Cocaína, COE: cocaetileno, MDMA: 3,4-metilendioximetanfetamina, MET: metanfetamina, META: metilamfetamina, NOR: norcocaína, THC: tetrahidrocannabinol.

especiales y festivales musicales con audiencia juvenil en la región de Zagreb. Asimismo, varias de las sustancias medidas son componentes usuales de medicamentos antigripales de venta libre lo que explicó su presencia.

La principal contribución de Vosough et al. (2015) fue su combinación de métodos para la cuantificación de PSE y MET tanto en aguas subterráneas como en agua de ríos (río Kan de la provincia de Tehrán). Ninguna de las dos drogas fue detectada en el río (tabla 2).

Lee et al. (2016) analizaron tanto drogas ilícitas (tabla 2) como fármacos (por ejemplo, paracetamol y morfina) en aguas superficiales de Baltimore, Maryland. Adicionalmente realiza-

ron estudios de ecotoxicidad encontrando que la presencia de ANF produjo cambios en la composición de las comunidades bacterianas y de diatomeas en las cuencas de Oregon Ridge y Gwynns Falls, constituyendo un riesgo ambiental potencial.

Li et al. (2016) analizaron muestras de 49 lagos y cuatro grandes ríos (Songhua, Yellow, Yangtze y Pearl). MET y ketamina fueron las drogas de mayor presencia sobre todo en el sur del país, lo cual coincide, según los autores, con las drogas de mayor abuso y producción clandestina en China. En general los lagos tuvieron menor presencia de las sustancias investigadas en comparación con los ríos.

Wang et al. (2016) analizaron 36 ríos que desembocan en el mar de Bohai y en el norte del Mar



**A PARTIR  
DEL ANÁLISIS  
SISTEMÁTICO SE  
OBSERVÓ (TABLAS  
1 Y 2) QUE LAS  
SUSTANCIAS  
ENCONTRADAS EN  
MAYOR PROPORCIÓN  
Y FRECUENCIA  
EN AGUAS  
SUPERFICIALES  
FUERON ANF, MET,  
META, MDMA Y BEN.**

Amarillo (norte de China). Las mayores concentraciones de drogas ilícitas y sus metabolitos se encontraron en áreas con una alta densidad de población. MET y ketamina fueron las drogas más frecuentes en todas las muestras. Se estimó que la entrada total de drogas ilícitas en los cuerpos de agua estudiados oscila entre 684 a 1,160 kg por año.

El grupo de investigación de Asimakopoulou *et al.* (2017) diseñó un nuevo método basado en la preparación de las muestras por evaporación para la posterior determinación simultánea de 89 compuestos, incluidos medicamentos neuropsiquiátricos legales y drogas ilícitas, presentes tanto en agua potable, agua superficial, así como en aguas residuales (sin filtración previa). El agua superficial analizada fue de un lago en el estado de Nueva York, EE. UU. Las únicas drogas encontradas en el lago fueron BEN (tabla 2) y PSE (49.7 ng/L), pero adicionalmente se detectaron once fármacos y sus metabolitos (hidrocodona, oxicodona, clordiazepóxido, desmetilmirtazapina, desmetilcitalopram, y cafeína, entre otros).

Archer *et al.* (2017) analizaron noventa sustancias en aguas residuales tratadas en una PTAR situada en Gauteng Provincia de Sudáfrica y aguas de un río cercano donde la PTAR descarga su efluente. Dicho río se une a otras corrientes para alimentar una presa que abastece de agua potable a comunidades aledañas. En las aguas superficiales se encontraron cuarenta de los compuestos investigados pero la gran mayoría fueron fármacos, las drogas presentes sólo fueron ANF (tabla 2) y PSE (en un rango de 38.8 – 80.4 ng/L). Los autores mencionaron que ANF no necesariamente aparece en el agua debido a su abuso directo, sino que también proviene del metabolismo de MET y de su uso como ingrediente activo en medicamentos para el déficit de atención.

Finalmente, Campestrini y Jardim (2017) analizaron aguas de 16 ríos del estado de São Paulo y de la presa de Guarapiranga (ciudad de São Paulo); estos cuerpos de agua abastecen de agua potable a más de diez millones de personas. Con base en las concentraciones de-

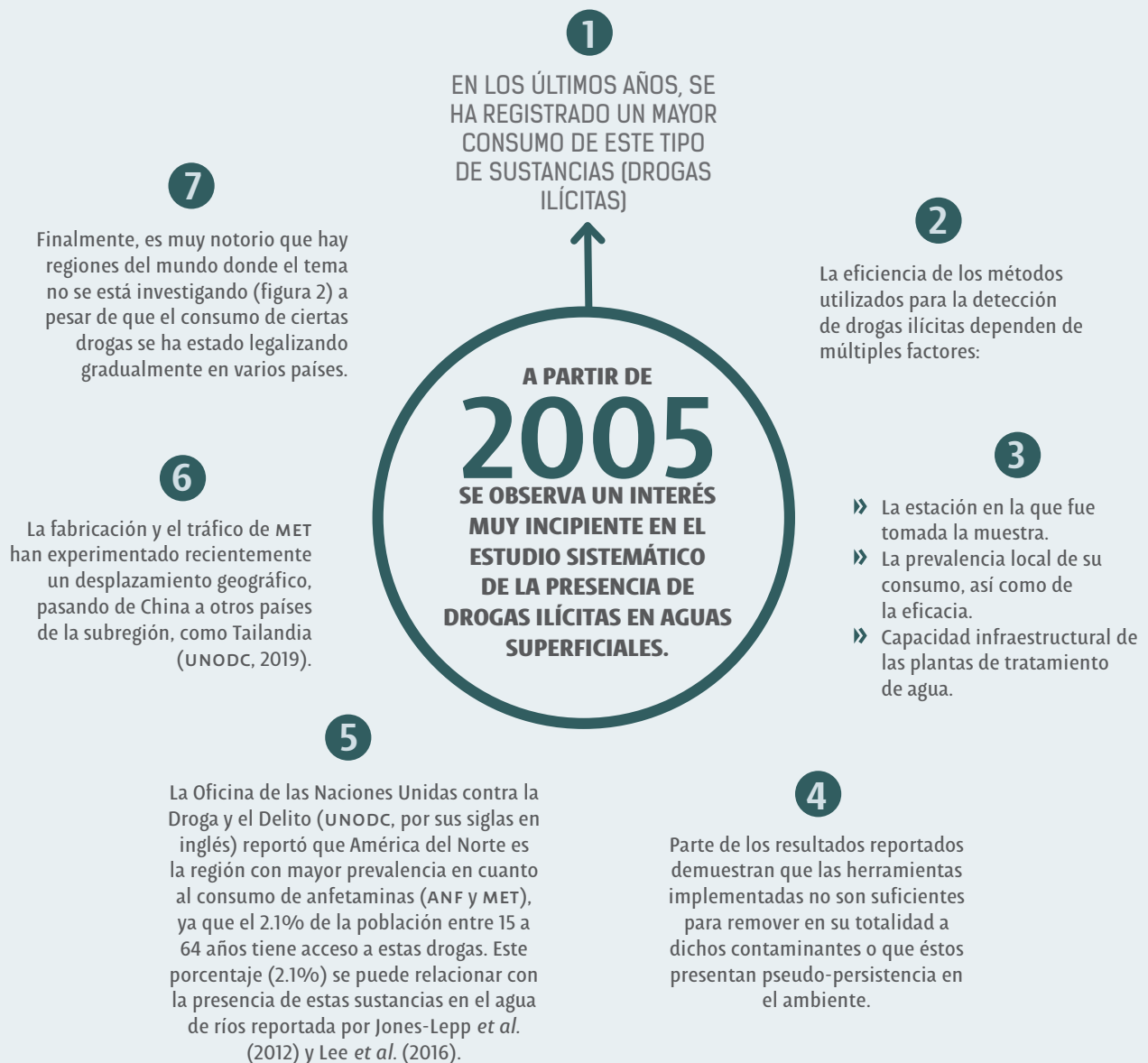
tectadas de COC y BEN, los autores concluyeron que la medición de BEN podría utilizarse como un indicador confiable de la contaminación del agua.

## DISCUSIÓN

La búsqueda inicial en PubMed arrojó un número reducido de trabajos sobre el tema investigado y tuvieron que descartarse una gran cantidad de estudios por tratarse de investigaciones no relacionadas con el tema o que medían concentraciones de los analitos de interés, pero en aguas residuales, o bien, estudios que se enfocaron en el desarrollo de métodos analíticos, pero que no analizaban o reportaban concentraciones en muestras reales de aguas superficiales. De acuerdo con la revisión, a partir de 2005 se observa un interés muy incipiente en el estudio sistemático de la presencia de drogas ilícitas en aguas superficiales.

El consumo de drogas ilícitas repercute desde la salud, vida social hasta la economía de los países. En los últimos años, se ha registrado un mayor consumo de este tipo de sustancias y, consecuentemente, su detección también se ha visto incrementada ya que una vez que son consumidas por el ser humano son metabolizadas parcialmente y excretadas en aguas residuales. Sin embargo, la eficiencia de los métodos utilizados para la detección de drogas ilícitas dependen de múltiples factores como, por ejemplo, la estación en la que fue tomada la muestra, la prevalencia local de su consumo, así como de la eficacia y capacidad infraestructural de las plantas de tratamiento de agua. Por ello, parte de los resultados reportados demuestran que las herramientas implementadas no son suficientes para remover en su totalidad a dichos contaminantes o que éstos presentan pseudo-persistencia en el ambiente. Consecuentemente, su ocurrencia se expande, en concentraciones de ng/L, a cuerpos acuáticos de ríos, así como a fuentes de agua potable. A partir del análisis sistemático se observó (tablas 1 y 2) que las sustancias encontradas en mayor proporción y frecuencia en aguas superficiales fueron ANF, MET, META, MDMA y

## DISCUSIÓN





**EL CONSUMO DE  
DROGAS ILÍCITAS  
REPERCUTE  
DESDE LA  
SALUD, VIDA  
SOCIAL HASTA LA  
ECONOMÍA DE  
LOS PAÍSES.**

BEN. Esta última es producto del metabolismo hepático y posterior excreción urinaria cuando la cocaína es consumida por el hombre, sin embargo, también es generada por la hidrólisis química de la cocaína en las aguas residuales (Postigo *et al.*, 2011). La BEN ha sido encontrada no solo en ríos sino hasta en el agua potable y ha demostrado tener un impacto ecotóxico importante en organismos acuáticos modelo como el mejillón *D. polymorpha* (Binelli *et al.*, 2013; Boxall *et al.*, 2011; Zuccato *et al.*, 2005).

En lo que respecta a la marihuana, de acuerdo con los índices de consumo de drogas recreativas reportados por la Organización de Estados Americanos (OEA, 2019) la prevalencia de consumo de marihuana es mayor en Estados Unidos. Sin embargo, ninguno de los artículos revisados sobre compuestos de la marihuana en cuerpos de agua de este país reportó la presencia de cannabidiol, cannabinol (CABN) o tetrahidrocannabinol (THC) en agua de ríos (Lee *et al.*, 2016; Asimakopoulos *et al.*, 2017). Esto puede ser consecuencia de distintos factores como la falta de sensibilidad de los métodos analíticos utilizados, o bien, de una posible transformación ambiental de la marihuana a distintos metabolitos, que bien podrían ser todavía desconocidos dificultando su identificación. De igual forma es posible que, en el caso particular de la marihuana, el procesamiento por plantas de tratamiento de aguas residuales sí favorezca su degradación y desaparición y, una vez que estas aguas son descargadas en los ríos, la concentración de la droga sea mínima, haciendo difícil su detección. Esto coincide con lo que reportan Jiang

*et al.* (2014) en cuyo estudio no lograron detectar CABN por encima del límite de detección del método.

Más aún, se ha determinado para varias drogas de abuso que la naturaleza del compuesto y las características como su polaridad y quiralidad condicionan también su presencia, estabilidad y toxicidad en el medio ambiente, en particular en cuerpos de agua (Kasprzyk-Hordern, 2010).

Por otra parte, la distribución geográfica mundial observada para las drogas en las que se centró este trabajo apunta al impacto que tiene no solo la legislación de su uso, sino las circunstancias socioeconómicas que influyen en el consumo. Por ello, en 2019, la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC, por sus siglas en inglés) reportó que América del Norte es la región con mayor prevalencia en cuanto al consumo de anfetaminas (ANF y MET), ya que el 2.1% de la población entre 15 a 64 años tiene acceso a estas drogas. Este porcentaje (2.1%) se puede relacionar con la presencia de estas sustancias en el agua de ríos reportada por Jones-Lepp *et al.* (2012) y Lee *et al.* (2016). Se observa un comportamiento similar en cuanto al consumo de COC en las investigaciones realizadas por Jiang *et al.* (2014) y Wang *et al.* (2016) puesto que en el mismo informe de la UNODC se ha reportado que en algunas partes de Asia y África Occidental se han realizado incautaciones de cantidades de COC cada vez mayores, lo que indica que está aumentando su consumo. Por su parte, las cantidades de MET incautadas en Asia Oriental y Sudoriental se octuplicaron a lo largo de diez años entre 2007 y 2017 hasta alcanzar la cifra



de 82 toneladas, que representa el 45% de las incautaciones mundiales y sigue en aumento. La fabricación y el tráfico de MET han experimentado recientemente un desplazamiento geográfico, pasando de China a otros países de la subregión, como Tailandia (UNODC, 2019). Esto parece coincidir con lo evidenciado por Wang *et al.* (2016) puesto que, en su investigación, se discute que la falta de detección de MET es debido a su bajo consumo en la comunidad china.

De acuerdo a la tabla 1 y a la revisión de los trabajos incluidos en el presente análisis fue posible observar la evolución e importante avance que han tenido los métodos analíticos empleados en la extracción, concentración y detección de los compuestos de interés a partir de las muestras ambientales. El acoplamiento de distintas técnicas ha mejorado considerablemente la sensibilidad de los análisis y los límites de detección son cada vez más bajos. Sin embargo, la falta de detección de algunas sustancias sugiere que aún hay retos por resolver, no sólo analíticos, sino de comprensión e identificación de metabolitos o productos de degradación que aún no se han caracterizado como, por ejemplo, en el caso de la marihuana.

Finalmente, es muy notorio que hay regiones del mundo donde el tema no se está investigando (figura 2) a pesar de que el consumo de ciertas drogas se ha estado legalizando gradualmente en varios países como, por ejemplo, el consumo de cannabis con fines no médicos en Canadá, Uruguay y en algunas jurisdicciones de Estados Unidos (UNODC, 2019). El monitoreo de drogas y sus metabolitos en aguas superficiales puede servir como herramienta para el reconocimiento temprano de su nivel de consumo en

diversas poblaciones, como parte de las actividades de mitigación del abuso de drogas (Van Nuijs *et al.*, 2009). Lo anterior se ha sugerido como una medida de preservación del anonimato de los individuos mientras que se realizan monitoreos locales, en tiempo real, de las tendencias en la producción, la distribución y el abuso de drogas (Zuccato *et al.*, 2005). Adicionalmente, la detección de drogas en aguas superficiales contribuye a una mejor comprensión de su destino ambiental, así como a la implementación de manera oportuna de tecnologías para su degradación y remoción. Es por ello que más países debieran sumarse al monitoreo, así como promover la innovación tecnológica y establecer las regulaciones necesarias a nivel local con una perspectiva global de protección al ambiente.

Una limitación del presente trabajo consiste en que se realizó la búsqueda de artículos únicamente en PubMed. Sin embargo, esta base de datos se caracteriza por su amplia cobertura de revistas especializadas, por su accesibilidad y por las diferentes posibilidades de búsqueda que ofrece que permiten recuperar información de manera más eficiente y específica. En este caso en particular, la búsqueda aplicando términos MeSH confiere mayor precisión al tratarse de un vocabulario controlado y, por lo tanto, optimiza los resultados obtenidos. Aun cuando es factible que algunos trabajos hayan sido omitidos por no encontrarse en PubMed, también es muy probable que no se hubiera encontrado gran variación en las drogas detectadas, sus concentraciones y en los países que están analizando el problema con el suficiente rigor científico.



**LA DETECCIÓN DE DROGAS EN AGUAS SUPERFICIALES CONTRIBUYE A UNA MEJOR COMPRESIÓN DE SU DESTINO AMBIENTAL, ASÍ COMO A LA IMPLEMENTACIÓN DE MANERA OPORTUNA DE TECNOLOGÍAS PARA SU DEGRADACIÓN Y REMOCIÓN.**



## CONCLUSIONES

En los catorce estudios analizados en la presente revisión sistemática, ANF, MET, COC y su principal metabolito BEN fueron las drogas de abuso comúnmente detectadas en aguas superficiales en comparación con los compuestos de la marihuana, CABN y THC. Estos resultados se relacionaron con los países donde se llevaron a cabo los estudios y con las estadísticas de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC, 2019). Durante la revisión de los trabajos se observó un gran interés por optimizar los métodos analíticos empleados para la detección y cuantificación de drogas en ríos y lagos. Desafortunadamente fue muy notorio que hay regiones del mundo donde el tema no se está investigando a pesar de que el consumo de ciertas drogas se ha estado legalizando gradualmente. Por lo anterior, esta revisión hizo evidente la necesidad de promover la investigación e innovación en cuanto a los métodos analíticos para la detección oportuna de estas sustancias; así como la integración y correlación de los datos obtenidos, con la información epidemiológica de su suministro y consumo. A pesar de que las investigaciones realizadas alrededor del mundo reflejan bajas concentraciones de este tipo de contaminantes, su presencia continua en los ecosistemas, especialmente acuáticos, representa un factor de riesgo para el desarrollo de efectos ecotoxicológicos. Por ello, también se requiere implementar las regulaciones pertinentes en los diferentes países de modo que se aborde mejor el impacto ambiental de las adicciones y se consideren estrategias efectivas para su contención.



### Jorge Luis Mejía-Méndez

Licenciado en Ciencias Farmacéuticas por la UDLAP. Actualmente es estudiante del Doctorado en Biomedicina Molecular en la misma institución donde su investigación se encuentra dirigida a la obtención, identificación y encapsulación de principios activos de plantas medicinales. [jorge.mejiamz@udlap.mx](mailto:jorge.mejiamz@udlap.mx)



### Miriam Nolasco-López

Licenciada en Ciencias Farmacéuticas por la Universidad de Las Américas Puebla (UDLAP). Obtuvo su maestría en Administración de Servicios de Salud por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Actualmente estudia el Doctorado en Biomedicina Molecular en la UDLAP. [miriam.nolascolz@udlap.mx](mailto:miriam.nolascolz@udlap.mx)



### Araliz López-Pintor

Médico cirujano y partero por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Obtuvo su maestría en Educación en el área de Biología por la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente estudia el Doctorado en Biomedicina Molecular en la UDLAP. [araliz.lopezpr@udlap.mx](mailto:araliz.lopezpr@udlap.mx)



### Lucila Isabel Castro Pastrana

#### AUTOR DE CORRESPONDENCIA

Doctora en Bioquímica Farmacéutica por la Universidad de Tübingen, Alemania. Fue profesora visitante en la Universidad de British Columbia en temas de farmacovigilancia y farmacogenómica. Es autora y compiladora de cuatro libros sobre farmacovigilancia. Se encuentra certificada por trayectoria profesional en el perfil Farmacia por el Colegio Nacional de Químicos Farmacéuticos Biólogos México. Es profesora de tiempo completo de la UDLAP. [lucila.castro@udlap.mx](mailto:lucila.castro@udlap.mx)

 REFERENCIAS

- Archer, E., Petrie, B., Kasprzyk-Hordern, B. y Wolfaardt, G. M. (2017). The fate of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs), endocrine disrupting contaminants (EDCs), metabolites and illicit drugs in a WWWT and environmental waters. *Chemosphere*, 174, 437-446.
- Asimakopoulos, A. G., Kannan, P., Higgins, S. y Kannan, K. (2017). Determination of 89 drugs and other micropollutants in unfiltered wastewater and freshwater by LC-MS/MS: an alternative sample preparation approach. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 409(26), 6205-6225.
- Binelli, A., Marisa, I., Fedorova, M., Hoffmann R. y Riva, C. (2013). First evidence of protein profile alteration due to the main cocaine metabolite (benzoylecgonine) in a freshwater biological model. *Aquatic Toxicology*, 140-141, 268-78.
- Botello, I., Borrull, F., Aguilar, C. y Calull, M. (2012). Investigation of in-line solid-phase extraction capillary electrophoresis for the analysis of drugs of abuse and their metabolites in water samples. *Electrophoresis*, 33(3), 528-535.
- Boxall, A. B. A., Monteiro, S. C., Fussell, R., Williams, R. J., Bruemer, J., Greenwood, R. y Bersuder, P. (2011). Targeted monitoring for human pharmaceuticals in vulnerable source and final waters. Drinking Water Inspectorate Project No. WD0805 (Ref DWI 70/2/231). London: Drinking Water Inspectorate. Recuperado de: [http://www.dwi.gov.uk/research/completed-research/reports/DWI70\\_2\\_231.pdf](http://www.dwi.gov.uk/research/completed-research/reports/DWI70_2_231.pdf)
- Camestrini, I. y Jardim, W. F. (2017). Occurrence of cocaine and benzoylecgonine in drinking and source water in the São Paulo State region, Brazil. *Science of The Total Environment*, 576, 374-380.
- Jiang, J. J., Lee, C. L. y Fang, M. D. (2014). Emerging organic contaminants in coastal waters: Anthropogenic impact, environmental release and ecological risk. *Marine pollution bulletin*, 85(2), 391-399.
- Jones-Lepp, T. L., Sanchez, C., Alvarez, D. A., Wilson, D. C. y Taniguchi-Fu, R. L. (2012). Point sources of emerging contaminants along the Colorado River Basin: source water for the arid Southwestern United States. *Science of the Total Environment*, 430, 237-245.
- Kasprzyk-Hordern, B. (2010). Pharmacologically active compounds in the environment and their chirality. *Chemical Society Reviews*, 39, 4466-4503.
- Lee, S. S., Paspalof, A. M., Snow, D. D., Richmond, E. K., Rosi-Marshall, E. J. y Kelly, J. J. (2016). Occurrence and potential biological effects of amphetamine on stream communities. *Environmental science & technology*, 50(17), 9727-9735.
- Li, K., Du, P., Xu, Z., Gao, T. y Li, X. (2016). Occurrence of illicit drugs in surface waters in China. *Environmental pollution*, 213, 395-402.
- Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC). (2019). Primer resumen, conclusiones y consecuencias en materia de políticas. Informe mundial sobre las drogas. Recuperado de [https://wdr.unodc.org/wdr2019/prelaunch/WDR2019\\_B1\\_S.pdf](https://wdr.unodc.org/wdr2019/prelaunch/WDR2019_B1_S.pdf)
- Organización de los Estados Americanos. (2019). Informe sobre el consumo de drogas en las Américas 2019. Recuperado de <http://www.cicad.oas.org/main/pubs/Informe%20sobre%20el%20consumo%20de%20drogas%20en%20las%20Américas%202019.pdf>
- Parolini, M., Magni, S., Castiglioni, S., Zuccato, E. y Binelli, A. (2015). Realistic mixture of illicit drugs impaired the oxidative status of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*). *Chemosphere*, 128, 96-102.
- Postigo, C., Sirtori, C., Oller, I., Malato, S., Maldonado, M. I., López de Alda, M., Barceló, D. (2011). Solar transformation and photocatalytic treatment of cocaine in water: Kinetics, characterization of major intermediate products and toxicity evaluation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 104(1-2), 37-48.
- Senta, I., Krizman, I., Ahel, M. y Terzic, S. (2015). Multiresidual analysis of emerging amphetamine-like psychoactive substances in wastewater and river water. *Journal of Chromatography A*, 1425, 204-212.
- Stasinakis, A. S., Thomaidis, N. S., Arvaniti, O. S., Asimakopoulos, A. G., Samaras, V. G., Ajibola, A., Mamais, D. y Lekkas, T. D. (2013). Contribution of primary and secondary treatment on the removal of benzothiazoles, benzotriazoles, endocrine disruptors, pharmaceuticals and perfluorinated compounds in a sewage treatment plant. *Science of the Total Environment*, 463-464, 1067-1075. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.06.087
- Urrútia, G. y Bonfill, X. (2010) Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica (Barcelona)*, 135(11), 507-511.
- Van Nuijs, A. L., Pecceu, B., Theunis, L., Dubois, N., Charlier, C., Jorens, P. G. y Covaci, A. (2009). Spatial and temporal variations in the occurrence of cocaine and benzoylecgonine in waste-and surface water from Belgium and removal during wastewater treatment. *Water research*, 43(5), 1341-1349.
- Vosough, M., Mohamedian, H., Salemi, A. y Baheri, T. (2015). Multivariate curve resolution-assisted determination of pseudoephedrine and methamphetamine by HPLC-DAD in water samples. *Journal of chromatographic science*, 53(2), 233-239.
- Wang, D. G., Zheng, Q. D., Wang, X. P., Du, J., Tian, C. G., Wang, Z. y Ge, L. K. (2016). Illicit drugs and their metabolites in 36 rivers that drain into the Bohai Sea and north Yellow Sea, north China. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(16), 16495-16503.
- Wongniramaikul, W., Choodum, A., Dennany, L. y Daeid, N. N. (2012). A comprehensive chromatographic comparison of amphetamine and methylamphetamine extracted from river water using molecular imprinted polymers and without the need for sample derivatization. *Journal of Separation Science*, 35(23), 3332-3339.
- Zuccato, E., Chiabrando, C., Castiglioni, S., Calamari, D., Bagnati, R., Schiarea, S. y Fanelli, R. (2005). Cocaine in surface waters: a new evidence-based tool to monitor community drug abuse. *Environmental Health*, 4(1), 14-20.