



Revisión de la presencia de productos farmacéuticos y de cuidado personal en diferentes cuerpos de agua en Latinoamérica

Review of the presence of pharmaceuticals and personal care products in different bodies of water in Latin America

Presentación: 30/07/2025

Aprobación: 17/09/2025

Publicación: 30/09/2025

Lina Marcela Alvarez Bayona

Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia.
lmalvarezb@ufpso.edu.co

Maria Angelica Alvarez Bayona

Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia.
maalvarezb@ufpso.edu.co

Resumen

La presencia de Contaminantes Emergentes (CE) en el ambiente, y especialmente en el agua es debida principalmente al uso diario y creciente de productos de cuidado personal (PCP), farmacéuticos (PhAC) y compuestos disruptores endocrinos (EDC). Los CE, aun en concentraciones a niveles de trazas, son capaces de generar serios daños potenciales en la salud y en los ecosistemas, entre los que se encuentran, problemas de desarrollo temprano en niños, trastornos a nivel nefrológico, neurológico, del ADN, de tiroides, además de estar asociados con la ocurrencia de varios tipos de cáncer. Debido a las limitaciones tecnológicas, pues la mayoría de los sistemas de tratamiento de agua no solo en Latinoamérica sino también a nivel mundial, utilizan tratamientos convencionales para su remoción, una porción significativa de los CE no se elimina. Así mismo, frecuentemente pasan inadvertidos, porque la mayoría son difíciles de detectar, y existen limitaciones tecnológicas y de infraestructura analítica en numerosos países, a lo cual se suma, que, en la mayoría de los casos, no se ha legislado nada al respecto. En el presente trabajo se analiza la ocurrencia de PCP y PhAC en diferentes matrices de agua en Latinoamérica, con el fin de dar a conocer

las problemáticas que existen en cuanto a contaminación del agua y de esta manera generar conciencia y la posible inclusión de estos en las normativas ambientales.

Palabras claves: Contaminantes emergentes, ibuprofeno, productos farmacéuticos, osmosis inversa, remoción.

Abstract

The presence of Emerging Contaminants (CE) in the environment, and especially in water, is mainly due to the daily and increasing use of personal care products (PCP), pharmaceuticals (PhAC) and endocrine disrupting compounds (EDC). EC, even in trace concentrations, can generate serious potential damage to health and ecosystems, including early developmental problems in children, neurological, neurological, DNA and thyroid disorders, as well as being associated with the occurrence of several types of cancer. Due to technological limitations, since most water treatment systems, not only in Latin America but also worldwide, use conventional treatments for their removal, a significant portion of EC are not eliminated. Likewise, they often go unnoticed, because most are difficult to detect, and there are technological and analytical infrastructure limitations in many countries, in addition to which, in most cases, nothing has been legislated in this regard. This paper analyzes the occurrence of PCP and PhAC in different water matrices in Latin America, to make known the problems that exist in terms of water contamination and thus raise awareness and the possible inclusion of these in environmental regulations.

Keywords: Emerging contaminants, ibuprofen, pharmaceuticals, reverse osmosis removal.m²

Introducción

Los impactos sobre la ecología, el medio ambiente y las fuentes hídricas han surgido como consecuencia del desmesurado crecimiento poblacional y las actividades antropogénicas; siendo el agua uno de los recursos más afectados en cuanto a pérdidas de disponibilidad y calidad. Entre las principales fuentes de contaminación se encuentran: las aguas residuales, la escorrentía agrícola y urbana, el desarrollo pecuario, residuos industriales, efluentes de plantas de tratamiento, la acumulación de sedimentos tóxicos, el uso incontrolable de pesticidas, la generación de energía, entre otros.

Rodriguez-Narvaez et al. (2017) señalan que “las investigaciones sobre la calidad del agua se centran comúnmente en nutrientes, contaminantes microbianos, metales pesados y contaminantes prioritarios. Sin embargo, investigaciones recientes revelan la presencia de una multitud de contaminantes orgánicos que afectan significativamente la calidad del agua” (Rodriguez-Narvaez et al., 2017); estos contaminantes se empezaron a estudiar durante la década de 1990 enfocándose en sustancias químicas que fueron “descubiertos recientemente” en el medio ambiente, no tenían normas reguladoras asociadas a ellos y, sin embargo, eran al menos potencialmente tóxicos para la vida silvestre e incluso para los humanos, este grupo de productos químicos ahora es reconocido como Contaminantes Emergentes (CE) (Poynton & Robinson, 2018).

La ocurrencia de CE en las aguas residuales, superficiales, subterráneas, en el suelo, en las precipitaciones, en la atmosfera y ocasionalmente en el agua potable; no es un tema nuevo, a medida que transcurre el tiempo y las técnicas utilizadas para su detección han avanzado

se han hecho más evidentes. Una de las principales causas de su presencia en el medio ambiente es el uso de productos químicos antropogénicos. Muchas de las investigaciones que se han realizado a nivel mundial han reportado que el origen de los CE principalmente se debe a que las aguas residuales son descargadas sin ningún tipo de tratamiento sobre las fuentes hídricas lo que ha generado con el paso de los años la bioacumulación y persistencia de estos.

Los productos farmacéuticos (PhAC) se consideran los principales CE que se encuentran en pequeñas cantidades en los recursos hídricos de todo el mundo (Chinnaiyan et al., 2018). Dichos productos se usan ampliamente para el tratamiento de enfermedades tanto humanas como veterinarias, investigaciones han informado que los que comúnmente se han detectado en aguas residuales son antibióticos, diclofenaco, antiácidos, ácido clrofíbrico, esteroides, antidepresivos, ciprofloxacina, propranolol, bloqueadores beta, analgésicos, ácido salicílico, fluoxetina, antipiréticos, antiinflamatorios, nitroglicerina, tranquilizantes, hipolipemiantes y estimulantes (Richardson & Kimura, 2017).

Los productos de cuidado personal (PCP) son compuestos químicos que comúnmente son utilizados para la salud, el olor, la belleza o la limpieza; de acuerdo con las investigaciones que se han realizado a nivel mundial los más detectados en el ambiente suelen ser los antisépticos, los perfumes como la galaxólida, los repelentes de plagas, los conservantes, los filtros ultravioletas (UV) de ftalato de dietilo y el triclosán (TCS) y el triclocarbán como desinfectantes (Mahmood et al., 2022).

Starling et al. (2019) señalan que “una vez que un CE o su producto de transformación alcanza un compartimento ambiental, puede sufrir diversos fenómenos, como: adsorción, absorción, dilución, hidrólisis, fotólisis, biodegradación, volatilización, oxidación o complejación” (Starling et al., 2019). Cada uno de estos fenómenos conduce a la degradación, transformación o persistencia del compuesto en el medio ambiente. Por lo tanto, los CE se encuentran a menudo en concentraciones reducidas (ng/L a µg/L) en compartimentos ambientales.

Entre las principales fuentes de contaminación del agua superficial se encuentran las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR), debido al bajo rendimiento de las tecnologías convencionales para la eliminación de cantidades a niveles de traza de los CE (Espíndola & Vilar, 2020). No obstante, la situación se hace más crítica en países en desarrollo, pues no cuentan con suficientes o carecen de estas y por lo tanto las descargas se hacen directamente sobre los cuerpos de agua.

De acuerdo con Reichert et al. (2019): “la entrada continua de CE en el medio ambiente puede afectar a varios organismos, principalmente microorganismos presentes en el agua dulce y la biota acuática en general” (Reichert et al., 2019). Gran parte de la comunidad científica ha informado, que al estar expuestos los seres humanos a diversos tipos CE se pueden generar enfermedades tales como: problemas neurológicos, nefrológicos, reproductivos, alteración del sistema endocrino, incluso varios tipos de cánceres (Maroneze et al., 2014).

Actualmente se utilizan diferentes técnicas analíticas para la cuantificación de los PhAC y PCP, dentro de las cuales se encuentran: los métodos voltamétricos (Fakhri B et al., 2024); la microextracción en fase sólida (SPME) (Oluwole et al., 2020); las técnicas de cromatografía, como la líquida con espectrómetro de masas (LC-MS) y de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) (Fakhri B et al., 2024); el ensayo por inmunoadsorción ligado a enzimas (ELISA) (Samal et al., 2022); la Espectrofotometría/Colorimetría (Kamali et al., 2023); Sensores electroquímicos y Biosensores (Loganathan et al., 2023); entre otros. Es de resaltar, que a medida que estas se han hecho más sensibles, las investigaciones han demostrado que

la presencia de estos compuestos ya sea a niveles de traza pueden generar efectos potenciales en la salud y los ecosistemas, es por ello, que surge la necesidad de tomar decisiones regulatorias para controlar dicha situación.

Este artículo de revisión tiene como objetivo investigar la presencia y ocurrencia de los CE tales como: productos farmacéuticos y de cuidado personal en países de Latinoamérica.

Minería De Datos

En el marco de esta investigación, se utilizó la base de datos Scopus, disponible en la biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (UFPSO). Introduciendo la siguiente ecuación de búsqueda: Emerging Contaminants and Pharmaceutical Products and Personal Care Products and Wastewater and Drinkwater and Surface Water. Como resultado, se identificaron un total de 700 publicaciones, que abarcan diversos tipos de documentos, como artículos de investigación, revisiones, ponencias presentadas en congresos y capítulos de libros (Fig. 1). Cabe destacar que todas estas publicaciones se consideraron fuentes primarias de literatura científica; la mayoría de los artículos son relevantes para el método de detección, las fuentes y los productos farmacéuticos. Los datos obtenidos fueron procesados a través de los paquetes bibliometrix y biblioshiny de R.

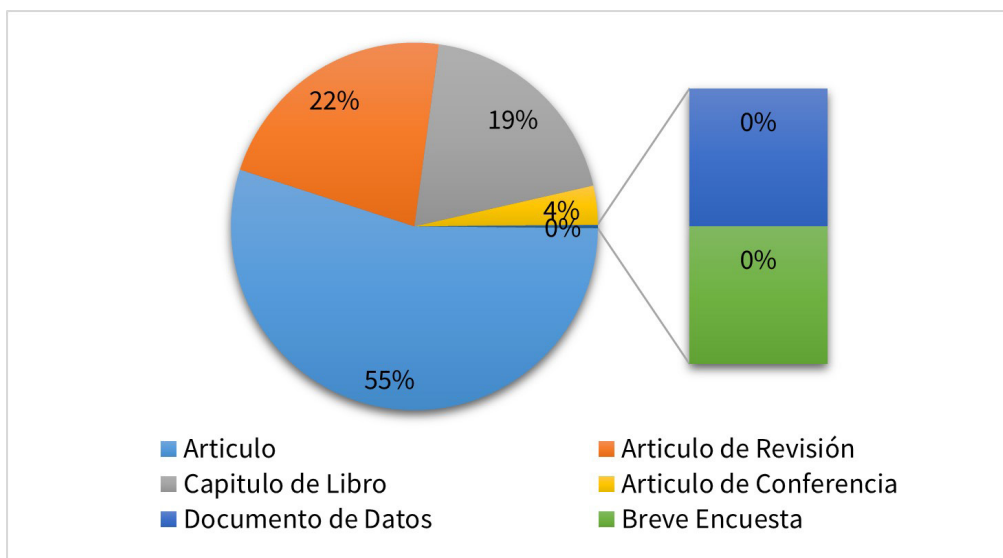
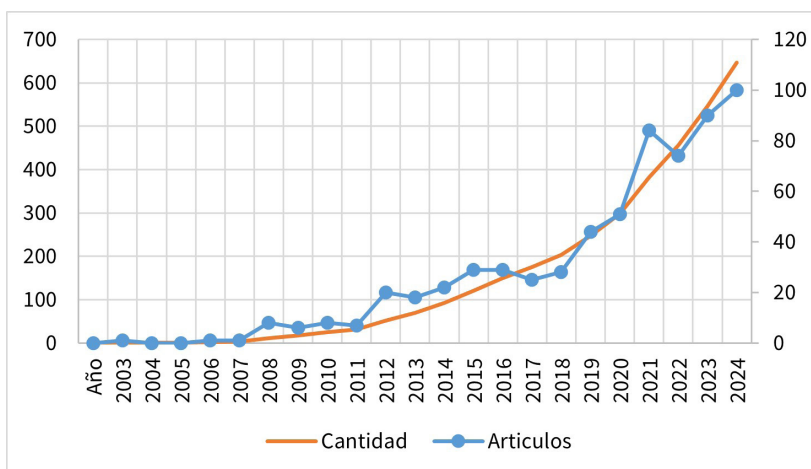
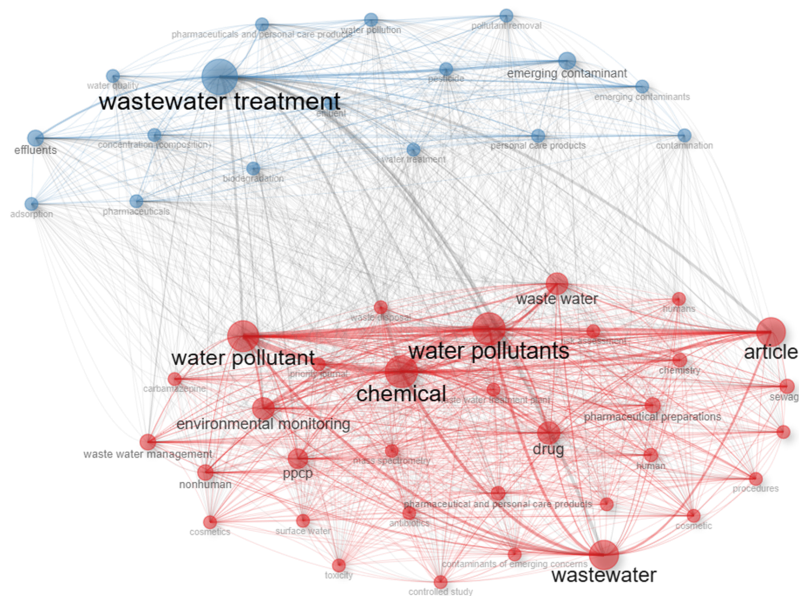


Fig. 1: Evaluación bibliométrica

El análisis estadístico de los 700 artículos examinados indica un crecimiento exponencial del 19,88 % anual, que abarca el período de 2003 a 2025. Esta tendencia se puede observar en la fig. 2, que muestra un aumento en las publicaciones científicas desde 2007 hasta la actualidad. En 2008, se registraron en la base de datos un total de 8 publicaciones sobre este tema, cifra que ha aumentado considerablemente a lo largo de los años. Para 2024, se registraron 100 publicaciones relacionadas con la presencia de CE en diferentes cuerpos de agua. Para 2025, ya se han registrado 54 publicaciones adicionales, lo que indica un flujo constante de investigación en esta área.



Es importante resaltar que casi toda la información en los documentos de revisión de los CE y PhAC está disponible solo para países europeos y norteamericanos (Lange et al., 2012). En consecuencia, es difícil evaluar las diferencias en los patrones de ocurrencia entre regiones geográficas (Tran et al., 2018). El número de estudios también está aumentando en Asia, principalmente en China, dejando una brecha de conocimiento en países de América del Sur y África (Ebele et al., 2017).



PCA plot showing the distribution of 20 terms related to water quality and environmental monitoring. The x-axis represents Dim 1 (60.23%) and the y-axis represents Dim 2 (15.73%). The terms are plotted as red dots with labels. The plot shows a clear separation between terms related to water quality (left) and terms related to environmental monitoring (right).

| Term | Dim 1 (60.23%) | Dim 2 (15.73%) |
|---|----------------|----------------|
| diclofenac | -1.0 | 1.0 |
| controlled sampling | -0.8 | 1.0 |
| fluorescence spectrometry | -0.7 | 1.0 |
| contaminants of emerging concerns | -0.5 | 1.0 |
| risk assessment | -0.4 | 1.0 |
| water contamination | -0.3 | 1.0 |
| pesticides | -0.2 | 1.0 |
| pharmaceuticals | -0.1 | 0.5 |
| pharmaceutical and personal care products | -0.1 | 0.0 |
| personal care products | 0.0 | 0.0 |
| emerging contaminants | 0.1 | 0.0 |
| emerging contaminants | 0.2 | 0.0 |
| effluents | 0.1 | -0.5 |
| wastewater treatment | -0.1 | -0.5 |
| wastewater | -0.2 | -0.5 |
| water pollution | -0.3 | -0.5 |
| water | -0.4 | -0.5 |
| bioremediation | -0.5 | -0.5 |
| pollutant | -0.6 | -0.5 |
| procedures | -0.7 | -0.5 |
| human | -0.8 | -0.5 |
| aquatic environment | -0.9 | -0.5 |
| cosmetics | -1.0 | -0.5 |
| pharmaceutical preparations | -1.1 | -0.5 |
| nonhuman | -0.8 | 0.0 |
| water quality | -0.6 | 0.5 |
| article | -0.7 | 0.5 |
| caffeine | -0.8 | 0.5 |
| surface water | -0.9 | 0.5 |
| environmental monitoring | -1.0 | 0.5 |
| water pollutants | -0.8 | 0.0 |
| water | -0.6 | 0.0 |
| trichloro | -0.5 | 0.0 |
| adsorption | 0.1 | -1.0 |
| waste water management | -0.8 | -1.0 |
| waste water | -0.9 | -1.0 |
| waste component removal | -0.7 | -1.2 |
| review | -0.7 | -1.3 |
| bioremediation | -0.5 | -1.0 |
| wastewater treatment | -0.3 | -0.7 |
| water treatment | -0.4 | -0.7 |
| water pollution | -0.3 | -0.4 |
| emerging contaminants | 0.0 | -0.1 |
| effluents | 0.1 | -0.1 |
| personal care products | 0.0 | 0.0 |
| pharmaceutical and personal care products | -0.1 | 0.0 |
| contamination | -0.2 | 0.0 |
| pesticides | -0.3 | 0.0 |
| water quality | -0.4 | 0.0 |
| trichloro | -0.5 | 0.0 |
| article | -0.6 | 0.0 |
| caffeine | -0.7 | 0.0 |
| surface water | -0.8 | 0.0 |
| environmental monitoring | -0.9 | 0.0 |
| water pollutants | -0.8 | 0.0 |
| water | -0.6 | 0.0 |
| trichloro | -0.5 | 0.0 |
| article | -0.7 | 0.0 |
| caffeine | -0.8 | 0.0 |
| surface water | -0.9 | 0.0 |
| environmental monitoring | -1.0 | 0.0 |
| water pollutants | -0.8 | 0.0 |
| water | -0.6 | 0.0 |
| trichloro | -0.5 | 0.0 |
| article | -0.7 | 0.0 |
| caffeine | -0.8 | 0.0 |
| surface water | -0.9 | 0.0 |
| environmental monitoring | -1.0 | 0.0 |
| water pollutants | -0.8 | 0.0 |
| water | -0.6 | 0.0 |
| trichloro | -0.5 | 0.0 |
| article | -0.7 | 0.0 |
| caffeine | -0.8 | 0.0 |
| surface water | -0.9 | 0.0 |
| environmental monitoring | -1.0 | 0.0 |
| water pollutants | -0.8 | 0.0 |
| water | -0.6 | 0.0 |
| trichloro | -0.5 | 0.0 |
| article | -0.7 | 0.0 |
| caffeine | -0.8 | 0.0 |
| surface water | -0.9 | 0.0 |
| environmental monitoring | -1.0 | 0.0 |
| water pollutants | -0.8 | 0.0 |
| water | -0.6 | 0.0 |
| trichloro | -0.5 | 0.0 |
| article | -0.7 | 0.0 |
| caffeine | -0.8 | 0.0 |
| surface water | -0.9 | 0.0 |
| environmental monitoring | -1.0 | 0.0 |
| water pollutants | -0.8 | 0.0 |
| water | -0.6 | 0.0 |
| trichloro | -0.5 | 0.0 |
| article | -0.7 | 0.0 |
| caffeine | -0.8 | 0.0 |
| surface water | -0.9 | 0.0 |
| environmental monitoring | -1.0 | 0.0 |
| water pollutants | -0.8 | 0.0 |
| water | -0.6 | 0.0 |
| trichloro | -0.5 | 0.0 |
| article | -0.7 | 0.0 |
| caffeine | -0.8 | 0.0 |
| surface water | -0.9 | 0.0 |
| environmental monitoring | -1.0 | 0.0 |
| water pollutants | -0.8 | 0.0 |
| water | -0.6 | 0.0 |
| trichloro | -0.5 | 0.0 |
| article | -0.7 | 0.0 |
| caffeine | -0.8 | 0.0 |
| surface water | -0.9 | 0.0 |
| environmental monitoring | -1.0 | 0.0 |
| water pollutants | -0.8 | 0.0 |
| water | -0.6 | 0.0 |
| trichloro | -0.5 | 0.0 |
| article | -0.7 | 0.0 |
| caffeine | -0.8 | 0.0 |
| surface water | -0.9 | |

Como dicho anteriormente, Brasil se posiciona como el país líder en la producción de documentos científicos relacionados con la presencia de PhAC y PCP en diferentes fuentes hídricas de Latinoamérica, esto se puede observar en la Fig. 5 donde se presenta con el color de mayor intensidad (azul oscuro), con un total de 88 publicaciones (el 41.9 % en la región), seguido por Argentina con 79 (37.6 %) y México (7.6 %); por otro lado, países como: Colombia (5.2 %), Chile (3.3 %) y Ecuador (1.9 %) tienen menor participación. Se puede observar entonces una marcada distribución entre los países del cono sur y andinos, mientras que en América Central y el caribe la producción sobre el tema es mucho menor, indicando brechas del conocimiento y evidenciando la necesidad de fortalecer la investigación en este campo y la generación de políticas públicas que incentiven el análisis, distribución y remoción de CE como una prioridad en la región.

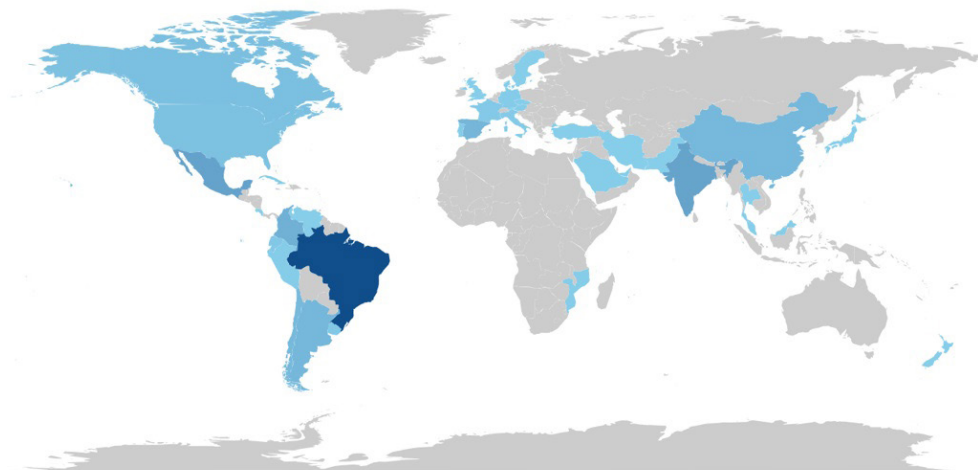


Fig. 5: Producción científica en países de la región

El análisis bibliométrico determinó que en los últimos cinco años Brasil sigue su liderazgo en la región con 10 publicaciones científicas en 2021 y 13 en 2023, por su parte, Argentina presenta un comportamiento más variable con 9 en 2022 y una tendencia a la disminución entre 2023 y 2025. México y Colombia permanecen estables con publicaciones entre 2 y 4 anualmente.

Se identificaron 53 CE entre PhAC (antibióticos, analgésicos/antiinflamatorios, psicofármacos, cardiovasculares, hormonas, estimulantes, gastrointestinales, otros) y PCP (antimicrobianos, filtros, fragancias, conservantes) estudiados en diferentes tipos de matrices ambientales donde las aguas superficiales son el foco principal de las investigaciones con un 37.2 %, seguido por las aguas subterráneas con un 11.4 % y los sedimentos con un 8.7 %. Es importante destacar, el limitado número de estudios que se han realizado al agua residual (6.9 %), potable (6.6 %) y marina (3 %) dada la relevancia que tiene esta última en la región.

Con respecto a las metodologías analíticas empleadas en la región para la identificación de PhAC y PCP la Cromatografía Líquida-Espectrometría de Masas en Tándem (LC-MS/MS) se posiciona como la más utilizada con un 5.5 %, seguido de la Cromatografía Líquida de Alto Rendimiento (HPLC) con un 4.6 %, ELISA con 1.7 % y GC-MS con 0.6 %, sin embargo, el 87.7 % de las publicaciones no especifica el método empleado, limitando de esta manera la evaluación de la calidad analítica con respecto a otros estudios de la región.

Ocurrencia en el Agua

La propagación de PhAC y PCP en el medio ambiente es debido a fuentes puntuales y no puntuales, la primera, se origina en fuentes discretas cuyas entradas a los sistemas acuáticos a menudo se pueden definir de una manera espacialmente explícita (Cipriani-Avila et al., 2023). Los ejemplos incluyen aguas residuales municipales, industriales, lixiviados de vertederos y descargas de hospitales (Singh et al., 2020). La segunda se origina en fuentes difusas y mal definidas que generalmente ocurren en escalas geográficas amplias (Wang et al., 2024), entre estos se encuentran: la escorrentía agrícola (pesticidas, patógenos y

fertilizantes), la escorrentía de aguas pluviales y urbanas, y la deposición atmosférica (deposición húmeda y seca de contaminantes orgánicos persistentes) (Ritter et al., 2002).

El principal problema radica en el fácil acceso y el uso diario que se tiene a los PhAC y PCP, los cuales son descargados al medio ambiente ya sea con tratamientos insuficientes o inexistentes, un estudio demostró que entre 1930 y 2000, la producción anual mundial de productos químicos antropogénicos aumentó de 1 millón a 400 millones de toneladas (Nawaz & Sengupta, 2018). Debido a su uso cada vez mayor en la industria, el transporte, la agricultura y la urbanización, estos productos químicos están ingresando al medio ambiente a niveles crecientes como desechos peligrosos y sustancias no biodegradables (X. Li et al., 2024).

Una vez que los PhAC y PCP ingresan a los ríos, estos se encargan de dispersarlos a otros cuerpos de agua, incluidos acuíferos, estuarios y sistemas marinos (Nishmitha et al., 2025). En las aguas del mar Báltico, por ejemplo, se ha confirmado la presencia de diferentes PhAC (Kisielius et al., 2024). Por su parte, los contaminantes descargados al agua subterránea pueden ocurrir a través de sistemas de tratamiento de desechos en el sitio (séptico), lo que amenaza estos suministros (Ashraf et al., 2023). Así mismo, el cambio climático también ha contribuido con la distribución de los PhAC y PCP en el medio ambiente ya que, al generarse tormentas e inundaciones extremas, pueden liberar contaminantes a través de la escorrentía superficial y también a través de la resuspensión de sedimentos en los ríos (Richardson & Kimura, 2017).

Países como Estados Unidos (Furlong et al., 2017), Japón (He et al., 2020), Reino Unido (Dawood et al., 2024), Finlandia (Kisielius et al., 2024) y España (Carballa et al., 2004) han documentado la presencia de PhAC y PCP en concentraciones de ng/L a µg/L en las PTAR. Sin embargo, las concentraciones detectadas en Latinoamérica (Ide et al., 2017; Locatelli et al., 2011; Mizukawa et al., 2017; Montagner & Jardim, 2011; Santos et al., 2016) son a menudo más altas que en otros países (Huerta et al., 2016; W. Li et al., 2016; Osorio et al., 2016; Patrolecco et al., 2015; Tlili et al., 2016; You et al., 2015).

Se realizó una revisión bibliográfica correspondiente al periodo 2020 – 2025, con el propósito de establecer la ocurrencia de los PhAC y PCP más estudiados en Latinoamérica en los diferentes cuerpos hídricos, tales como: agua potable, influentes y efluentes de las PTAR, efluentes hospitalarios, aguas residuales sin tratar, aguas superficiales, de mar y subterránea. El estudio permitió identificar 122 publicaciones, de las cuales se eliminaron las réplicas y aquellas que fueran referentes a la remoción en plantas a escala de laboratorio. Estableciendo que el mayor número de investigaciones que se ha realizado en la región en los últimos 5 años se ha centrado en las aguas superficiales y en las descargas sin tratar sobre ellas, evidenciando que estas son las principales receptoras y distribuidoras de estos contaminantes en el medio ambiente.

A continuación, se presenta la revisión sobre la ocurrencia de los PhAC y PCP en las diferentes fuentes hídricas de Latinoamérica.

Agua Potable y Fuentes de Abastecimiento

La ocurrencia o presencia de PhAC y PCP en el agua potable es un tema de vital importancia ya que se encuentra involucrada la salud de los seres humanos, muchas investigaciones han demostrado que estas sustancias tan solo a niveles de traza pueden ser potencialmente tóxicas, por lo tanto, su presencia debe ser evaluada y monitoreada desde las fuentes de abastecimiento hasta su distribución, como lo son: los reservorios, embalses, aguas superficiales, plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), entre otros.

En Latinoamérica se han desarrollado varios estudios donde se han encontrado concentraciones considerables de PhAC y PCP en el agua potable, sin embargo, la mayoría de las investigaciones se han realizado en países europeos y norteamericanos (Valdez-Carrillo et al., 2020). Por lo tanto, es difícil evaluar las diferencias en los patrones de ocurrencia entre regiones geográficas (Tran et al., 2018). El número de estudios también está aumentando en Asia, principalmente en China, dejando una brecha de conocimiento en países Latinoamericanos y África (Ebele et al., 2017).

En cuanto los estudios que se han realizado en los últimos 5 años para determinar la ocurrencia de PhAC y PCP en el agua potable, la mayoría se centra en las fuentes de abastecimiento, tales como ríos y lagos; que son utilizados para la captación de agua cruda, concentrándose en caracterizar la calidad del agua antes de ingresar a las PTAP. Algunas de las investigaciones encontradas en la literatura científica más relevantes fueron, por ejemplo, en los ríos de la cuenca Piracicaba, Capivari y Jundiaí en São Paulo, Brasil, se identificaron altas concentraciones de cafeína en todos los puntos de muestreo, triclosán, testosterona, progesterona y estrona, lo cual está relacionado con la descarga de aguas residuales domésticas que a menudo no son tratadas adecuadamente y son vertidas directamente sobre los cuerpos hídricos (Madeira et al., 2023).

Otro estudio también realizado en Brasil, en el río Aquidauana que es la fuente de abastecimiento de la ciudad con su mismo nombre, determinó la presencia de cafeína en concentraciones de hasta 1062 ng/L, lo cual está relacionado con la expansión urbana y el uso de productos PhAC en la población local, los cuales no son completamente eliminados de la PTAR (Finoto Viana et al., 2023). Así mismo, en pruebas realizadas al agua cruda del reservorio el Lobo en Brasil, se hallaron concentraciones de hasta 86000 ng/L de metilparabeno un conservante químico utilizado para la preservación de PCP y para PhAC como acetaminofén, diclofenaco, naproxeno e ibuprofeno valores hasta de 10 ng/L (Pompei et al., 2022).

Por su parte, en el embalse el Madín se analizó el agua que sirve como fuente abastecimiento para las áreas cercanas a la Ciudad de México donde se encontraron concentraciones de acetaminofén (9156 ng/L) y metformina (11690 ng/L), junto con otros contaminantes tales como pesticidas, los cuales son producto de las descargas de aguas residuales industriales y urbanas sobre el embalse; afectando significativamente la calidad del agua potable que se suministra en la zona ya que la PTAP es convencional (Amado-Piña et al., 2024).

En Colombia, en los efluentes de un reactor de digestión anaeróbica de lodos con flujo ascendente (UASB) del relleno sanitario Buenavista en Medellín, se encontraron concentraciones de hasta 315000 ng/L de levonorgestrel, una hormona sintética utilizada en productos anticonceptivos, donde se resalta la cercanía que tiene el relleno con el río Piedras, el cual es la fuente de abastecimiento de agua potable de la ciudad, y esta no elimina completamente el contaminante en la PTAP, lo cual genera un riesgo potencial en la salud de sus consumidores (Ríos-Sossa et al., 2022).

Con base en esta información se puede demostrar la brecha de conocimiento que existe entre los países de Latinoamérica y los desarrolladas, por ejemplo, en China se realizó un estudio para monitorear la presencia de 31 PhAC y PCP en el agua cruda, de grifo y sedimentos, determinando que contaminantes como, el ketoprofeno, la atrazina, la dietiltoluamida (DEET) y la hormona 17- α -etinilestradiol, mantuvieron altas concentraciones luego del tratamiento de la PTAP, lo cual indica que técnicas convencionales como la filtración y la desinfección son insuficientes para eliminarlos (Feng et al., 2025).

Por otro lado, en Minnesota, Estados Unidos, se realizó un estudio para determinar la presencia de 165 CE entre los que se encontraban 59 PhAC y PCP en fuentes de agua y en el agua

potable tratada de 98 sistemas de abastecimiento, donde a pesar de que las plantas tuvieron altos porcentajes de remoción contaminantes como: roxitromicina y desmethyldiltiazem (metabolito del diltiazem) fueron detectados en concentraciones de 0.502 ng/L a 86.2 ng/L (Elliott et al., 2025).

En el sur de Polonia, en la cuenca del embalse Kozłowa Góra, que es la fuente de abastecimiento de agua potable de la región se realizó el monitoreo de 109 PhAC y PCP, se determinó que la DEET, la metformina, la carbamazepina y metabolitos del benzotriazol son los contaminantes más frecuentes en los ríos, aguas subterráneas y efluentes las PTAR, además se identificó que durante la temporada de invierno las concentraciones son mayores, lo cual puede estar relacionado con el uso de medicamento para tratar enfermedades virales (Ślósarczyk et al., 2025).

Actualmente, la mayoría de los países no cuentan con marcos normativos para el monitoreo de CE en el agua potable, sin embargo, algunos ya han empezado a implementar medidas, por ejemplo, en Estados Unidos la Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha establecido la Quinta Regla de Monitoreo de Contaminantes No Regulados (UCMR 5) que tiene como propósito evaluarlos. Por su lado, la Unión Europea cuenta con una lista de sustancias prioritarias para eliminar progresivamente las descargas en un periodo de 20 años con las directivas 2000/60/EC, 2008/105/EC, 2013/39/EU; y la Decisión de Ejecución de la Comisión 2020/1161. Japón cuenta también con las Normas industriales japonesas (JIS) serie K 0450.

Con base en lo anterior, los resultados indican la necesidad urgente de implementar programas de monitoreo que permitan la creación de normativas para CE, ya que Latinoamérica no cuenta con ellas. Así mismo, es importante resaltar que a medida que las técnicas analíticas se hacen más sensibles, se detectarían un mayor número de contaminantes que pueden ser incluidos dentro de los estándares de calidad del agua. Por su parte, se pudo observar también la necesidad de implementación de tecnologías avanzadas de tratamiento terciario para la potabilización del agua, como la adsorción, la oxidación avanzada, la biodegradación y los tratamientos de membrana; ya que los sistemas convencionales son ineficientes para eliminar este tipo de contaminantes.

Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Como dicho anteriormente entre las fuentes puntuales de contaminación del medio ambiente por CE se encuentran las PTAR, debido a que su gran mayoría son de tipo convencional y no se encuentran capacitadas para eliminar contaminantes a niveles de traza, lo cual se intensificado debido al aumento, uso y distribución de productos de fácil acceso como lo son los PhAC y PCP, que luego de ser usados llegan a las fuentes hídricas prácticamente inalterados afectando no solo a los ecosistemas sino también la calidad del agua potable ya que las PTAP tampoco cuentan con la tecnología suficiente para la remoción de estos.

Investigaciones realizadas en Latinoamérica, demuestran que las concentraciones de CE que ingresan a las PTAR son muy altas, sobre todo de antibióticos y analgésicos debido al alto consumo que se tienen de ellas (Aristizabal-Ciro et al., 2017; Robledo Zacarías et al., 2017).

En cuanto a los estudios que se han realizado en los últimos 5 años con respecto a la concentración de los PhAC y PCP en afluente y efluente de las PTAR, se ha encontrado información de 6 países entre los que se encuentran Brasil, Argentina, Perú, Chile, Costa Rica y Colombia; con un total de 43 contaminantes distribuidos entre ellos. El paracetamol o acetaminofén fue el contaminante más monitoreado para un total de 6 veces en tres países, seguido de la ciprofloxacina, el sulfametoxazol, la cafeína, el ibuprofeno, la azitromicina y la claritromicina.

Entre las investigaciones más relevantes, se encuentra el monitoreo realizado al afluente y efluente de diez PTAR ubicadas en las regiones de Valparaíso, Metropolitana y Bernardo O'Higgins en Chile, durante la época de la pandemia, donde el consumo de PhAC se incrementó en el invierno, detectándose altas concentraciones de azitromicina (1077.4 µg/L), cafeína (165.8 µg/L), ibuprofeno (154.6 µg/L) y triclosán (hasta 87.0 µg/L) en los efluentes; los porcentajes de remoción estuvieron entre el 45.9 % y el 100 %, dependiendo de la tecnología, siendo los sistemas de lodos activados y discos biológicos los más eficientes. Se pudo observar también, que, durante el verano, este porcentaje aumentó (Conceicao et al., 2023).

En Bariloche una ciudad situada en la Patagonia Argentina, en la región de la Provincia de Río Negro, se analizaron los afluentes y efluentes de una PTAR donde el tipo de tratamiento es convencional, se determinó que la remoción de los PhAC fue ineficiente ya que compuestos como la carbamazepina tuvieron una remoción de 0 % y del 66 % para la ciprofloxacina (Beamud et al., 2024).

En las ciudades de Lima, Cusco, Puno y Juliaca en Perú, se monitorearon diferentes PhAC y PCP en los afluentes y efluentes de las cuatro PTAR, entre los que se encontraban antiinflamatorios como el paracetamol, antibióticos como la ciprofloxacina y antiepilépticos como el gabapentin; se logró identificar que la eficiencia de eliminación fue limitada ya que varios contaminantes persistieron luego del tratamiento, sin embargo, lo más preocupante fue que algunos de ellos aumentaron su concentración como la claritromicina, lo que demuestra que muy posiblemente algunos contaminantes pudieron liberarse desde el tratamiento biológico a través de los lodos activados (Nieto-Juárez et al., 2021).

El caso anterior también se pudo observar en la PTAR ubicada en la región metropolitana de Porto Alegre, Brasil, una de las más grandes del sur del país, donde utilizan tecnologías híbridas tales como, etapas anaeróbicas (reactores UASB), anóxicas y aeróbicas, seguido de lodos activados y desinfección con peróxido de hidrógeno, el sistema logró alcanzar altas eficiencias de remoción, sin embargo, el tratamiento no fue completamente efectivo ya que antibióticos como el norfloxacina y la oxitetraciclina aumentaron su concentración en sus efluentes (Bisognin et al., 2021).

Por otro lado, en Costa Rica se analizaron las aguas residuales provenientes de las granjas de cerdos de Coronado y Moravia, donde PhAC como la risperidona, el ibuprofeno y la cafeína tenían altos niveles de riesgo ecológico en los afluentes al igual que en los efluentes, ya que la PTAR alcanza grandes eficiencias, sin embargo, cuando las concentraciones son tan altas, estos valores quedan camuflados por así decirlo, por ejemplo, antes del tratamiento la concentración del ibuprofeno era de 12.900 mg/L y alcanza una remoción del 78.28%, siendo vertida a las aguas directamente a las aguas superficiales una concentración de 2.800 mg/L (Ramírez-Morales et al., 2021).

En la Fig. 6, se puede observar una matriz de calor que presenta la eficiencia en la remoción de los principales PhAC y PCP estudiados durante la revisión bibliográfica, los resultados indican un comportamiento heterogéneo entre los países, por ejemplo, Chile tiene remociones hasta del 100 % para compuestos como la cafeína, ciprofloxacina y paracetamol; por su parte en Argentina se tiene problemáticas con la carbamazepina (0%) pero capacidades moderadas para la ciprofloxacina (66%). Es de resaltar que los estimulantes como la cafeína presentan altos porcentajes de remoción en la mayoría de los países, caso contrario a la carbamazepina, sin embargo, en la ciudad de Popayán en Colombia se analizaron sistemas de humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial, diseñados para tratar aguas residuales domésticas y hospitalarias donde se obtuvo para este compuesto una remoción del 90 % (Delgado et al., 2020).



Fig. 6: Matriz de Eficiencias de Remoción

Los resultados del análisis evidencian un rendimiento efectivo de las tecnologías convencionales para la eliminación de cantidades a niveles de traza de los PhAC y PCP en Latinoamérica con un promedio del 60 - 65 %, sin embargo, estos valores podrían estar sobrestimados debido a las limitaciones en la sensibilidad de las técnicas analíticas para la medición, especialmente cuando las concentraciones de los efluentes se encuentran cercanos a los límites de detección, siendo un escenario crítico en países en vía de desarrollo pues las PTAR son inexistentes, y por lo tanto sus descargas se hacen directamente sobre las fuentes hídricas.

Varias investigaciones se están realizando actualmente en diferentes países con el propósito de establecer tecnologías que permitan mejorar el bajo rendimiento de las PTAR para eliminar PhAC y PCP, por ejemplo, en China se diseñó un sistema de tratamiento de aguas residuales a escala piloto que consta de un reactor de tanque agitado continuo (CSTR) + celdas de electrólisis microbiana (MEC) + un reactor de lecho de lodo expandido (EGSB) + un reactor de biopelícula de lecho móvil (MBBR); donde las tasas totales de remoción de benzotiazol, indol, piridina y quinoleína fueron de 97.66, 94.13, 79.69 y 81.34% (Dai et al., 2023).

La hibridación de plantas es una alternativa altamente prometedora para la problemática, por ejemplo, los procesos de oxidación avanzada (AOP), la adsorción y los tratamientos de membrana combinado, han generado remociones hasta del 98.3 % de PhAC y PCP (Eryildiz et al., 2022). Así mismo, con la adsorción, oxidación electroquímica (electro-Fenton) y la remediación microbiana se han producido remociones hasta del 100 % (Mahesh et al., 2023). Por otro, lado las tecnologías bioelectroquímicas han reportado remociones del 100 % para xenobióticos en aguas residuales (Gupta et al., 2022).

Efluentes Hospitalarios

Los efluentes hospitalarios contienen la mayor concentración de PhAC y tienen una toxicidad de 5 a 15 veces mayor que los efluentes urbanos (Chinnaiyan et al., 2018), lo cual ha generado gran preocupación en la comunidad científica pues normalmente son desechados al medio ambiente sin tratamiento previo, este tipo efluentes no solo contiene PhAC y sus metabolitos, sino también gran cantidad de microorganismos y metales pesados. En los últimos cinco años, es muy poca la información que se tiene con respecto a las investigaciones de monitoreo y distribución de dichos contaminantes provenientes de los efluentes hospitalarios, se tiene, por ejemplo, un estudio realizado en Brasil, donde se tomaron muestras de las aguas residuales sin tratar de un hospital universitario (Hospital das Clínicas, UNICAMP, Campinas), siendo el Ricobendazol el contaminante con la mayor concentración (3.894 µg/L) (Porto et al., 2019). Por otro lado, en la región metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, se identificaron altas concentraciones en los efluentes hospitalarios siendo el paracetamol, con la mayor concentración de 12.88 mg/L que afectó a crustáceos, la dipirona, con 0.25 mg/L que impactó a algas, y la cafeína, con 0.12 mg/L que afectó a crustáceos revelando un riesgo potencial en los ecosistemas acuáticos (Alvim et al., 2025).

En la ciudad de Neuquén, Argentina, se realizó un estudio observacional a 87 establecimientos sanitarios, entre los que encontraban: hospitales, droguerías, farmacias y veterinarias; con el propósito de caracterizar la formación y gestión de residuos farmacéuticos. Los hallazgos indicaron que la farmacontaminación es un problema de preocupación emergente en el país, donde los compuestos más representativos fueron los AINES como el diclofenaco y el ibuprofeno; antibióticos como la eritromicina y la ciprofloxacina anticonvulsivos como la carbamazepina; hormonas como los estrógenos y betabloqueadores como el atenolol; los cuales ingresan al medio ambiente a través de las aguas residuales (Fontana, 2025).

Aguas Residuales Sin Tratar

Las descargas de aguas residuales sin tratar a los cuerpos hídricos son una amenaza latente que afecta no solo la salud de los seres humanos sino también a los ecosistemas acuáticos. En este apartado se han seleccionado aquellas fuentes que reciben descargas directamente de efluentes sin ningún tipo de tratamiento, sin embargo, en los últimos cinco años las publicaciones científicas que se tienen al respecto procedentes de países de Latinoamérica son muy pocas, se tiene información de Brasil, México, Chile y Colombia.

El 46.2 % de las investigaciones se han realizado en Brasil, cada país muestra patrones específicos de contaminación por PhAC y PCP, esto debido a las diferentes metodologías de investigación, la calidad de las fuentes hídricas, las prioridades ambientales nacionales y la capacidad de las técnicas analíticas. En este contexto se logró identificar que en Brasil uno de los contaminantes más estudiados es la cocaína, esto debido a la cercanía de los sitios turísticos con los puntos de muestreo; que medicamentos como la antiepiléptica carbamazepina en Colombia tienen la mayor concentración reportada esto debido a vertimientos sin tratar de los hospitales en la región. Así mismo, otro factor importante a tener en cuenta es la resistencia bacteriana, con la presencia de antibióticos en los cuerpos de agua, Chile evaluó algunos de ellos. En la Fig. 7, se pueden observar las concentraciones máximas reportadas por países.

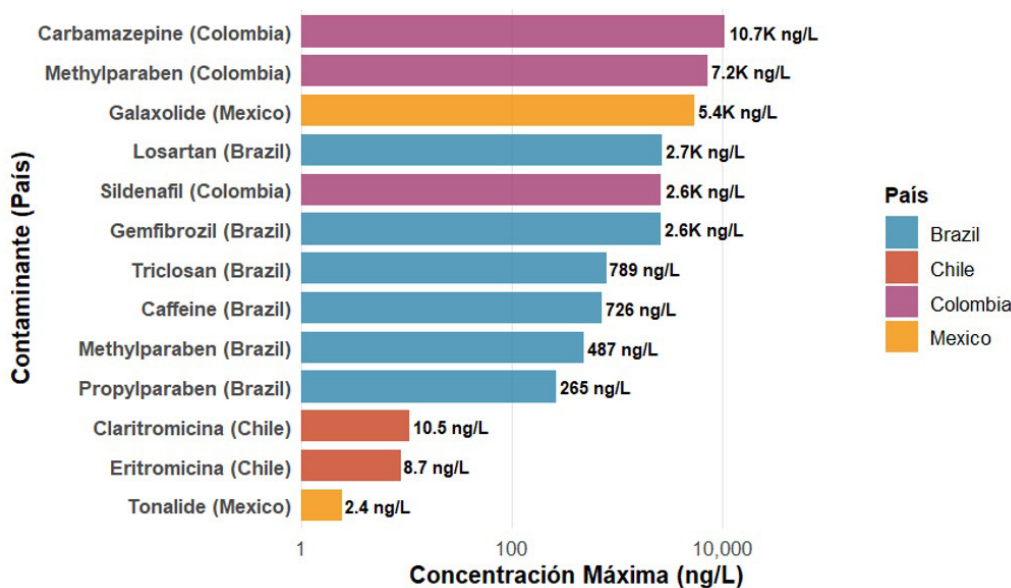


Fig. 7: Concentraciones Máximas por País

Al realizar un análisis comparativo de algunas de las concentraciones de PhAC y PCP de Latinoamérica, con respecto a otros países, se tiene, por ejemplo, que la carbamazepina es uno de los compuestos más persistentes en los cuerpos de agua, y el valor 10700 ng/L está en el rango mundial, ya que se puede encontrar en aguas superficiales y en la entrada y salida de aguas residuales tratadas con una concentración variable entre 30 y 11600 ng/L (Puga et al., 2024). Por su parte, el losartan supera los valores en los efluentes de las PTAR de países como Grecia con 411 ng/L (Anagnostopoulou et al., 2025).

Entre las investigaciones consultadas se destaca el estudio realizado a los ríos Perequê, Itinga, Mongaguá, Itanhaém y Guaraú; en São Paulo, sureste de Brasil, reveló concentraciones de Cafeína, benzoylecgonina (metabolito de la cocaína), paracetamol, entre otros, PhAC y PCP, donde la principal fuente de contaminación son la descarga de aguas residuales no tratadas y el desecho ilegal de medicamentos, especialmente en la región de Perequê conocida por su alta contaminación hídrica debido al inadecuado tratamiento de las aguas residuales (Roveri et al., 2022a).

Así mismo, en los canales de drenaje urbano de la isla São Vicente en Brasil se determinaron altas concentraciones de losartan, cafeína, paracetamol, benzoylecgonina y furosemida; principalmente debido a los asentamientos en áreas periféricas como el slum de Sambaiaatuba donde son inexistentes las estructuras de saneamiento y evidenciando los puntos críticos de contaminación que fluyen hacia las aguas estuarinas (Roveri et al., 2022b). También en a lo largo de la costa de Santa Catarina al sur del país se tomaron muestras de agua durante los períodos de marea baja, en ocho puntos, donde la fuente principal de los PhAC y PCP hallados proviene del vertido de las aguas residuales urbanas e industriales, de áreas con alta densidad poblacional y del sector turístico, donde se encontraron concentraciones de cafeína, diclofenaco y losartan (Pisetta et al., 2022). De igual forma, un estudio realizado en muestras tomadas de los canales de drenaje urbano de Santos beaches en São Paulo, reveló la presencia de PhAC, especialmente de drogas ilícitas como la cocaína, debido al vertido de las aguas residuales urbanas sin tratar (Roveri et al., 2021).

Por su parte, en México se tomaron muestras en varias fuentes superficiales que reciben vertidos sin tratar de aguas residuales, en especial el río Lerma, el arroyo El Estanco, el arroyo Avándaro, y el canal Xochimilco; donde se hallaron altas concentraciones de PCP tales como el tonalide y galaxolide, donde este último reflejan una alta distribución y acumulación a los cuerpos de agua, afectando significativamente la calidad del agua lo que puede desencadenar en efectos potencialmente tóxicos al ambiente (Heredia et al., 2023).

En Chile un estudio realizado a la cuenca del río Aconcagua reveló que la presencia de PhAC y de pesticidas derivados de las aguas residuales sin tratar y de la escorrentía agrícola afectan significativamente a la biodiversidad microbiana, especialmente a aquellas comunidades bacterianas cruciales en la degradación de estos contaminantes en el medio ambiente (Inostroza et al., 2025).

La ciudad de Popayán y sus áreas circunvecinas en Colombia vierten sus aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento previo sobre los ríos Cauca, Molino y Ejido; lo más preocupante es que el primero es la fuente de abastecimiento principal de la ciudad de Cali con un 60 % aproximadamente; se realizó un muestreo en los puntos más críticos para determinar la presencia de carbamazepina, metilparabeno y sildenafil; donde se obtuvieron concentraciones relativamente altas (Delgado et al., 2020).

Aguas Superficiales

Latinoamérica es una de las regiones con mayor riqueza hídrica, sin embargo, muchas fuentes se encuentran contaminadas por PhAC y PCP, lo cual representa un desafío de preocupación emergente. La ocurrencia de estos compuestos en el agua superficial ha sido identificada y documentada en diferentes partes del mundo, principalmente en Norteamérica y Europa, lo cual ha dejado una evidente brecha de conocimiento en la región. Es muy poca la información con la que se cuenta actualmente (Salgado Costa et al., 2023), la revisión bibliográfica permitió establecer que países como: Brasil, Argentina, Chile, Colombia, Ecuador y Perú han reportado la presencia de 52 contaminantes, siendo Brasil el pionero con el 71 % de las mediciones seguido por Argentina y los demás con menos del 10 %.

En Brasil se han estudiado 42 PhAC y PCP en los últimos cinco años, lo que refleja el uso generalizado de este tipo de productos en la región, por su parte, Perú reportó la presencia de 8 contaminantes en sus aguas superficiales; Argentina, Ecuador y Chile realizaron entre 4 y 5 investigaciones, y por último Colombia con el menor número. Esta distribución refleja las diferencias entre las capacidades analíticas nacionales en cuanto a los enfoques que tiene cada país. Entre los contaminantes con mayor relevancia en la región se encontró el paracetamol, el cual fue detectado en cuatro países, por su parte, el diclofenaco, la cafeína, la trimetoprima, la carbamazepina y el sulfametoxazol en 3.

El rango de las concentraciones detectadas en la región estuvo entre 0.14 ng/L hasta 320000 ng/L, correspondiendo este último valor al ibuprofeno y naproxeno en Argentina y el más bajo para la orfenadrina en Brasil. Estos datos indican también la eficiencia de las PTAR para tratar este tipo de contaminantes marcando diferencias entre las fuentes de muestreo. En la Fig. 8, se puede observar, el análisis de distribución a través de un gráfico de violín en el que se indica que la mayoría de los PhAC y PCP tienen bajos niveles de concentración (1-1000 ng/L), sin embargo, algunos alcanzan valores superiores entre 2 y 3 magnitudes; lo cual indica que existen puntos de descarga que generan grandes concentraciones, los cuales deben ser monitoreados en constante.

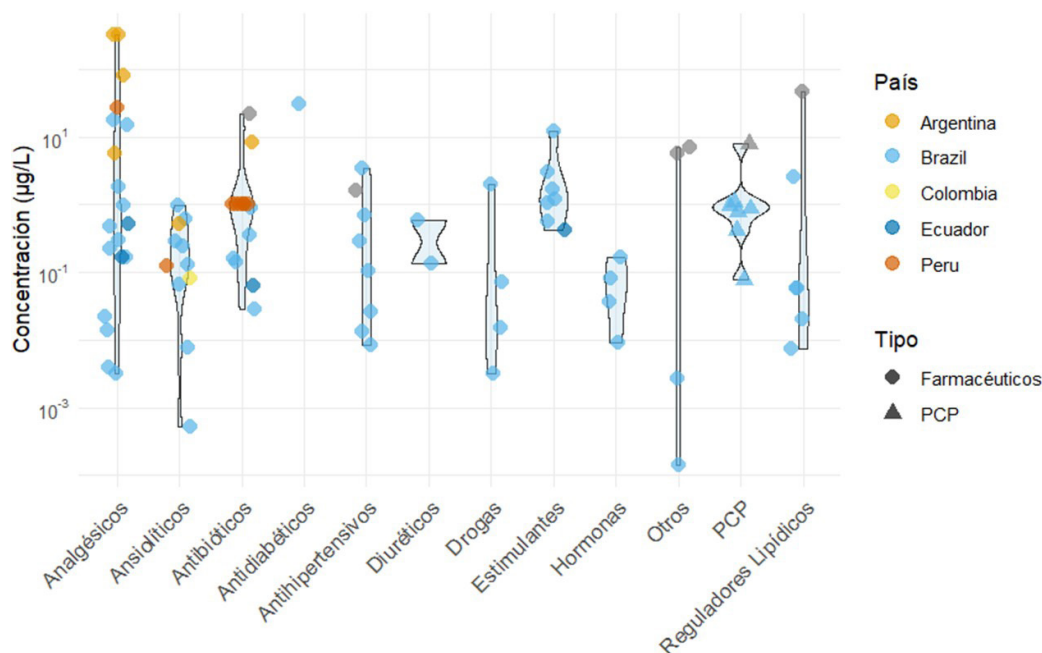


Fig. 8: Distribución de concentraciones por categoría

Entre las investigaciones más relevantes se encuentra la realizada en el Estado de São Paulo, Brasil, donde se reportaron concentraciones entre 2.2 ng/L y 1100 ng/L de triclosán en aguas superficiales y de hasta 784 ng/L en residuales no tratadas, esto debido a las descargas a sistemas de alcantarillado y cuerpos de agua cercanos (Franzoni et al., 2024). Por otro lado, en el río Gandu en Rio de Janeiro se encontraron altas concentraciones de ibuprofeno (973 ng/L) relacionada con la baja eficiencia que tiene la PTAR en la zona y a la presencia de industrias cerca de la cuenca (de Araujo et al., 2025). Así mismo, en los ríos Piracicaba, Capivari y Jundiaí se detectaron altas concentraciones de cafeína (de 54 a 3021 ng/L) y paracetamol (13.8 ng/L) debido a principalmente a la descarga de aguas residuales urbanas no tratadas y a actividades industriales (Madeira et al., 2023).

Así mismo, en Brasil en los ecosistemas de agua dulce del Amazonas se determinó que el 90 % de las aguas residuales descargadas no presentan ningún tipo de tratamiento, donde se encontraron concentraciones de metformina, paracetamol, ibuprofeno, cafeína, hormonas (como estrona y 17β -estradiol), y galaxolide. Afectando drásticamente la calidad del agua para el abastecimiento de agua potable de ciudades como Manaus y Belém (Rico et al., 2021).

En la ciudad de Córdoba en Argentina, fueron detectados diferentes PhAC entre los que destacaron el ibuprofeno y el naproxeno en grandes concentraciones, lo cual es debido en gran medida a la poca capacidad que tiene la PTAR para el tratamiento de los afluentes, así mismo, fueron detectados pesticidas debido a la agricultura intensiva en la región con productos como el maíz, soja entre otros (Bertrand et al., 2023).

En los ríos Cauca y Magdalena en Colombia, también se reportaron concentraciones de carbamazepina (80 ng/L), debido al tratamiento inadecuado de las PTAR

(Cacua-Ortiz et al., 2020), al igual que en la cuenca de Lima en Perú, con valores de hasta 124 ng/L, sin embargo, la más alta reportada fue para el paracetamol con 27258 ng/L, esto debido no solo a la ineficiencia de las PTAR, sino que en la zona hay vertimiento sobre las aguas superficiales sin tratar (Nieto-Juárez et al., 2025).

Otro estudio importante fue el realizado en el agua superficial de la provincia de Esmeraldas en Ecuador, donde el diclofenaco (515.3 ng/L) alcanza la concentración más alta, esto debido a la descarga de aguas residuales no tratadas de las áreas urbanas y zonas turísticas de la región (Cipriani-Avila et al., 2023). Por su parte, en los ríos Aconcagua y Maipo en Chile, se hizo evidente el bajo rendimiento que tienen las PTAR para eliminar los compuestos a niveles de traza (Soriano et al., 2024).

Al analizar las concentraciones más altas reportadas en las regiones de Latinoamérica como fue el caso del ibuprofeno y naproxeno, con respecto a países desarrollados como: Sudáfrica (1000 ng/L y 150 ng/L) (Madikizela & Chimuka, 2017), España (2300-42000 ng/L) (Joseph et al., 2019) y Estados Unidos (eficiencias de remoción del 87-88 %) (Joseph et al., 2019); se logra determinar que esto puede ser debido a la ineficiencia de las PTAR, un mayor uso de PhAC y autodiagnóstico en la región, ya que son productos de venta libre, el manejo inadecuado de los desechos en las áreas urbanas, falta de monitoreo y regulación, eventos ambientales y climáticos y patrones de consumo locales.

Sumado a esto es importante resaltar que el 80 % de los compuestos detectados son PhAC, confirmando una amenaza creciente sobre las fuentes de suministro de las PTAP, considerando que estas no están diseñadas para tratar los CE. Sumado a esto, se puede observar también la presencia de varios tipos de antibióticos dentro del listado, lo cual establece un escenario crítico para la resistencia microbiana en ambientes acuáticos, pues según la Organización Mundial de la Salud (OMS) cada año mueren 700 mil personas a causa de infecciones por bacterias resistentes (Organización Mundial de la Salud, 2021). Así mismo, el Banco Mundial estima que para el año 2050, estas bacterias podrían matar a 10 millones de personas al año y conducir a 28 millones a la pobreza (Bloom et al., 2017). Es por ello la creciente necesidad de desarrollar marcos regulatorios donde se establezcan los límites máximos permisibles a descargar sobre las fuentes superficiales y promover estrategias de diagnóstico, control y monitoreo de contaminantes.

Agua de mar

El agua de mar también está siendo afectada por la presencia de CE, que en su gran mayoría se deben a la incorporación de aguas residuales con y sin tratamiento, además de la influencia antrópica en las zonas costeras las cuales ofrecen áreas de entretenimiento, pesca, turismo entre otras. De acuerdo con la revisión bibliográfica, en los últimos cinco años el 100 % de las publicaciones científicas las ha realizado Brasil, entre los que se encuentran 18 PhAC y PCP; siendo la cafeína (3500 ng/L) el contaminante con la mayor concentración, seguido del valsartan, losartan y paracetamol; es así como los medicamentos cardiovasculares son el grupo más numeroso estudiado (Fig. 9).

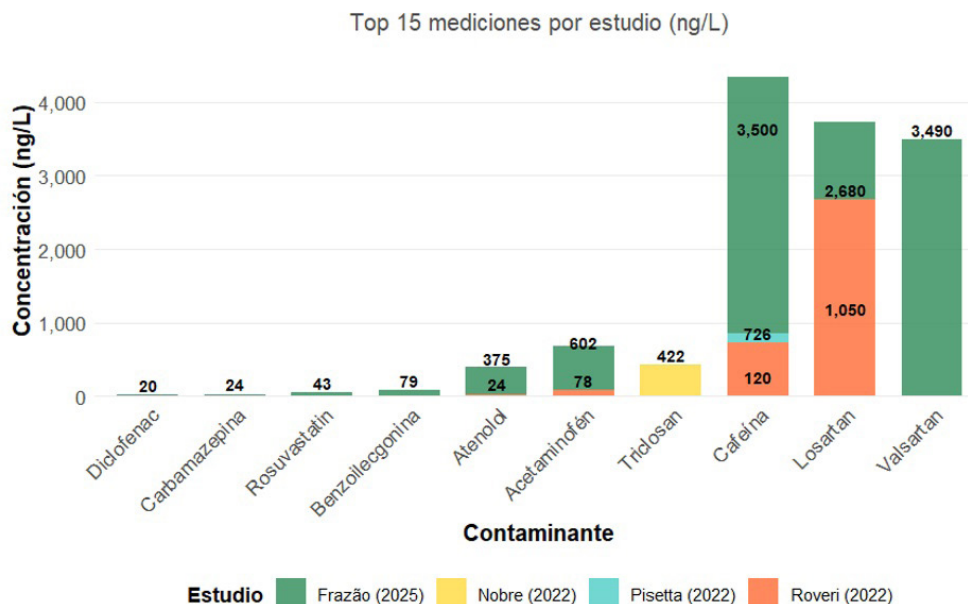


Fig. 9: Mayores concentraciones por contaminantes en las aguas marinas

Entre las investigaciones realizadas se encuentra el monitoreo de un ecosistema marino que hace parte del Área de Protección Ambiental Marina de la Costa Norte (APAMLN) de Brasil, donde se revelaron concentraciones de cocaína (14 µg/L), cafeína (3500 ng/L), valsartán (3490 ng/L), losartán (1050 ng/L), paracetamol (602 ng/L) y atenolol (375 ng/L); esto debido a las descargas de aguas residuales (tanto legales como ilegales) y la insuficiente capacidad de tratamiento de aguas en la región, especialmente en épocas de alta carga turística (Frazão et al., 2025).

Por otro lado, se estudiaron cinco canales de drenaje urbanos cuyas cargas difusas fluyen continuamente hacia las aguas estuarinas de la isla de São Vicente, donde se encontraron concentraciones de losartán (2680 ng/L), cafeína (726 ng/L), paracetamol (78.2 ng/L), atenolol (23.6 ng/L), benzoilecgonina (17.2 ng/L), furosemda (7.2 ng/L), cocaína (6.7 ng/L), carbamazepina (2.6 ng/L), diclofenaco (2.5 ng/L), orfenadrina (1.1 ng/L) y clortalidona (1.0 ng/L); cuyas fuentes de contaminación incluyen principalmente el vertido de aguas residuales no tratadas de las áreas urbanas cercanas (Roveri et al., 2022b).

En las aguas costeras de Santa Catarina en el sur de Brasil, en las ciudades de Penha y Palhoça, se tomaron durante los períodos de marea baja, donde se detectaron, cafeína (119.8 ng/L), diclofenaco (7.92 ng/L), atenolol (2.50 ng/L), losartán (3.20 ng/L), paracetamol (10.04 ng/L), orfenadrina (0.09 ng/L), cocaína (0.17 ng/L), benzoilecgonina (1.1 ng/L) y carbamazepina (0.27 ng/L); donde las fuentes de estos contaminantes los vertidos de aguas residuales domésticas e industriales, sumado a la alta densidad poblacional y actividad turística en estas zonas (Pisetta et al., 2022).

Con respecto a la concentración más alta reportada en el agua de mar de 3500 ng/L de cafeína, esta se encuentra en un rango medio alto comparado con otros países, por ejemplo, en Estados Unidos en aguas costeras en diferentes puntos de muestreo el valor más alto fue de 5860 ng/L (Baracchini et al., 2024); en España (857 ng/L) (Dafouz et al., 2018); Japón (8230 ng/L) y Australia (11000 ng/L) (Baracchini et al., 2024).

Agua subterránea

Los CE pueden ser un problema importante cuando las aguas subterráneas se utilizan para la producción de agua potable, porque los tratamientos convencionales, no están específicamente diseñados para eliminarlos. La Ciudad de México, recibe agua para consumo humano de dos fuentes diferentes, entre las que se tiene el agua subterránea, por tal motivo se determinó la presencia y distribución de un grupo de 17 CE, siendo el Ácido salicílico el de mayor concentración (0.001 - 0.464 µg/L) (Pereira et al., 2016). En el Valle de Mezquital, también se analizaron las aguas subterráneas, encontrando las mayores concentraciones para el repelente de insectos DEET (Lesser et al., 2018). En el Valle de Maneadero, ubicado en la región semiárida de Baja California en México, el agua subterránea se utiliza principalmente para la agricultura, con un 67% para dicho propósito, un 29% para uso público-urbano y el 4% restante para actividades industriales; motivo por el cual se analizaron alquifénoles y pesticidas como CE, obteniendo concentraciones hasta de 2.27 µg/L (González-Acevedo et al., 2019).

Discusión y Conclusiones

Latinoamérica es una región rica en biodiversidad, sin embargo, cada día la presencia de CE principalmente de PhAC y PCP en el ambiente se hace más evidente debido a la descarga directa de aguas residuales en su mayoría sin tratar sobre las diferentes fuentes hídricas, es así que, gracias al desarrollo de nuevas técnicas de detección se ha logrado determinar la presencia de algunos de ellos, no obstante, esta región aún se encuentra rezagada con respecto a de países de Europa y Asia, donde las investigaciones han crecido de manera exponencial con respecto al tema, es de resaltar además que en estos lugares ya se han iniciado listas de CE que serán restringidos y de límites máximos permisibles en el agua potable. Por otro lado, no solo es necesario contar con técnicas que permitan la detección de estos CE sino también es necesario su regulación y la generación de diferentes alternativas de remoción que aseguren la salud de los seres humanos y de los ecosistemas que se encuentran en contacto directo con estos contaminantes. Esta revisión permitió establecer que, aunque se han realizado diferentes investigaciones que permiten establecer la ocurrencia de los PhAC y PCP en el ambiente aún falta mucho más al respecto, además de que hay países que ni siquiera han empezado a preocuparse por el tema.

Los resultados de la investigación indican la ocurrencia de un gran grupo de PhAC y PCP en las diferentes matrices de agua estudiadas, evidenciando las deficiencias en el funcionamiento de las PTAR y PTAP en Latinoamérica, y la inexistente gestión farmacéutica a nivel regional. Así mismo, se pudieron observar altos niveles de AINES y medicamentos cardiovasculares demostrando la prevalencia de enfermedades crónicas que están desencadenando la contaminación hídrica. Por lo anterior, es necesario dar una respuesta a la problemática de manera inmediata que incluya el uso de tecnologías de tratamiento terciarias, el desarrollo e implementación de normativas por parte de las autoridades ambientales y de salud con respecto al monitoreo y límites máximos permisibles.

Referencias

- Alvim, G. M., de Oliveira, J. B., Morávia, M. C. S. A., & Binatti, I. (2025). A framework for the selection of wastewater treatment systems in pharmaceutical industries: an approach oriented by the types of pharmaceuticals produced. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s43153-025-00582-z>
- Amado-Piña, D., Romero, R., Salazar Carmona, E., Ramírez-Serrano, A., Gómez-Oliván, L. M., Elizalde-Velázquez, G., & Natividad, R. (2024). Photo-Fenton Treatment under UV and Vis Light Reduces Pollution and Toxicity in Water from Madín Dam, Mexico. *Catalysts*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/catal14090620>
- Anagnostopoulou, K., Evgenidou, E., Alampanos, V., & Lambropoulou, D. A. (2025). High-resolution mass spectrometry approaches for screening persistent and Mobile organic compounds in wastewaters: Target analysis, suspect analysis and risk assessment. *Science of the Total Environment*, 967. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178777>
- Aristizabal-Ciro, C., Botero-Coy, A. M., López, F. J., & Peñuela, G. A. (2017). Monitoring pharmaceuticals and personal care products in reservoir water used for drinking water supply. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(8), 7335–7347. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8253-1>
- Ashraf, M., Ahammad, S. Z., & Chakma, S. (2023). Advancements in the dominion of fate and transport of pharmaceuticals and personal care products in the environment—a bibliometric study. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(23), 64313–64341. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26796-7>
- Baracchini, C., Messenger, L., Stocker, P., & Leignel, V. (2024). The Impacts of the Multispecies Approach to Caffeine on Marine Invertebrates. *Toxics*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/toxics12010029>
- Beamud, S. G., Fernández, H., Nichela, D., Crego, M. P., Gonzalez-Polo, M., Latini, L., & Temporetti, P. (2024). Occurrence of pharmaceutical micropollutants in lake nahuel huapi, Argentine Patagonia. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 43((6)), 1274–1284. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/etc.5859>
- Bertrand, L., Iturburu, F. G., Valdés, M. E., Menone, M. L., & Amé, M. V. (2023). Risk evaluation and prioritization of contaminants of emerging concern and other organic micropollutants in two river basins of central Argentina. *Science of the Total Environment*, 878. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163029>
- Bisognin, R. P., Wolff, D. B., Carissimi, E., Prestes, O. D., & Zanella, R. (2021). Occurrence and fate of pharmaceuticals in effluent and sludge from a wastewater treatment plant in Brazil. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 42(15), 2292–2303. <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1701561>
- Bloom, G., Merrett, G. B., Wilkinson, A., Lin, V., & Paulin, S. (2017). Antimicrobial resistance and universal health coverage. *BMJ Global Health*, 2(4), 1–6. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2017-000518>
- Cacua-Ortiz, S. M., Aguirre, N. J., & Peñuela, G. A. (2020). Methyl Paraben and Carbamazepine in Water and Striped Catfish (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*) in the Cauca and Magdalena Rivers. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 105(6), 819–826. <https://doi.org/10.1007/s00128-020-03028-z>

- Carballa, M., Omil, F., Lema, J. M., Llopart, M., García-Jares, C., Rodríguez, I., Gómez, M., & Ternes, T. (2004). Behavior of pharmaceuticals, cosmetics and hormones in a sewage treatment plant. *Water Research*, 38(12), 2918–2926. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.03.029>
- Chinnaiyan, P., Thampi, S. G., Kumar, M., & Mini, K. M. (2018). Pharmaceutical products as emerging contaminant in water: relevance for developing nations and identification of critical compounds for Indian environment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 5(190), 288. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10661-018-6672-9>
- Cipriani-Avila, I., Molinero, J., Cabrera, M., Medina-Villamizar, E. J., Capparelli, M. V., Jara-Negrete, E., Pinos-Velez, V., Acosta, S., Andrade, D. L., Barrado, M., & Mogollón, N. G. S. (2023). Occurrence of emerging contaminants in surface water bodies of a coastal province in Ecuador and possible influence of tourism decline caused by COVID-19 lockdown. *Science of the Total Environment*, 866. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161340>
- Conceicao, K. C., Villamar-Ayala, C. A., Plaza-Garrido, A., & Toledo-Neira, C. (2023). Seasonal behavior of pharmaceuticals and personal care products within Chilean rural WWTPs under COVID-19 pandemic conditions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(5). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110984>
- Dafouz, R., Cáceres, N., Rodríguez-Gil, J. L., Mastroianni, N., López de Alda, M., Barceló, D., de Miguel, Á. G., & Valcárcel, Y. (2018). Does the presence of caffeine in the marine environment represent an environmental risk? A regional and global study. *Science of the Total Environment*, 615, 632–642. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.155>
- Dai, W., Pang, J. W., Ding, J., Wang, Y. Q., Zhang, L. Y., Ren, N. Q., & Yang, S. S. (2023). Study on the removal characteristics and degradation pathways of highly toxic and refractory organic pollutants in real pharmaceutical factory wastewater treated by a pilot-scale integrated process. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1128233>
- Dawood, A., Drage, D. S., Harrad, S., & Abdallah, M. A.-E. (2024). Concentrations, partitioning and ecological risk of pharmaceuticals and personal care products in UK freshwater sediment. *Environmental Pollution and Management*, 1, 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.epm.2024.08.006>
- de Araujo, F. G., Bauerfeldt, G. F., Cunha, D. L., Martins, E. M., & Marques, M. (2025). Pharmaceuticals, Personal Care Products and Plasticizers in Surface Water and Environmental Risk Assessment: Guandu River Basin, Rio de Janeiro/Brazil. *Water, Air, and Soil Pollution*, 236(7). <https://doi.org/10.1007/s11270-025-08028-5>
- Delgado, N., Bermeo, L., Hoyos, D. A., Peñuela, G. A., Capparelli, A., Marino, D., Navarro, A., & Casas-Zapata, J. C. (2020). Occurrence and removal of pharmaceutical and personal care products using subsurface horizontal flow constructed wetlands. *Water Research*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116448>
- Ebele, A. J., Abou-Elwafa Abdallah, M., & Harrad, S. (2017). Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment. *Emerging Contaminants*, 3(1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2016.12.004>

- Elliott, S. M., Krall, A. L., de Lambert, J. R., Gilchrist, M. D., & Robertson, S. W. (2025). Emerging Contaminants in Source and Finished Drinking Waters Across Minnesota (U.S.) and Potential Health Implications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 22(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph22070976>
- Eryildiz, B., Yavuzturk Gul, B., & Koyuncu, I. (2022). A sustainable approach for the removal methods and analytical determination methods of antiviral drugs from water/wastewater: A review. In *Journal of Water Process Engineering* (Vol. 49). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103036>
- Espíndola, J. C., & Vilar, V. J. P. (2020). Innovative light-driven chemical/catalytic reactors towards contaminants of emerging concern mitigation: A review. *Chemical Engineering Journal*, 394(March), 124865. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124865>
- Fakhri B, M. S., Ghassemi Barghi, N., Moradnia Mehdikhanmahaleh, M., Raeis Zadeh, S. M. M., Mousavi, T., Rezaee, R., Daghighi, M., & Abdollahi, M. (2024). Pharmaceutical wastewater toxicity: An ignored threat to the public health. In *Sustainable Environment* (Vol. 10, Issue 1). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/27658511.2024.2322821>
- Feng, G., Lu, G.-H., Liu, J.-C., Gai, N., Chen, H.-L., Tang, Q.-F., & Yang, Y.-L. (2025). Occurrence, migration, and risk assessment of PPCPs in water bodies and sediments of river-type drinking water sources in eastern China. <https://doi.org/10.31035/cg2025025>
- Finoto Viana, L., do Amaral Crispim, B., Kummrow, F., Alice de Lima, N., Amaral Dias, M., Carolina Montagner, C., Henrique Gentil Pereira, R., de Barros, A., & Barufatti, A. (2023). Occurrence of contaminants of emerging concern and their risks to the Pantanal Sul-Mato-Grossense aquatic biota, Brazil. *Chemosphere*, 337. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139429>
- Fontana, M. (2025). Los medicamentos y su huella ambiental: estudio exploratorio de la gestión de sus residuos en una ciudad argentina. *Revista de Ciencias Ambientales*, 59(2), 1–19. <https://doi.org/10.15359/rca.59-2.2>
- Franzoni, R. M., Bernardelli, J. K. B., Silveira, D. D., Gomes, S. D., Lapolli, F. R., Carvalho, K. Q. de, & Passig, F. H. (2024). Performance of an anaerobic–oxic–anoxic (AOA) system in the simultaneous removal of nutrients and triclosan and bacterial community. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 45(3), 544–558. <https://doi.org/10.1080/09593330.2022.2114859>
- Frazão, L. R., Penninck, S. B., Signori, C. N., & Lopes, R. M. (2025). Pharmaceuticals and personal care products in the coastal zone of Ubatuba (Brazil): An ecological and touristic hotspot facing high contamination. *Science of the Total Environment*, 973. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179167>
- Furlong, E. T., Batt, A. L., Glassmeyer, S. T., Noriega, M. C., Kolpin, D. W., Mash, H., & Schenck, K. M. (2017). Nationwide reconnaissance of contaminants of emerging concern in source and treated drinking waters of the United States: Pharmaceuticals. *Science of the Total Environment*, 579, 1629–1642. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.128>
- González-Acevedo, Z. I., García-Zarate, M. A., & Flores-Lugo, I. P. (2019). Emerging contaminants and nutrients in a saline aquifer of a complex environment. *Environmental Pollution*, 244, 885–897. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.104>

- Gupta, S. K., Rachna, Singh, B., Mungray, A. K., Bharti, R., Nema, A. K., Pant, K. K., & Mulla, S. I. (2022). Bioelectrochemical technologies for removal of xenobiotics from wastewater. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101652>
- He, K., Borthwick, A. G., Lin, Y., Li, Y., Fu, J., Wong, Y., & Liu, W. (2020). Sale-based estimation of pharmaceutical concentrations and associated environmental risk in the Japanese wastewater system. *Environment International*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105690>
- Heredia, A. C., Cabrera-Peralta, J., Ocaña-Rios, I., & Peña-Alvarez, A. (2023). Simple and rapid preparation of homemade SPME PDMS fibers and their application to the analysis of personal care products in water samples. *Chemical Papers*, 77(4), 2039–2049. <https://doi.org/10.1007/s11696-022-02608-z>
- Huerta, B., Rodriguez-Mozaz, S., Nannou, C., Nakis, L., Ruhí, A., Acuña, V., Sabater, S., & Barcelo, D. (2016). Determination of a broad spectrum of pharmaceuticals and endocrine disruptors in biofilm from a waste water treatment plant-impacted river. *Science of the Total Environment*, 540, 241–249. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.049>
- Ide, A. H., Osawa, R. A., Marcante, L. O., da Costa Pereira, J., & de Azevedo, J. C. R. (2017). Occurrence of Pharmaceutical Products, Female Sex Hormones and Caffeine in a Subtropical Region in Brazil. *Clean - Soil, Air, Water*, 45(9). <https://doi.org/10.1002/clen.201700334>
- Inostroza, P. A., Jessen, G. L., Li, F., Zhang, X., Brack, W., & Backhaus, T. (2025). Multi-compartment impact of micropollutants and particularly antibiotics on bacterial communities using environmental DNA at river basin-level. *Environmental Pollution*, 366. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125487>
- Joseph, G. V., Pascal, V. P., Paladini, D. A., Varrassi, G., Pergolizzi, J. V, Dowling, P., & Paladini, A. (2019). *Ibuprofen Safety at the Golden Anniversary: Are all NSAIDs the Same? A Narrative Review*. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.10075727>
- Kamali, M., Aminabhavi, T. M., V. Costa, M. E., Ul Islam, S., Appels, L., & Dewil, R. (2023). *Advanced Wastewater Treatment Technologies for the Removal of Pharmaceutically Active Compounds*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-20806-5>
- Kisielius, V., Äystö, L., Lehtinen, T., Kharel, S., Stapf, M., Zhiteneva, V., Perkola, N., & Bester, K. (2024). Pharmaceutical emissions on the example of the Baltic Sea catchment: comparing measurements with multi-tier predictive models. *Journal of Hazardous Materials*, 476. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134998>
- Lange, F. T., Scheurer, M., & Brauch, H. J. (2012). Artificial sweeteners-A recently recognized class of emerging environmental contaminants: A review. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 403(9), 2503–2518. <https://doi.org/10.1007/s00216-012-5892-z>
- Lesser, L. E., Mora, A., Moreau, C., Mahlknecht, J., Hernández-Antonio, A., Ramírez, A. I., & Barrios-Piña, H. (2018). Survey of 218 organic contaminants in groundwater derived from the world's largest untreated wastewater irrigation system: Mezquital Valley, Mexico. *Chemosphere*, 198, 510–521. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.154>

- Li, W., Gao, L., Shi, Y., Wang, Y., Liu, J., & Cai, Y. (2016). Spatial distribution, temporal variation and risks of parabens and their chlorinated derivatives in urban surface water in Beijing, China. *Science of the Total Environment*, 539, 262–270. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.150>
- Li, X., Shen, X., Jiang, W., Xi, Y., & Li, S. (2024). Comprehensive review of emerging contaminants: Detection technologies, environmental impact, and management strategies. In *Ecotoxicology and Environmental Safety* (Vol. 278). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116420>
- Locatelli, M. A. F., Sodré, F. F., & Jardim, W. F. (2011). Determination of antibiotics in brazilian surface waters using liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 60(3), 385–393. <https://doi.org/10.1007/s00244-010-9550-1>
- Loganathan, P., Vigneswaran, S., Kandasamy, J., Cuprys, A. K., Maletskyi, Z., & Ratnaweera, H. (2023). Treatment Trends and Combined Methods in Removing Pharmaceuticals and Personal Care Products from Wastewater—A Review. *Membranes*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/membranes13020158>
- Madeira, C. L., Acayaba, R. D. A., Santos, V. S., Villa, J. E. L., Jacinto-Hernández, C., Azevedo, J. A. T., Elias, V. O., & Montagner, C. C. (2023). Uncovering the impact of agricultural activities and urbanization on rivers from the Piracicaba, Capivari, and Jundiaí basin in São Paulo, Brazil: A survey of pesticides, hormones, pharmaceuticals, industrial chemicals, and PFAS. *Chemosphere*, 341. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139954>
- Madikizela, L. M., & Chimuka, L. (2017). Occurrence of naproxen, ibuprofen, and diclofenac residues in wastewater and river water of KwaZulu-Natal Province in South Africa. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(7). <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6069-1>
- Mahesh, N., Shyamalagowri, S., Pavithra, M. K. S., Alodhayb, A., Alarifi, N., Aravind, J., Kamaraj, M., & Balakumar, S. (2023). Viable remediation techniques to cleansing wastewaters comprising endocrine-disrupting compounds. *Environmental Research*, 231. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116245>
- Mahmood, T., Momin, S., Ali, R., Naeem, A., & Khan, A. (2022). Technologies for Removal of Emerging Contaminants from Wastewater. *Wastewater Treatment*, 104466. <https://doi.org/10.5772/intechopen.104466>
- Maroneze, M. M., Zepka, L. Q., Vieira, J. G., Queiroz, M. I., & Jacob-Lopes, E. (2014). A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. *Revista Ambiente e Água*, 9(3), 445–458. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Mizukawa, A., Molins-Delgado, D., de Azevedo, J. C. R., Fernandes, C. V. S., Díaz-Cruz, S., & Barceló, D. (2017). Sediments as a sink for UV filters and benzotriazoles: the case study of Upper Iguaçu watershed, Curitiba (Brazil). *Environmental Science and Pollution Research*, 24(22), 18284–18294. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9472-9>
- Montagner, C. C., & Jardim, W. F. (2011). Spatial and seasonal variations of pharmaceuticals and endocrine disruptors in the Atibaia River, São Paulo State (Brazil). *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 22(8), 1452–1462. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532011000800008>

- Nawaz, T., & Sengupta, S. (2018). Chapter 4 - Contaminants of Emerging Concern: Occurrence, Fate, and Remediation. In *Advances in Water Purification Techniques: Meeting the Needs of Developed and Developing Countries*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814790-0.00004-1>
- Nieto-Juárez, J. I., Sarzosa-Cano, N. R., Serna-Galvis, E. A., Torres-Palma, R. A., Fabregat-Safont, D., Botero-Coy, A. M., & Hernández, F. (2025). Evaluation of contaminants of emerging concern in surface waters (rivers and lake) from Peru: Occurrence and environmental risk assessment. *Environment International*, 200. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109522>
- Nieto-Juárez, J. I., Torres-Palma, R. A., Botero-Coy, A. M., & Hernández, F. (2021). Pharmaceuticals and environmental risk assessment in municipal wastewater treatment plants and rivers from Peru. *Environment International*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106674>
- Nishmitha, P. S., Akhilghosh, K. A., Aiswriya, V. P., Ramesh, A., Muthuchamy, M., & Muthukumar, A. (2025). Understanding emerging contaminants in water and wastewater: A comprehensive review on detection, impacts, and solutions. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100755>
- Oluwole, A. O., Omotola, E. O., & Olatunji, O. S. (2020). Pharmaceuticals and personal care products in water and wastewater: a review of treatment processes and use of photocatalyst immobilized on functionalized carbon in AOP degradation. In *BMC Chemistry* (Vol. 14, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s13065-020-00714-1>
- Organización Mundial de la Salud. (2021). *La resistencia antimicrobiana pone en riesgo la salud mundial*. <https://www.paho.org/es/noticias/3-3-2021-resistencia-antimicrobiana-pone-riesgo-salud-mundial>
- Osorio, V., Larrañaga, A., Aceña, J., Pérez, S., & Barceló, D. (2016). Concentration and risk of pharmaceuticals in freshwater systems are related to the population density and the livestock units in Iberian Rivers. *Science of the Total Environment*, 540, 267–277. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.143>
- Patrolecco, L., Capri, S., & Ademollo, N. (2015). Occurrence of selected pharmaceuticals in the principal sewage treatment plants in Rome (Italy) and in the receiving surface waters. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(8), 5864–5876. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3765-z>
- Pereira, C. D. S., Maranhão, L. A., Cortez, F. S., Pusceddu, F. H., Santos, A. R., Ribeiro, D. A., Cesar, A., & Guimarães, L. L. (2016). Occurrence of pharmaceuticals and cocaine in a Brazilian coastal zone. *Science of the Total Environment*, 548–549, 148–154. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.051>
- Pisetta, A. M., Roveri, V., Guimarães, L. L., de Oliveira, T. M. N., & Correia, A. T. (2022). First report on the occurrence of pharmaceuticals and cocaine in the coastal waters of Santa Catarina, Brazil, and its related ecological risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(42), 63099–63111. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20312-z>
- Pompei, C. M. E., Campos, L. C., Vieira, E. M., & Tucci, A. (2022). The impact of micropollutants on native algae and cyanobacteria communities in ecological filters during drinking water treatment. *Science of the Total Environment*, 822. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152888>

org/10.1016/j.scitotenv.2022.153401

Porto, R. S., Rodrigues-Silva, C., Schneider, J., & Rath, S. (2019). Benzimidazoles in wastewater: Analytical method development, monitoring and degradation by photolysis and ozonation. *Journal of Environmental Management*, 232(May 2018), 729–737. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.121>

Poynton, H. C., & Robinson, W. E. (2018). Contaminants of Emerging Concern, With an Emphasis on Nanomaterials and Pharmaceuticals. In *Green Chemistry: An Inclusive Approach*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00012-1>

Puga, A., Soares, C., del Álamo, A. C., Pariente, M. I., Molina, R., Martínez, F., Sanromán, M. A., Pazos, M. M., & Delerue-Matos, C. (2024). Efficient carbamazepine removal from wastewater using a continuous three-dimensional electro-Fenton system at natural pH. *Journal of Water Process Engineering*, 64. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105690>

Ramírez-Morales, D., Masís-Mora, M., Beita-Sandí, W., Montiel-Mora, J. R., Fernández-Fernández, E., Méndez-Rivera, M., Arias-Mora, V., Leiva-Salas, A., Brenes-Alfaro, L., & Rodríguez-Rodríguez, C. E. (2021). Pharmaceuticals in farms and surrounding surface water bodies: Hazard and ecotoxicity in a swine production area in Costa Rica. *Chemosphere*, 272. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129574>

Reichert, G., Hilgert, S., Fuchs, S., & Azevedo, J. C. R. (2019). Emerging contaminants and antibiotic resistance in the different environmental matrices of Latin America. *Environmental Pollution*, 255. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113140>

Richardson, S. D., & Kimura, S. Y. (2017). Emerging environmental contaminants: Challenges facing our next generation and potential engineering solutions. *Environmental Technology and Innovation*, 8, 40–56. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.04.002>

Rico, A., de Oliveira, R., de Souza Nunes, G. S., Rizzi, C., Villa, S., López-Heras, I., Vighi, M., & Waichman, A. V. (2021). Pharmaceuticals and other urban contaminants threaten Amazonian freshwater ecosystems. *Environment International*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106702>

Ríos-Sossa, R., García-Londoño, J. J., Gil-Ramírez, D., Patiño, A. C., Cardona-Maya, W. D., Quintana-Castillo, J. C., & Narváez-Valderrama, J. F. (2022). Assessment of Levonorgestrel Leaching in a Landfill and Its Effects on Placental Cell Lines and Sperm Cells. *Water (Switzerland)*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/w14060871>

Ritter, L., Solomon, K., Sibley, P., Hall, K., Keen, P., Mattu, G., & Linton, B. (2002). Sources, pathways, and relative risks of contaminants in surface water and groundwater: A perspective prepared for the Walkerton inquiry. In *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A* (Vol. 65, Issue 1). <https://doi.org/10.1080/152873902753338572>

Robledo Zacarías, V. H., Velázquez Machuca, M. A., Montañez Soto, J. L., Pimentel Equihua, J. L., Vallejo Cardona, A. A., López Calvillo, M. D., & Venegas González, J. (2017). Hidroquímica y contaminantes emergentes en aguas residuales urbano industriales de Morelia, Michoacán, México. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 33(2), 221–235. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.02.04>

Rodriguez-Narvaez, O. M., Peralta-Hernandez, J. M., Goonetilleke, A., & Bandala, E. R. (2017). Treatment technologies for emerging contaminants in water: A review. *Chemical Engineering Journal*, 323, 361–380. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.04.106>

- Roveri, V., Guimarães, L. L., Toma, W., & Correia, A. T. (2022a). Occurrence, ecological risk assessment and prioritization of pharmaceuticals and abuse drugs in estuarine waters along the São Paulo coast, Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(59), 89712–89726. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21945-w>
- Roveri, V., Guimarães, L. L., Toma, W., & Correia, A. T. (2022b). Occurrence of pharmaceuticals and cocaine in the urban drainage channels located on the outskirts of the São Vicente Island (São Paulo, Brazil) and related ecological risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(38), 57931–57945. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19736-4>
- Roveri, V., Lopes Guimarães, L., Toma, W., & Correia, A. T. (2021). Occurrence and ecological risk assessment of pharmaceuticals and cocaine in the urban drainage channels of Santos beaches (São Paulo, Brazil): a neglected, but sensitive issue. *Environ Sci Pollut Res Int*, 28(46). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15249-8>/Published
- Salgado Costa, C., Rimoldi, F., Peluso, M. L., & Demetrio, P. (2023). Linking environmental exposure and effects of pharmaceuticals on aquatic biota: state of knowledge in Latin America. In *Water Emerging Contaminants and Nanoplastics* (Vol. 2, Issue 2). OAE Publishing Inc. <https://doi.org/10.20517/wecn.2023.08>
- Samal, K., Mahapatra, S., & Hibzur Ali, M. (2022). Pharmaceutical wastewater as Emerging Contaminants (EC): Treatment technologies, impact on environment and human health. In *Energy Nexus* (Vol. 6). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100076>
- Santos, M. M. dos, Brehm, F. de A., Filipppe, T. C., Knapik, H. G., & Azevedo, J. C. R. de. (2016). Occurrence and risk assessment of parabens and triclosan in surface waters of southern Brazil: a problem of emerging compounds in an emerging country. *Rbrh*, 21(3), 603–617. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.011616018>
- Singh, G., Singh, A., Singh, P., Gupta, A., Shukla, R., & Mishra, V. K. (2020). Sources, fate, and impact of pharmaceutical and personal care products in the environment and their different treatment technologies. In *Microbe Mediated Remediation of Environmental Contaminants* (pp. 391–407). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821199-1.00029-8>
- Ślósarczyk, K., Wolny, F., & Witkowski, A. J. (2025). Monitoring pharmaceuticals and personal care products to assess water quality changes and pollution sources in a drinking water reservoir catchment. *Water Resources and Industry*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2025.100283>
- Soriano, Y., Carmona, E., Renovell, J., Picó, Y., Brack, W., Krauss, M., Backhaus, T., & Inostroza, P. A. (2024). Co-occurrence and spatial distribution of organic micropollutants in surface waters of the River Aconcagua and Maipo basins in Central Chile. *Science of the Total Environment*, 954. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176314>
- Starling, M. C. V. M., Amorim, C. C., & Leão, M. M. D. (2019). Occurrence, control and fate of contaminants of emerging concern in environmental compartments in Brazil. *Journal of Hazardous Materials*, 372(April 2018), 17–36. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.04.043>

Tlili, I., Caria, G., Ouddane, B., Ghorbel-Abid, I., Ternane, R., Trabelsi-Ayadi, M., & Net, S. (2016). Simultaneous detection of antibiotics and other drug residues in the dissolved and particulate phases of water by an off-line SPE combined with on-line SPE-LC-MS/MS: Method development and application. *Science of the Total Environment*, 563–564, 424–433. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.101>

Tran, N. H., Reinhard, M., & Gin, K. Y. H. (2018). Occurrence and fate of emerging contaminants in municipal wastewater treatment plants from different geographical regions-a review. *Water Research*, 133, 182–207. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.029>

Valdez-Carrillo, M., Abrell, L., Ramírez-Hernández, J., Reyes-López, J. A., & Carreón-Díazconti, C. (2020). Pharmaceuticals as emerging contaminants in the aquatic environment of Latin America: a review. In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 27, Issue 36, pp. 44863–44891). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10842-9>

Wang, F., Xiang, L., Sze-Yin Leung, K., Elsner, M., Zhang, Y., Guo, Y., Pan, B., Sun, H., An, T., Ying, G., Brooks, B. W., Hou, D., Helbling, D. E., Sun, J., Qiu, H., Vogel, T. M., Zhang, W., Gao, Y., Simpson, M. J., ... Tiedje, J. M. (2024). Emerging contaminants: A One Health perspective. In *Innovation* (Vol. 5, Issue 4). Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2024.100612>

You, L., Nguyen, V. T., Pal, A., Chen, H., He, Y., Reinhard, M., & Gin, K. Y. H. (2015). Investigation of pharmaceuticals, personal care products and endocrine disrupting chemicals in a tropical urban catchment and the influence of environmental factors. *Science of the Total Environment*, 536, 955–963. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.041>

Contribución de los Autores

| | Colaboración Académica | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
| Nombres y Apellidos del autor | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Lina Marcela Alvarez Bayona | x | x | | x | | x | x | x | x | x | x | | x | |
| Maria Angelica Alvarez Bayona | | x | x | | x | | | x | | | | x | x | x |

1-Administración del proyecto, 2-Adquisición de fondos, 3-Análisis formal, 4-Conceptualización, 5-Curaduría de datos, 6-Escritura - revisión y edición, 7-Investigación, 8-Metodología, 9-Recursos, 10-Redacción - borrador original, 11-Software, 12-Supervisión, 13-Validación, 14-Visualización.