



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Evaluación de las técnicas de remoción de fármacos en aguas  
residuales municipales y hospitalarias**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero Ambiental**

**AUTORES:**

Gamez Jara, Auria Julissa ([orcid.org/0000-0003-4210-5399](https://orcid.org/0000-0003-4210-5399))

Rodriguez Serin, Henry ([orcid.org/0000-0002-7317-7013](https://orcid.org/0000-0002-7317-7013))

**ASESOR:**

Dr. Cruz Monzón, José Alfredo ([orcid.org/0000-0001-9146-7615](https://orcid.org/0000-0001-9146-7615))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Adaptación al cambio climático y fomento de ciudades sostenibles y resilientes

**TRUJILLO - PERÚ**

**2022**

## Dedicatoria

En primer lugar, dedicamos este trabajo de investigación a nuestro Dios Padre quien nos guio, nos dio la fortaleza y la confianza durante el desarrollo de nuestra carrera profesional, para así culminar exitosamente esta importante etapa de nuestra vida.

A nuestros padres por apoyarnos incondicionalmente y confiar en nuestro potencial para desarrollar este trabajo de investigación final que sustenta y da fe de lo aprendido durante el desarrollo de nuestra carrera profesional de Ingeniería Ambiental.

## Agradecimiento

Agradecer a nuestro Dios Todopoderoso por mantenernos perseverantes, positivos y permitirnos gozar de buena salud, por brindarnos la oportunidad de estudiar y tener una carrera profesional.

Agradecer a nuestros Padres por su esfuerzo, dedicación y amor hacia nosotros, eso nos permitió seguir adelante esforzándonos cada día para ser mejores personas con calidad humana y profesional.

Agradecer a nuestra familia y amigos por acompañarnos y apoyarnos de manera constante durante nuestra etapa universitaria.

Agradecer a nuestra Universidad César Vallejo y a la plana docente de la escuela de Ingeniería Ambiental quienes nos brindaron sus conocimientos y compartieron momentos e historias que nos ayudaron a comprender y adquirir mejor nuestros conocimientos.

Asimismo, agradecer a nuestro asesor el Dr. José Alfredo Cruz Monzón por guiarnos y apoyarnos en el desarrollo de nuestro proyecto y desarrollo de tesis para así culminar de manera exitosa esta etapa de formación profesional.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenido .....	iv
Índice de tablas .....	vi
Índice de figuras .....	vii
Resumen .....	viii
Abstract .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA .....	12
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	12
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización .....	12
3.3. Escenario de estudio .....	13
3.4. Participantes .....	13
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	13
3.6. Procedimiento .....	14
3.7. Rigor científico .....	16
3.8. Método de análisis de datos .....	16
3.9. Aspectos éticos .....	16
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	17

V. CONCLUSIONES .....	41
VI. RECOMENDACIONES.....	42
REFERENCIAS.....	43

## ANEXOS

Anexo 1. Matriz de categorización apriorística

Anexo 2. Ficha de recolección de datos

Anexo 3. Conjunto de estudios incluidos en la revisión sistemática

Anexo 4. Mapa temático de antibióticos detectados en aguas residuales en diferentes países

Anexo 5. Mapa temático de analgésicos detectados en aguas residuales en diferentes países

Anexo 6. Mapa temático de antiepilépticos detectados en aguas residuales en diferentes países

Anexo 7. Mapa temático de hormonas detectadas en aguas residuales en diferentes países

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> <i>Palabras clave de búsqueda en cada base de datos.....</i>	14
<b>Tabla 2.</b> <i>Criterios para la inclusión de artículos científicos en la investigación. ...</i>	15
<b>Tabla 3.</b> <i>Rangos de concentración de fármacos presentes en el afluente de PTAR municipales.....</i>	21
<b>Tabla 4.</b> <i>Rangos de concentración de fármacos presentes en el afluente de PTAR hospitalarias .....</i>	21
<b>Tabla 5.</b> <i>Remoción de fármacos por métodos de tratamiento físicos .....</i>	25
<b>Tabla 6.</b> <i>Remoción de fármacos por métodos de tratamiento químicos. ....</i>	28
<b>Tabla 7.</b> <i>Remoción de fármacos por métodos de tratamiento biológicos.....</i>	30
<b>Tabla 8.</b> <i>Remoción de fármacos en aguas residuales hospitalarias .....</i>	39

## Índice de figuras

<i>Figura 1:</i> Rutas de entrada de fármacos en el medio acuático. ....	9
<i>Figura 2:</i> Métodos de tratamiento de aguas residuales.....	11
<i>Figura 3:</i> Publicaciones vinculadas a las técnicas de remoción de fármacos en A.R.M. y A.R.H. ....	17
<i>Figura 4:</i> Esquematización del procedimiento de búsqueda e identificación de artículos incluidos en la investigación.....	19
<i>Figura 5:</i> Principales clases de fármacos detectados con mayor frecuencia en aguas residuales .....	22
<i>Figura 6:</i> Principales fármacos detectados con mayor frecuencia en aguas residuales .....	22
<i>Figura 7:</i> Remoción de fármacos en aguas residuales municipales en estudios con diseño Experimental puro .....	34
<i>Figura 8:</i> Remoción de fármacos en aguas residuales municipales en estudios con diseño Cuasi-experimental .....	35
<i>Figura 9:</i> Remoción de fármacos en aguas residuales municipales en estudios con diseño Pre-experimental.....	36

## Resumen

Existen diversas técnicas de remoción de fármacos en aguas residuales, sin embargo, en su proceso de eliminación se han observado fortalezas y debilidades que limitan la aplicabilidad de las mismas. Por consiguiente, la investigación desarrollada tuvo como objetivo evaluar las mejores técnicas de remoción de fármacos en aguas residuales municipales y hospitalarias. Para ello, se utilizó un diseño no experimental, descriptivo cualitativo-cuantitativo, que corresponde a una revisión sistemática sin meta-análisis. En base a criterios de inclusión y exclusión establecidos, se seleccionaron 31 artículos de acceso libre de las bases de datos Scopus, ProQuest, Ebsco host y ScienceDirect. Los resultados mostraron que en aguas residuales es frecuente encontrar altas concentraciones de analgésicos como naproxeno (1.37 mg/L) y antibióticos como norfloxacin (0.561 mg/L) y que las técnicas como ósmosis inversa, ozonización y lodos activados tuvieron las mejores remociones logrando valores de 99%. Se concluyó que la ósmosis inversa es una de las técnicas más eficientes para eliminar ofloxacin, sulfametoxazol, carbamazepina y diclofenaco en aguas residuales municipales con remociones que oscilaron entre 96 y 99.9%, mientras que para aguas residuales hospitalarias la técnica lodos activados resultó ser eficiente eliminando analgésicos y antibióticos en el rango de 41 a 99%.

**Palabras clave:** Técnica, remoción, fármacos, aguas residuales, eficiencia.

## Abstract

There are several techniques for the removal of pharmaceuticals from wastewater; however, strengths and weaknesses have been observed in their elimination process that limit their applicability. Therefore, the research developed was aimed at evaluating the best pharmaceuticals removal techniques in municipal and hospital wastewater. For this, a non-experimental, descriptive, qualitative-quantitative design was used, which corresponds to a systematic review without meta-analysis. Based on established inclusion and exclusion criteria, 31 open access articles were selected from the Scopus, ProQuest, Ebsco host and ScienceDirect databases. The results showed that high concentrations of analgesics such as naproxen (1.37 mg/L) and antibiotics such as norfloxacin (0.561 mg/L) are frequently found in wastewater and that techniques such as reverse osmosis, ozonation and activated sludge had the best removals, achieving values of 99%. It was concluded that reverse osmosis is one of the most efficient techniques for eliminating ofloxacin, sulfamethoxazole, carbamazepine and diclofenac in municipal wastewater with removals ranging from 96 to 99.9%, while for hospital wastewater the activated sludge technique proved to be efficient, eliminating analgesics and antibiotics in the range of 41 to 99%.

**Keywords:** Technique, removal, pharmaceuticals, wastewater, efficiency.

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente se ha evidenciado un desarrollo en las técnicas analíticas, lo cual ha permitido reconocer y cuantificar la presencia de muchos contaminantes e incluso microcontaminantes en concentraciones bajas (desde ng/L hasta µg/L) en el agua (Alean et al., 2021, p. 179; Thiebault et al., 2017, p. 247). Dentro de estos contaminantes se encuentran los denominados contaminantes emergentes (CE), los cuales generan una preocupación especial por su presencia y posibles efectos en cuerpos de agua (Camiré et al., 2020, p. 3560). Para Jari et al. (2022, p. 1) estos CE no están regulados en su totalidad, sin embargo, son usados en grandes cantidades lo que favorece su presencia en aguas residuales y superficiales, por estos motivos, pueden resultar nocivos para ecosistemas acuáticos y la salud humana.

En el mismo sentido, Morosini et al. (2017, p. 1) indicaron que en este grupo se encuentran los fármacos o compuestos farmacéuticos (PhC), productos estudiados ampliamente en los últimos años debido a su presencia en el medio acuático y sus impactos negativos. Asimismo, la atención que reciben se debe principalmente a su alto consumo, producción, disposición incorrecta, bioacumulación y naturaleza no biodegradable (Mathur, Sanyal y Das, 2021, p. 451). Según Silva et al. (2020, p. 2) después de la ingesta humana, los fármacos son metabolizados y excretados, lo que conlleva a una descarga mixta entre ingredientes activos y metabolitos en las redes de alcantarillado. En esa misma línea, Zhang et al. (2016, p. 148) señalan que los PhC ingresan al medio ambiente principalmente por los vertimientos de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), efluentes hospitalarios, efluentes industriales, escorrentías y excretas tanto de humanos como de animales.

De la misma manera, Krakkó et al. (2019, p. 108) sostienen que las principales fuentes de contaminación por fármacos están relacionadas a efluentes hospitalarios y de PTAR municipales, siendo los efluentes hospitalarios aquellos que contienen mayores concentraciones respecto a ciertos PhC (Wiest et al., 2018, p. 9207). Además, debido a la pandemia COVID-19 se ha incrementado el consumo de productos farmacéuticos a nivel mundial, incrementando así la concentración de estos en las aguas residuales (Nippes et al., 2021, p. 569).

En relación a lo mencionado, Krishnan et al. (2021, p. 1) expresan que los métodos tradicionales de tratamiento de aguas residuales no están diseñados para remover PhC ocasionando que los efluentes se viertan a los cuerpos de agua sin ser tratados eficientemente, causando impactos negativos en la biodiversidad y favoreciendo la resistencia a antibióticos por parte de algunas bacterias. Según Li et al. (2022, p. 2) en la actualidad se aplican diversas técnicas para la eliminación de fármacos, las cuales están basadas en métodos físicos, químicos y biológicos.

En tal sentido, cada técnica de tratamiento tiene sus propias ventajas y limitaciones, por ejemplo, las técnicas de tratamiento basadas en métodos físicos como la adsorción y la filtración por membranas han evidenciado eliminar fármacos de manera eficaz, sin embargo, la adsorción tiene la limitación de únicamente transferir el contaminante del agua a una estructura porosa, originando un residuo que posteriormente necesitará un tratamiento o una disposición final (Mestre y Carvalho, 2019, p. 2), de la misma forma, la filtración por membranas enfrenta desafíos como la alta demanda de energía operativa (Tulashie et al., 2018, p. 3).

Asimismo, las técnicas basadas en métodos químicos como la ozonización y la fotocátalisis han demostrado ser efectivas eliminando fármacos (Silva et al., 2019, p. 2), no obstante, la ozonización puede generar subproductos nocivos y la fotocátalisis es una de las técnicas más investigadas pero la demanda de energía, costos operativos y de mantenimiento han evitado que se realicen investigaciones a gran escala hasta el momento (Taoufik et al., 2021, p. 2).

Por el contrario, las técnicas basadas en métodos biológicos usualmente son menos costosas pero la eliminación de algunos fármacos es deficiente, por ejemplo, la eliminación de fármacos por lodos activados dependerá de las características de estos contaminantes, así como de las condiciones en las que se da la operación (Liang et al., 2021, p. 1). Otra técnica biológica con resultados prometedores en la eliminación de fármacos son los biorreactores de membrana, sin embargo, su aplicación a gran escala tiene limitaciones como el ensuciamiento de las membranas y los costos operativos (Del Álamo et al., 2022, p. 1).

De acuerdo a la problemática descrita, surgió la siguiente interrogante: ¿Cuáles son las mejores técnicas de remoción de fármacos en aguas residuales municipales y

hospitalarias?, asimismo, el desarrollo de la investigación estuvo orientado a evaluar dichas técnicas, puesto que a nivel mundial se ha incrementado el consumo de fármacos y también su concentración en aguas residuales.

De esta manera, la investigación se justificó porque las técnicas de tratamiento convencionales usadas en las PTAR no logran remover eficientemente los PhC, provocando así que los efluentes se viertan con un alto contenido de estos compuestos en diferentes cuerpos de agua, por ello, existe la necesidad de conocer y evaluar nuevas técnicas que permitan solucionar esta problemática, al mismo tiempo, se brindó información relacionada a dichas técnicas, la cual puede ayudar a evitar impactos negativos en la biodiversidad acuática y la salud humana, además, la investigación sirve como base para futuras investigaciones que se quieran fundamentar en ella y llevar a cabo una investigación experimental.

Considerando lo descrito en la realidad problemática y la justificación, se formuló como objetivo general evaluar las mejores técnicas de remoción de fármacos en aguas residuales municipales y hospitalarias, es así, que fundamentándose en este objetivo general se consideró los objetivos específicos mencionados a continuación: Establecer los tipos de fármacos presentes en aguas residuales municipales y hospitalarias; evaluar el porcentaje de remoción de fármacos según los métodos de tratamiento aplicados; evaluar el porcentaje de remoción de fármacos según el tipo de agua residual.

## II. MARCO TEÓRICO

Para Egbuna et al. (2021, p. 1) los CE son un conjunto de diferentes compuestos ya sean naturales o sintéticos que usualmente no son monitoreados en el ambiente, sin embargo, pueden ingresar a él causando diferentes efectos ecológicos y de salud adversos. Las principales vías de entrada de los PhC a los cuerpos de agua son los efluentes de las PTAR municipales y hospitalarias, las cuales emplean técnicas convencionales que logran una eficiencia de remoción limitada provocando que la búsqueda de nuevas técnicas de tratamiento más eficientes sea una preocupación ambiental mundial (Gorito et al., 2017, p. 429).

Afsa et al. (2020) estudiaron la presencia de 40 PhC de diversos grupos terapéuticos en las aguas residuales afluentes y efluentes de una PTAR y efluentes de un hospital aplicando un diseño pre-experimental, debido a ello se tomaron muestras durante 6 meses y para el análisis de los fármacos se utilizó la extracción en fase sólida y (LC-MS/MS) con triple cuadrupolo, obteniendo como resultados la determinación de 33 de 40 compuestos investigados y una concentración promedio de PhC en aguas residuales hospitalarias de 340000 ng/L, superando a lo encontrado en los afluentes y efluentes de la PTAR (275110 ng/L). Razón por la cual, concluyeron que después del periodo de muestreo las concentraciones de PhC más altas se encontraron en los efluentes de las aguas hospitalarias, es por ello que, indicaron que se debe implementar estrategias de gestión en aguas residuales hospitalarias, así como mejores tecnologías en la PTAR.

Aydin et al. (2019) estudiaron la presencia de antibióticos en 16 efluentes de hospitales y debido a que las aguas residuales hospitalarias se vertían directamente al alcantarillado también se plantearon como objetivo determinar la remoción de antibióticos en la PTAR municipal que emplea un tratamiento convencional basado en la técnica de lodos activados. Su investigación utilizó un diseño pre-experimental y se tomaron muestras de los efluentes hospitalarios, así como muestras de los afluentes y efluentes de la PTAR para analizarlos por (LC-MS/MS) con triple cuadrupolo. Entre sus resultados expresaron que la concentración total de antibióticos en efluentes hospitalarios varió entre 21.2 y 4886 ng/L en verano y de 497 a 322735 ng/L en invierno, de manera similar, indicaron que la PTAR logró remover antibióticos en 79% en verano y 36% en invierno. En base a esto,

concluyeron que la eficiencia de eliminación de antibióticos en la PTAR es deficiente y se debería mejorar el tratamiento utilizado.

Botero-Coy et al. (2018) investigaron la presencia de PhC en las aguas residuales colombianas empleando un diseño de investigación pre-experimental, por lo que se recolectaron muestras de aguas residuales municipales afluentes y efluentes, de la misma forma, se recolectaron muestras de efluentes hospitalarios para luego analizarlas por cromatografía líquida-espectrometría de masas en tándem (LC-MS/MS). Como resultados expusieron que el acetaminofén (ACE) tuvo una concentración de 50000 ng/L en aguas residuales municipales, mientras que, algunos antibióticos como ciprofloxacina (CIP) y norfloxacina (NOR), estuvieron presentes en las aguas residuales municipales y hospitalarias en concentraciones de 1000 ng/L y 5000 ng/L, respectivamente. De esta manera, concluyeron que las aguas residuales municipales colombianas presentan concentraciones de PhC similares tanto en afluentes como efluentes, asimismo, PhC como los antibióticos presentaron mayores concentraciones en aguas residuales hospitalarias.

Nieto-Juárez et al. (2021) investigaron la detección y eliminación de PhC en PTAR municipales peruanas utilizando un diseño de investigación pre-experimental, debido a esto las muestras tomadas para la investigación fueron de las aguas residuales afluentes y efluentes de las PTAR que se encuentran en Cusco y Lima, asimismo, los análisis se realizaron por (LC-MS/MS) con triple cuadrupolo. Para la PTAR ubicada en Cusco con un sistema biológico usando filtros percoladores sintéticos, obtuvieron remociones de 75% para NOR y 50% para CIP, de la misma manera, la PTAR de Lima utilizando rejillas, desarenador, desengrasante aireado y tamizado logró remover un 52% para NOR y un 17% para CIP. Finalmente, concluyeron que en Perú los tratamientos que se aplican en las PTAR no son eficientes por lo que se deben implementar procesos complementarios para asegurar la eliminación de estos contaminantes.

Xu et al. (2020) exploraron los rechazos de microcontaminantes por un sistema de nanofiltración (NF), utilizando un diseño cuasi-experimental se instaló un sistema NF a escala piloto para tratar aguas residuales municipales considerando la temperatura del afluente y la tasa de recuperación como condiciones de operación.

Teniendo como resultados las concentraciones mayores a 100 ng/L en el afluente para sulfametoxazol (SMX), sulfadiazina (SDZ) e ibuprofeno (IBU), asimismo, el sistema NF a una temperatura de 25 °C y con un 80% como tasa de recuperación mostró un rechazo de 85% para SMX y SDZ, mientras que, los rechazos de IBU solo fueron de 11.6%, en cambio, a una temperatura de 13 °C se alcanzaron remociones de 100%. Por ello, concluyeron que se obtienen mejores rechazos de microcontaminantes a temperaturas bajas ya que esto influye en la disminución de los poros de la membrana.

Bosio et al. (2019) investigaron la remoción del antiepiléptico CBZ de diferentes matrices (agua ultrapura y un efluente de una PTAR) mediante procesos de oxidación avanzada como fotocátalisis heterogénea  $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$ , su diseño aplicado fue experimental puro, enriqueciendo cada matriz con el fármaco a una concentración de 100000 ng/L, evaluando diferentes concentraciones de catalizador y diferentes condiciones de pH. Respecto a sus resultados, obtuvieron una remoción de 85% de CBZ en agua ultrapura aplicando 100 mg/L de  $\text{TiO}_2$  después de 10 minutos y un pH 7, por otro lado, empleando como matriz el efluente de una PTAR, solo se alcanzó una remoción de 30% de CBZ aplicando 100 mg/L de  $\text{TiO}_2$  después de 240 minutos y un pH 7.55. Por último, los autores concluyeron que la eliminación de PhC en el efluente de PTAR fue menos eficiente debido a que otros compuestos en las aguas residuales también reaccionan con los radicales formados en el proceso.

Konstas et al. (2019) tuvieron por objetivo evaluar la degradación fotocatalítica de PhC usando el semiconductor  $\text{TiO}_2$  en efluentes de aguas residuales hospitalarias reales por irradiación solar simulada, su estudio tuvo un diseño experimental puro y se tomaron muestras del efluente de una PTAR hospitalaria ubicada en Grecia, asimismo, dichas muestras fueron analizadas por extracción en fase sólida seguida de cromatografía líquida-espectrometría de masas de alta resolución Orbitrap. Los resultados de los autores indicaron la remoción de 71% del antibiótico SMX aplicando 100 mg/L de  $\text{TiO}_2$  después de 90 minutos de irradiación a una intensidad de  $500 \text{ Wm}^{-2}$  y temperatura de 23 °C. A modo de conclusión, los autores destacaron el rendimiento fotocatalítico de  $\text{TiO}_2$  y que las mediciones de los

parámetros fisicoquímicos antes y después del tratamiento evidenciaron la degradación de los PhC presentes en los efluentes de la PTAR hospitalaria.

Vasalle et al. (2020) evaluaron la capacidad de eliminación de PPCP de aguas residuales municipales a través de un estanque de algas de alta tasa (HRAP) a escala piloto usando un diseño cuasi-experimental, en consiguiente las muestras fueron tomadas del afluente de HRAP (antes de la entrada al estanque) y del efluente (luego del sedimentador secundario). Los autores consideraron como principales resultados que los porcentajes de remoción fueron variables, eliminando Ketoprofeno (KET) (33% en promedio) y Naproxeno (NPX) (45% en promedio). En suma, concluyeron que HRAP es un sistema de tratamiento natural de bajo coste basado en producción de biomasa de microalgas, que sirve como tratamiento secundario para aguas residuales municipales y que presenta eficiencias de remoción muy variables.

Al-Mashaqbeh et al. (2019) evaluaron la ocurrencia y eliminación de productos usados con fines farmacéuticos y para el cuidado personal (PPCP) en una PTAR ubicada en Jordania mediante un diseño de investigación pre-experimental, asimismo, determinaron las concentraciones de 14 compuestos en los afluentes y efluentes de la PTAR aplicando (LC-MS/MS). Entre sus principales resultados destacaron las altas concentraciones en el afluente de cafeína (CAF) (155600 ng/L), ACE (36700 ng/L) y carbamazepina (CBZ) (1104 ng/L), de manera similar, el tratamiento mediante lodos activados logró una remoción por encima del 95% para CAF y ACE, mientras que CBZ solo se eliminó en un 22.5%. Sin embargo, la eliminación de otros PPCP fue muy inferior, por estos motivos, concluyeron que la PTAR ubicada en Jordania es ineficaz y se debe implementar una campaña de monitoreo para evaluar la eliminación de dichos contaminantes en la PTAR.

De manera semejante, el estudio se basó en la examinación de teorías relevantes relacionadas al tema como lo son los fármacos o PhC, a los cuales Hossain et al. (2018, p. 258) señala como moléculas biológicamente activas, conocidas como medicamentos que actúan como medidas de diagnóstico, preventivas y curativas con respecto a diferentes enfermedades, los cuales se pueden adquirir bajo receta médica y de manera libre.

Después de ser utilizados, estos PhC son excretados de nuestro organismo y los compuestos activos y sus metabolitos terminan formando parte de las aguas residuales municipales (A.R.M.), las cuales se definen como la mezcla de aguas domésticas con aguas residuales previamente tratadas de diferentes industrias y que contienen materia orgánica, nutrientes, patógenos entre otros contaminantes (Gerba y Pepper, 2019, p. 329), similarmente, las aguas residuales hospitalarias (A.R.H.) son una combinación de patógenos, PhC, drogas y sus metabolitos, resultantes de diversos procesos médicos que se realizan en los hospitales como: intervenciones quirúrgicas, laboratorios, tratamientos internos y servicios generales, siendo estas aguas residuales las que más contaminan los cuerpos de agua (Mackul'ak et al., 2021, p. 1).

Por otra parte, el vertimiento de aguas residuales hospitalarias de forma directa al alcantarillado es usual en países tercermundistas, favoreciendo así la mayor concentración de PhC en aguas residuales municipales (Macías-García et al., 2019, p. 1), ya sea que estas aguas residuales reciban un tratamiento en común o por separado, es necesario dicho tratamiento para evitar impactos negativos, Shokoohi et al. (2020, p. 131) consideran que el inadecuado tratamiento de las aguas residuales generan impactos perjudiciales tanto en el desarrollo como en la salud de las personas, por ejemplo, favoreciendo la propagación de pandemias como la COVID-19 y aumentando la resistencia a los antibióticos por parte de algunas bacterias. El evitar estos impactos se hace posible gracias a las PTAR o infraestructuras compuestas con procesos que hacen posible la purificación de las aguas residuales antes de ser vertidas a los cuerpos de agua cumpliendo determinados estándares reguladores (Igere, Okoh y Nwodo, 2020, p. 212).

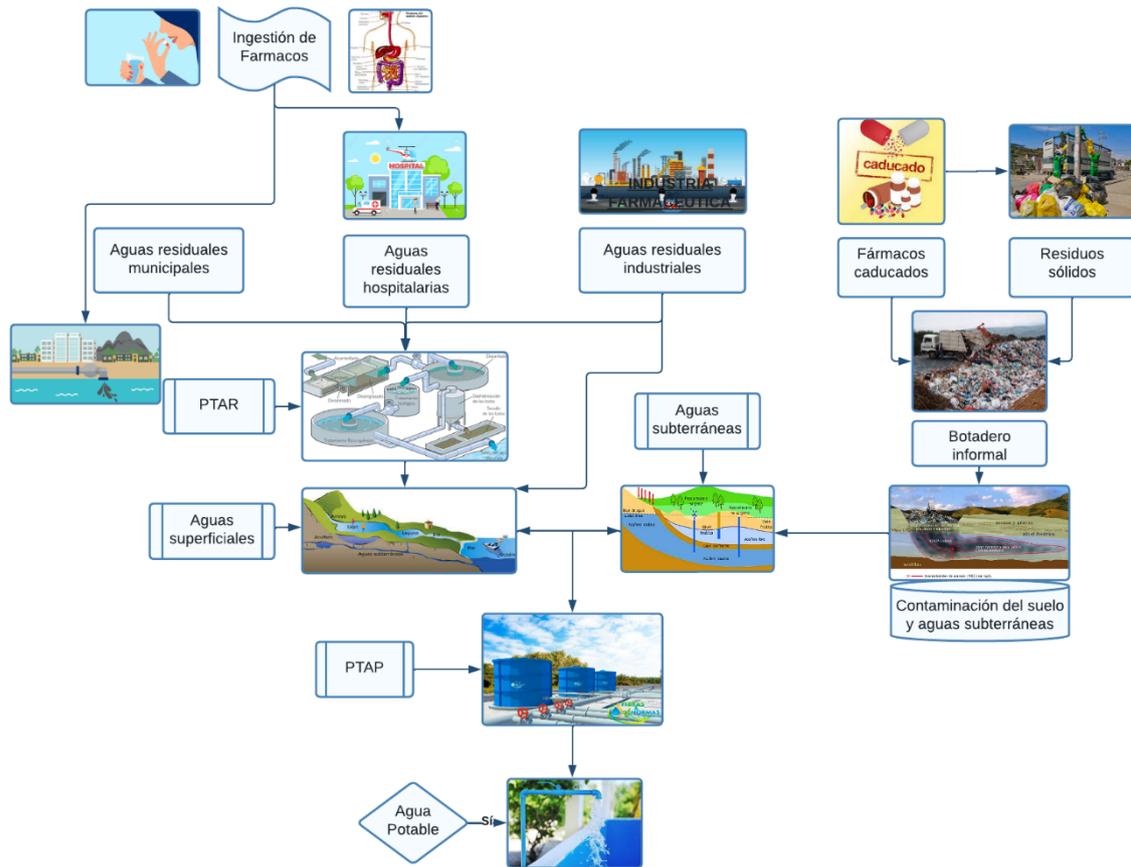


Figura 1: Rutas de entrada de fármacos en el medio acuático. (Adaptado de: Singh et al., 2021)  
 Fuente: Elaboración propia

No todas las PTAR son iguales y una de las principales diferencias que pueden tener son los métodos de tratamiento aplicados, la gran mayoría de PTAR suele usar tratamientos convencionales que cuentan con procedimientos preliminares, primarios, secundarios y terciarios que se fundamentan en los procesos físicos, químicos y biológicos (Mansouri et al., 2021, p. 11).

En consiguiente, los métodos de tratamiento físicos son aquellos que hacen referencia a la eliminación de contaminantes, pero manteniendo sus propiedades bioquímicas, puesto que estos métodos ignoran los agentes tanto químicos como biológicos (Ahmed et al., 2021 p. 6). Dentro de estos métodos, se encuentra la filtración por membrana y a su vez esta técnica se subdivide en otras, siendo las principales la nanofiltración y la ósmosis inversa, respecto a la nanofiltración, se sabe que es un proceso que se realiza por medio de un mecanismo de tamizado y el tamaño del poro de esta membrana generalmente es de 1 a 2 nanómetros (nm),

mediante la cual se retiene a las partículas más grandes y se deja fluir las más pequeñas (Licona et al., 2018, p. 196). Asimismo, la ósmosis inversa es una técnica que se estimula con una presión operativa de 1,5-12 megapascal (MPa) y consta de una membrana con un tamaño de poro de 0,1-1 nm, mediante la cual se filtra el agua tratada y se detiene a la carga contaminante (Youcai, 2018, p. 367).

Otra técnica física es la adsorción, este proceso se lleva a cabo por la extracción de moléculas de una fase y su acoplamiento a una superficie que por lo general es sólida, por ello, se usan materiales como carbón activado granular y en polvo, por su alta porosidad, su extensa área superficial y su elevada actividad de reacción (Mathur, Sanyal y Das, 2021, pp. 458-459).

En relación a los métodos de tratamiento químicos, Saleh, Zouari y Al (2020, p. 3) indican que consisten en la utilización de sustancias para la separación de contaminantes disueltos en aguas residuales mediante una serie de reacciones, en el mismo sentido, en estos métodos están incluidos los procesos de oxidación avanzada como por ejemplo, la fotocatalisis, proceso que utiliza semiconductores que actúan como fotocatalizadores ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{SnO}_2$  y  $\text{WO}_2$ ), los cuales aceleran una reacción al ser expuestos a la luz, entre ellos,  $\text{TiO}_2$  es el catalizador que tiene mayor uso por su estabilidad y eficiencia (Ameta et al., 2018, p 136). Por otro lado, la ozonización como proceso de oxidación avanzada consiste en la descomposición oxidativa de compuestos contaminantes, que se da de manera directa por la molécula de ozono o de manera indirecta por la degeneración que se ocasionan durante la actividad de los radicales hidroxilos (Mathur, Sanyal y Das, 2021, p. 462).

Finalmente, los métodos de remoción biológicos aprovechan diferentes procesos y microorganismos con el propósito de degradar contaminantes en moléculas más pequeñas o biomineralizarlos, de la misma forma, se puede decir que estos métodos son más rentables y usualmente son usados como tratamiento secundario (Grandclément et al., 2017, p. 298). Estos métodos incluyen técnicas como los lodos activados, los cuales emplean cultivos microbianos en suspensión para la biodegradación de microcontaminantes en condiciones aeróbicas que luego pasan

a formar bioflóculos para separar los sólidos sedimentables (Rajasulochana y Preethy, 2016, p. 177).

En el mismo contexto, Jiménez-Bambague et al. (2020, p. 1032) explican que un estanque de algas de alta tasa (HRAP) consiste en un reactor de canalización donde se encuentran las bacterias en simbiosis y las microalgas con mezcla de licor para incrementar la biomasa y así tenga una remoción considerable de contaminantes. Asimismo, De Ilurdoz, Sadhwani y Reboso (2022, p. 6) indicaron que los biorreactores de membrana son la combinación de las tecnologías biológicas y las técnicas de separación por membrana, siendo de importante la presión y la dimensión del poro de la membrana para tamizar los compuestos de las aguas residuales.

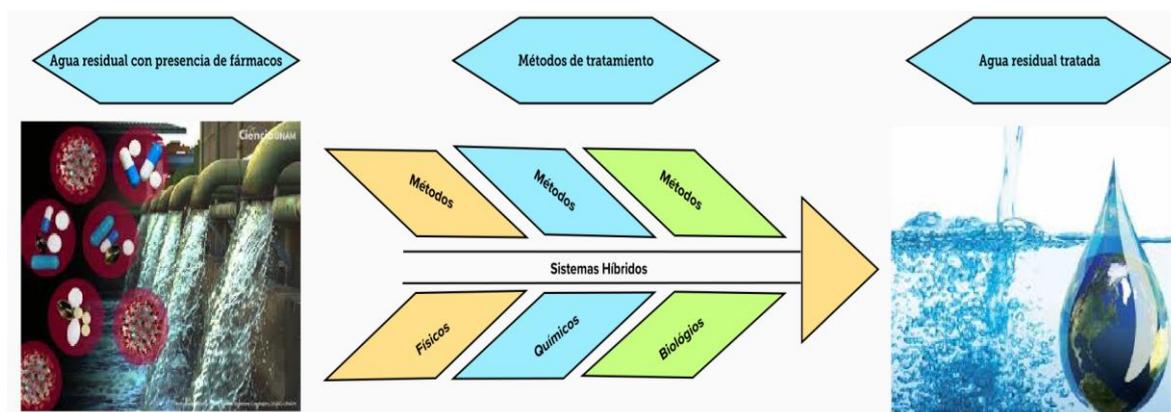


Figura 2: Métodos de tratamiento de aguas residuales.

Fuente: Elaboración propia

Las técnicas de tratamiento antes mencionadas presentan diversas ventajas y desventajas, además, se diferencian porque logran porcentajes de remoción de contaminantes variados, para Wang et al. (2018a, pp. 2-10) el porcentaje de remoción es la representación numérica para indicar la eficiencia de un tratamiento, ya que ayuda a identificar la cantidad eliminada de un contaminante en las aguas residuales. Es importante recalcar que, de acuerdo a Styszko et al. (2021, p. 4) la eficiencia de remoción de los PhC por las diferentes técnicas de tratamiento se calcula a través de las concentraciones en ng/L de estos microcontaminantes en las muestras de afluentes y efluentes, tal como muestra la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia de remoción} = \left( \frac{C_{\text{afluente}} - C_{\text{efluente}}}{C_{\text{afluente}}} \right) \times 100$$

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

De acuerdo a su propósito, la investigación fue de tipo básica debido a que buscó favorecer el incremento de los conocimientos científicos y ser un apoyo para investigaciones futuras. Asimismo, por su nivel de profundidad, fue descriptiva ya que se recopiló información contenida en artículos científicos para evaluar cómo son y se manifiestan los fenómenos estudiados. De la misma manera, la investigación realizada tuvo un tipo documental ya que se hizo una indagación de artículos científicos en bases de datos de carácter confiable. Además, por la naturaleza del análisis de información, la investigación fue de tipo mixta debido a que se manejaron datos tanto cualitativos como cuantitativos. Finalmente, la investigación fue de tipo longitudinal puesto que la información que se revisó estuvo comprendida entre los años 2016 al 2022.

Por otra parte, a la investigación llevada a cabo le correspondió un diseño de investigación no experimental, debido a que en ningún momento hubo una manipulación de variables, sino que se analizó la información tal cual estuvo en los artículos de investigación, por lo que tuvo un corte descriptivo y correspondió a una revisión sistemática sin metaanálisis.

#### **3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización**

Para la investigación se elaboró una matriz de categorización apriorística, la cual contuvo las categorías y subcategorías empleadas de acuerdo a los objetivos específicos establecidos. De esta forma, la primera categoría fue clase de fármacos y sus subcategorías fueron antibióticos, antiepilépticos, analgésicos y hormonas. La segunda categoría abarcó los métodos de remoción tanto físicos, químicos y biológicos, de los cuales se separaron como subcategorías las técnicas de remoción físicas como filtración por membranas y adsorción. La siguiente subcategoría estuvo relacionada a las técnicas de remoción químicas como los procesos de oxidación avanzada. La siguiente subcategoría guardó relación con las técnicas de remoción biológicas como los estanques de alga de alta tasa (HRAP), lodos activados y biorreactores de membrana. Finalmente, la tercera

categoría fue tipo de agua residual, separándose las subcategorías agua residual municipal y agua residual hospitalaria. (Ver anexo 1)

### **3.3. Escenario de estudio**

El escenario de estudio en el que se realizó la investigación fueron las bases de datos, las cuales contienen revistas indexadas, a su vez estas revistas contienen artículos científicos que trataron acerca de las diferentes técnicas de remoción de fármacos en aguas residuales municipales y hospitalarias. En consiguiente, la búsqueda de estos artículos científicos se realizó en cuatro bases de datos (Scopus, ProQuest, Ebsco host y ScienceDirect).

### **3.4. Participantes**

Los participantes de la investigación realizada fueron los artículos originales de revistas indexadas a nivel internacional que cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión, los cuales trataron acerca del tema de investigación y contribuyeron al desarrollo de los objetivos planteados.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

En este punto, la técnica que se utilizó para la recopilación de la información fue el análisis documental, ya que sirvió como fundamento para la investigación. La búsqueda de literatura dependió del tema investigado y para aprovecharla en su totalidad, fue necesario estudiarla a detalle y tener un orden, esto permitió la recuperación de información de forma sistemática de acuerdo con los objetivos de investigación. Para Marín-González et al. (2018, p. 18) la técnica de análisis documental abarca el procesamiento analítico-sintético, el mismo que comprende la descripción bibliográfica, la clasificación, la extracción y elaboración de reseñas.

Por lo tanto, el instrumento que se utilizó en la investigación fue la ficha de recolección de datos, la cual se puede observar en el anexo 2, esta ficha contuvo la información necesaria para obtener los resultados de la investigación según los objetivos propuestos.

### 3.6. Procedimiento

En la investigación se realizó una identificación de artículos científicos relacionados al tema estudiado, para ello se utilizaron palabras clave y sus respectivas combinaciones usando operadores booleanos como se puede apreciar en la tabla 1.

**Tabla 1.** *Palabras clave de búsqueda en cada base de datos.*

N°	Base de datos	Palabras clave
1	Scopus	<p>((("hospital waste" OR Pharmaceuticals) AND ("waste water treatment plant" OR "Hospital wastewater" OR "Hospital effluent") AND (remove OR removal OR "Elimination"))</p> <p>((("Pharmaceutically active compounds" OR "contaminants of emerging concern" OR antibiotics) AND (wastewater OR "wastewater treatment" OR "sewage treatment plants"))</p> <p>((PPCPs OR "emerging contaminants") AND (wastewater OR "reclaimed water") AND ("reverse osmosis" OR nanofiltration OR adsorption OR "membrane bioreactor"))</p>
2	ProQuest	<p>((("Pharmaceutically active compounds" OR "contaminants of emerging concern" OR antibiotics) AND (wastewater OR "wastewater treatment" OR "sewage treatment plants"))</p> <p>((occurrence OR presence) AND (pharmaceutical OR "pharmaceutical products" OR "pharmaceutical compounds" OR PPCPs) AND (wastewater) AND ("wastewater treatment plant" OR WWTP))</p> <p>((occurrence OR presence) AND (pharmaceutical OR "pharmaceutical products" OR "pharmaceutical compounds") AND ("Hospital wastewater" OR "hospital effluent") AND ("wastewater treatment plant" OR WWTP))</p>
3	Ebsco host	<p>((occurrence OR presence) AND (pharmaceutical OR "pharmaceutical products" OR "pharmaceutical compounds" OR PPCPs) AND (wastewater) AND ("wastewater treatment plant" OR WWTP))</p> <p>("Photocatalytic degradation" AND sewage AND TiO2 AND pharmaceutical)</p>

- 4 ScienceDirect ((("Pharmaceuticals residues" OR Pharmaceuticals) AND ("Hospital effluent" OR "Wastewater characteristics"))
- (pharmaceuticals AND "wastewater treatment" AND Biomass AND HRAP AND "Green treatment")
- ((Pharmaceuticals OR NSAIDs) AND ("Risk assessment" OR "Environmental risk assessment") AND ("wastewater treatment plants"))
- ((micropollutants OR Pharmaceuticals OR "Endocrine disruption chemicals") AND (Ozonation OR "Advanced treatment processes") AND ("wastewater treatment plant" OR "municipal wastewater"))
- ((Pharmaceuticals OR "Emerging micropollutants") AND (Biodegradation OR "Membrane bioreactor") AND (Wastewater))

---

Fuente: Elaboración propia

A continuación, con el propósito de incluir solo artículos relevantes para la investigación se consideraron criterios de inclusión, los cuales son cualidades que se consideraron al momento de clasificar los artículos que se utilizaron para la investigación, esto quiere decir, que estos criterios especificaron el análisis que se usó para realizar el diagnóstico y los requisitos necesarios para que los artículos sean seleccionados y se incluyan en la revisión.

**Tabla 2.** *Criterios para la inclusión de artículos científicos en la investigación.*

Tipo de criterio	Inclusión
Tipo de acceso	Abierto
Tipo de documento	Artículo científico de revista indexada
Idioma	Inglés
Periodo de publicación	2016-2022

---

Fuente. Elaboración propia.

Luego, se consideró como criterio de exclusión a los estudios que emplearon como matriz aguas residuales sintéticas, puesto que según señala Orona-Návar et al. (2020, p. 1) las aguas residuales son matrices complejas y que son diferentes para cada PTAR. Posteriormente, los artículos que cumplieron con los criterios mencionados fueron analizados para procesar la información brindada mediante una ficha de recolección de datos, después, los artículos fueron agrupados de tal forma que se lograron cumplir los objetivos específicos (mencionados en el capítulo de la introducción), identificando coincidencias, generalidades u otra información

relevante que pueda ser expresada en los resultados mediante figuras y tablas, seguidamente se discutieron dichos resultados, para finalmente establecer conclusiones y brindar recomendaciones para investigaciones futuras.

### **3.7. Rigor científico**

El rigor científico se pudo verificar debido a que en la investigación se tuvieron en cuenta 31 artículos de revistas indexadas de acceso abierto que fueron revisados por pares, considerando que de acuerdo a la web Scimago Journal & Country Rank (SJR) al año 2021, el 74.2% de las revistas indexadas analizadas pertenecieron al cuartil Q1 y el 25.8% pertenecieron al cuartil Q2 (cuartiles más exigentes en cuanto a la calidad de las revistas) lo que garantizó la confiabilidad y veracidad de los datos que se manejaron, de la misma manera, la información presente en cada uno de los artículos fue tabulada tal y como se muestra en el documento original.

### **3.8. Método de análisis de datos**

En este punto se hizo uso del software Microsoft Office Excel para ordenar y agrupar la información, mediante el análisis de la misma usando la ficha de recolección de datos, en esta hoja de Excel los datos mostrados en los artículos se agruparon en base a su diseño, posteriormente, de acuerdo al método de tratamiento aplicado, la técnica usada, la clase de fármaco removido, el fármaco, el tipo de agua residual, y la eficiencia de remoción, todo ello para el cumplimiento de los objetivos específicos que planteó el presente estudio.

### **3.9. Aspectos éticos**

El estudio tuvo en cuenta los principios éticos ya que se respetó la autoría de cada uno de los autores de los documentos que se revisó citándolos correctamente siguiendo los lineamientos de ISO 690 y 690-2. Por otra parte, los principales hallazgos de las investigaciones se procesaron sin alterar ningún dato, garantizando así la objetividad al momento de tomar la información, procesarla y en el momento de generar conclusiones.

En consiguiente, se cumplió con el código de ética en investigación de la Universidad César Vallejo, por estos motivos, se garantizó la credibilidad de los resultados obtenidos en la investigación.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Inicialmente, la identificación de la tendencia de publicaciones relacionadas a las técnicas de remoción de fármacos en aguas residuales municipales (A.R.M.) y aguas residuales hospitalarias (A.R.H.), se logró gracias a la búsqueda preliminar en las bases de datos Scopus, ProQuest, Ebsco host y ScienceDirect, usando las palabras clave mencionadas anteriormente (Tabla 1).

De este modo, la figura 3 muestra la cantidad de publicaciones recopiladas en este ámbito desde el año 2016 hasta mayo de 2022, se obtuvieron un total de 290 publicaciones respecto a A.R.M. y 178 publicaciones respecto a A.R.H. Asimismo, se evidenció que el tema tuvo una tendencia de rápido aumento en los últimos años.

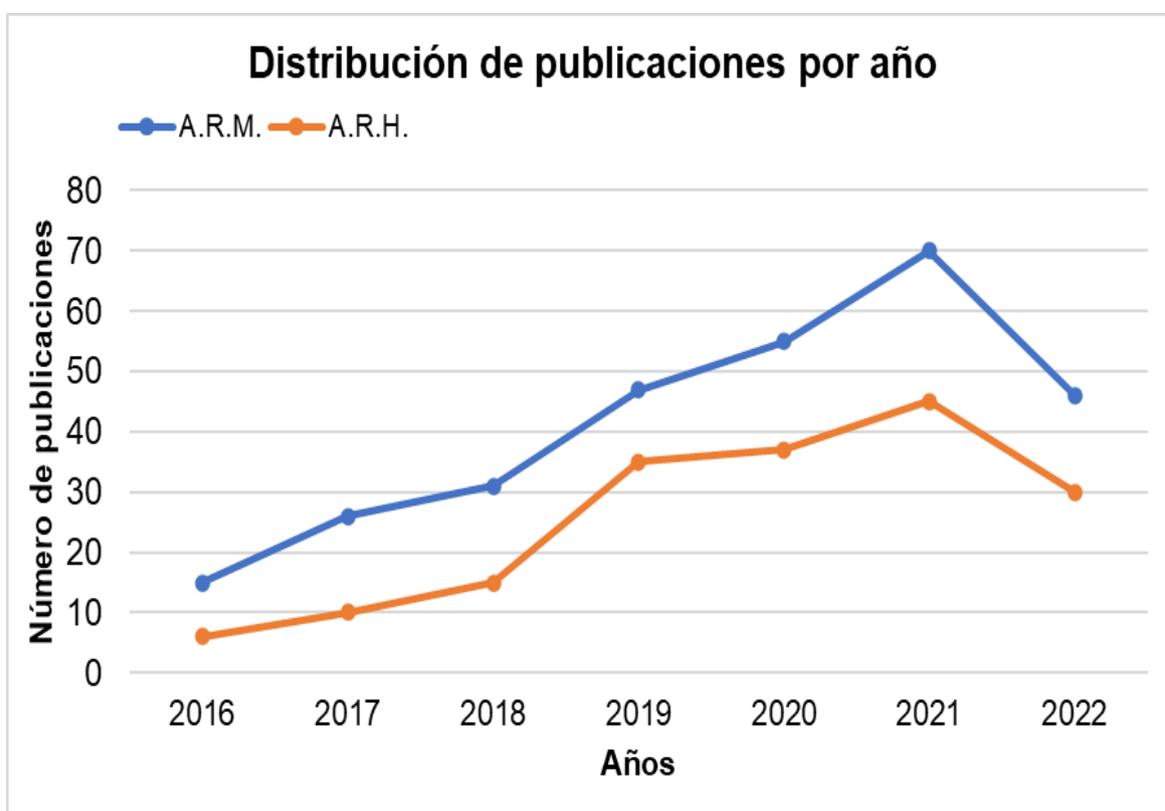


Figura 3: Publicaciones vinculadas a las técnicas de remoción de fármacos en A.R.M. y A.R.H.

Fuente: Elaboración propia

La figura 3 concuerda con lo señalado por Alvarino et al. (2018, p. 447) ya que en su artículo de revisión sobre las tendencias de remoción de microcontaminantes de las aguas residuales mencionó que antes del año 2015 la cuestión de la contaminación por fármacos fue raramente planteada por los científicos, además,

en aquellos años tampoco hubo equipos analíticos de alta sensibilidad en muchos países.

Sin embargo, a partir de la figura 3 también se puede deducir que actualmente la eliminación de fármacos de las aguas residuales es una temática relevante para la comunidad científica. De acuerdo con Kalaboka et al. (2020, p. 1), aparte de los contaminantes clásicos, la aparición de contaminantes emergentes como los fármacos han ganado un interés creciente en el ámbito de la investigación ambiental ya que estos contaminantes se han detectado con frecuencia en diferentes entornos acuáticos. Al mismo tiempo, el interés de parte de la comunidad científica en buscar técnicas eficientes para eliminar fármacos de aguas residuales hospitalarias antes de su vertido en el alcantarillado o un cuerpo de agua ha aumentado en gran manera en los últimos años (Moratalla et al., 2021, p. 3; Macías-García et al., 2019, p. 1).

Por otra parte, la figura 4 muestra la esquematización del proceso de selección de los artículos científicos incluidos en la investigación, dicho proceso permitió recopilar un total de 468 publicaciones, de esta cantidad se eliminaron 54 publicaciones repetidas (414 restantes), luego se excluyeron 86 publicaciones correspondientes a capítulos de libro y artículos de revisión (328 restantes), después se eliminaron 174 publicaciones que luego de analizar su resumen se evidenció que no ayudarían al desarrollo de los objetivos (154 restantes). Posteriormente, los artículos científicos restantes se sometieron a un análisis aplicando el criterio de exclusión establecido, excluyéndose de esta manera 123 artículos científicos. Finalmente, los 31 artículos científicos restantes fueron incluidos para su análisis y evaluación crítica en el presente estudio.

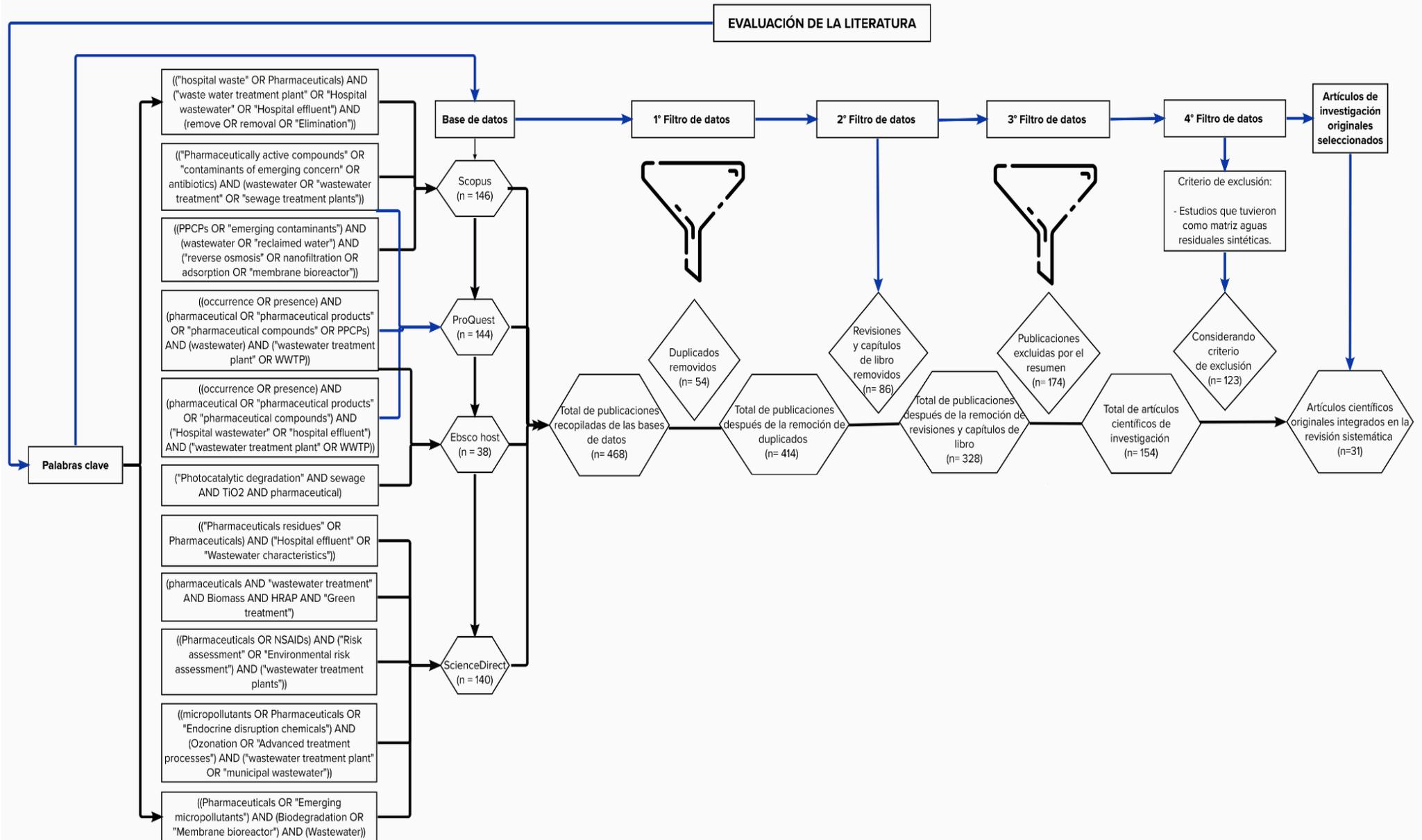


Figura 4: Esquemización del procedimiento de búsqueda e identificación de artículos incluidos en la investigación.

Fuente: Elaboración propia

Los 31 estudios incluidos en la investigación se realizaron en países como España (8), China (3), Portugal (2), Nigeria (2), Chipre (1), Estados Unidos (1), Turquía (1), Colombia (1), Suecia (1), India (1), Corea del Sur (1), Finlandia (1), Grecia (1), Sudáfrica (1), Dinamarca (1), Arabia Saudita (1), Kenia (1), Eslovaquia (1), Irán (1) y México (1). En consiguiente, los tipos de fármacos detectados en aguas residuales según estos estudios se pueden ver en los mapas temáticos realizados. (Ver anexos 4-7).

Por otro lado, en las aguas residuales, los PhC más detectados y estudiados pertenecen a clases terapéuticas como antibióticos, analgésicos, hormonas y antiepilépticos, igualmente, se han estudiado reguladores de lípidos, bloqueadores beta, agentes de radiocontraste y psicotrópicos, pero en menores medidas (De Jesus Gaffney et al., 2017, p. 14718).

Si bien es cierto, existe una gran cantidad de PhC detectados en aguas residuales, en esta investigación se ha considerado únicamente los detectados con mayor frecuencia y cuyas concentraciones pueden representar una amenaza para el medio ambiente según la literatura, de acuerdo a los criterios mencionados, se seleccionaron 16 PhC que constituyeron el punto central en esta investigación, en tal sentido, se incluyeron seis antibióticos (ciprofloxacina (CIP), norfloxacina (NOR), ofloxacina (OFL), enrofloxacino (ENR), sulfametoxazol (SMX) y sulfadiazina (SDZ)), un antiepiléptico (carbamazepina (CBZ)), cinco analgésicos (paracetamol o acetaminofén (ACE), diclofenaco (DCF), ibuprofeno (IBU), naproxeno (NPX) y ketoprofeno (KET)) y cuatro hormonas (estrone (E1), 17- $\beta$ -estradiol (E2), estriol (E3) y 17 $\alpha$ -etinilestradiol (EE2)).

A continuación, se muestra el análisis realizado para establecer los tipos de fármacos presentes en A.R.M. y A.R.H., cabe señalar que los datos se tomaron únicamente de los artículos de investigación que usaron un diseño pre-experimental.

**Tabla 3.** Rangos de concentración de fármacos presentes en el afluente de PTAR municipales

Clase de fármaco	Fármaco	Rango de concentración (ng/L)	Referencia
Antibióticos	CIP	27 - 4200	M04, M06, M07, H07, M14, M20
	NOR	14 - 620	M04, M06
	OFL	58 - 1020	M04, M06, M20
	ENR	8 - 27	M04, M06
	SMX	12 - 7800	M04, M07, H05, M13, M20
	SDZ	70 - 410	M06, H05
Antiepiléptico	CBZ	96 - 6500	M04, M07, H07, M12, M13, M14, M19, M20
Analgésicos	ACE	156.4 - 623000	M07, M13, M14, M20
	DCF	6 - 410000	M07, M12, H08, M13, M14, M15, M19, M20
	IBU	50 - 147500	M07, M12, H08, M13, M15, M19, M20
	NPX	60 - 1370000	M07, M12, M15, M19, M20
Hormonas	KET	10 - 260000	M07, M15, M19, M20
	E1	78 - 158	M04
	E2	11 - 54	M04
	E3	42 - 162	M04

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.** Rangos de concentración de fármacos presentes en el afluente de PTAR hospitalarias

Clase de fármaco	Fármaco	Rango de concentración (ng/L)	Referencia
Antibióticos	CIP	120 - 120000	H02, H04, H06, H07
	NOR	70 - 561000	H02, H06
	OFL	124000 - 198000	H02, H06
	SMX	30 - 20590	H01, H04, H05
	SDZ	565.3 - 3440	H01, H05
Antiepiléptico	CBZ	41.1 - 880	H01, H04, H07
Analgésicos	ACE	2660 - 119500	H02, H04, H10
	DCF	590 - 166000	H01, H08, H10
	IBU	330 - 63370	H02, H08, H10
	KET	650 - 700	H02
Hormonas	E1	4 - 53	H02
	E2	1 - 80	H02, H10
	E3	27 - 1480	H02
	EE2	881 - 9833	H02

Fuente: Elaboración propia

**Frecuencia de detección de las clases de fármacos en aguas residuales**

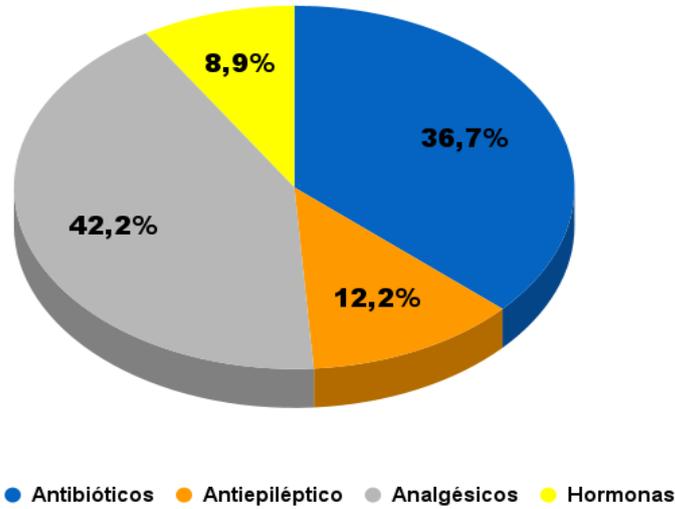


Figura 5: Principales clases de fármacos detectados con mayor frecuencia en aguas residuales  
Fuente: Elaboración propia

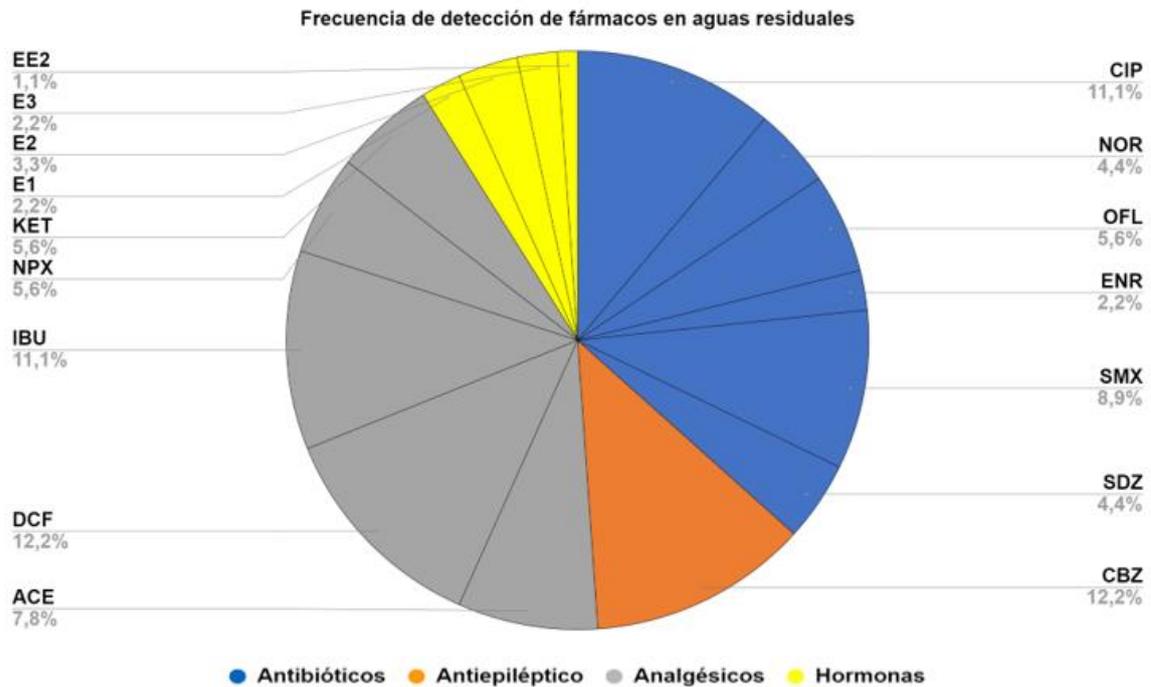


Figura 6: Principales fármacos detectados con mayor frecuencia en aguas residuales  
Fuente: Elaboración propia

Las tablas 3 y 4 muestran la presencia de los fármacos en aguas residuales, en este sentido, la presencia de antibióticos ha sido evidenciada en varios estudios, estos son PhC de uso común que protegen a los animales y a los humanos de

enfermedades e infecciones causadas por bacterias (Tiwari et al., 2017, p. 3). Asimismo, Cristóvão et al. (2020, p. 1) enfatizaron en que se debe dar especial interés a los antibióticos, ya que son fármacos muy consumidos, persisten en el tratamiento de aguas residuales y facilitan el desarrollo de bacterias resistentes a los antibióticos, lo que puede causar efectos nocivos en la salud humana y medioambiental.

En este estudio las concentraciones más altas de antibióticos en A.R.M. reportadas en los estudios revisados oscilaron entre 27 - 4200 ng/L para CIP y entre 12 - 7800 ng/L para SMX. En cuanto a las A.R.H., los rangos de concentraciones estuvieron entre 70 - 561000 ng/L para NOR, 124000 - 198000 ng/L para OFL y 120 - 120000 ng/L para CIP. En general, todas las concentraciones de antibióticos en A.R.H. fueron más altas que en A.R.M., siendo los fármacos CIP y SMX los detectados con mayor frecuencia (Figuras 5 y 6). Estos resultados estuvieron de acuerdo a estudios previos que demostraron que las concentraciones de antibióticos en A.R.H. fueron de 3 a 10 veces más altas que las de las A.R.M. (Ngigi, Magu y Muendo, 2019, p. 1; Botero-Coy et al., 2018, p. 851), en este mismo contexto, Kutuzova, Dontsova y Kwapinski (2021, p. 1) señalaron que los antibióticos detectados con mayor frecuencia en aguas residuales fueron SMX y CIP.

Del mismo modo, la clase de fármacos antiepilépticos o conocidos también como anticonvulsivos son fármacos que se usan a menudo para tratar a personas con epilepsia u otro trastorno mental determinado (Monaghan et al., 2021, p. 2). Como se muestra en las tablas 3 y 4 las concentraciones del antiepiléptico CBZ variaron desde 96 ng/L hasta 6500 ng/L en A.R.M y desde 41.1 ng/L hasta 880 ng/L en A.R.H., representando la tercera clase de fármacos detectados con mayor frecuencia (Figuras 5 y 6). En relación a lo anterior, Nkoom et al. (2019, p. 11) sostuvieron que CBZ, es el fármaco antiepiléptico más estudiado por la comunidad científica debido a su baja biodegradabilidad, alto consumo y baja eficiencia de eliminación en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Otra clase de fármacos presente en las aguas residuales son los analgésicos, los cuales son usados para aliviar el dolor y son considerados importantes contaminantes ambientales (Tiwari et al., 2017, p. 4). En esta investigación, los

datos mostrados en las tablas 3 y 4 evidenciaron altas concentraciones de todos los fármacos analgésicos, teniendo los valores más altos los contaminantes como NPX (60 - 1370000 ng/L), ACE (156.4 - 623000 ng/L) y DCF (6 - 410000 ng/L) en A.R.M. Con referencia a A.R.H., los contaminantes con concentraciones más altas fueron DCF (590 - 166000 ng/L) y ACE (2660 - 119500 ng/L). Además, todos los analgésicos estuvieron más concentrados en A.R.M. y representaron la clase de fármacos detectada con mayor frecuencia (Figuras 5 y 6). Los resultados encontrados fueron consistentes con lo señalado por Kermia, Fouial-Djebbar y Trari (2016, p. 964) quienes destacaron que los analgésicos son los fármacos con mayor frecuencia de detección en aguas residuales debido a su alto consumo y que se venden sin la necesidad de una prescripción médica.

Finalmente, la clase de fármacos hormonas son conocidas porque pueden causar trastornos endocrinos y afectar los sistemas sexuales y reproductivos de especies como los peces (Tiwari et al., 2017, p. 3; Tran, Reinhard y Gin, 2018, p. 190). En esta investigación los rangos de concentraciones afluentes de E1, E2 y E3 fueron de 78 - 158, 11 - 54 y 42-162 ng/L, respectivamente, en A.R.M. En lo concerniente a A.R.H., las concentraciones afluentes de E1 y E2 fueron semejantes a los datos hallados en A.R.M., no obstante, se evidenciaron concentraciones más altas respecto a E3 (27 - 1480 ng/L) y EE2 (881 - 9833 ng/L) en este tipo de aguas residuales, a propósito, las hormonas fueron la clase de fármaco detectado con menor frecuencia en las aguas residuales (Figuras 5 y 6) y tuvieron las concentraciones más bajas en comparación con los otros compuestos. Estos hallazgos fueron similares a los obtenidos por Di Marcantonio et al. (2020, p. 61) quienes concluyeron que las hormonas tuvieron menor frecuencia de detección y presentaron bajas concentraciones.

Por otro lado, es importante tener en cuenta que los fármacos se pueden eliminar de las aguas residuales mediante métodos de tratamiento físicos, químicos y biológicos como se mencionó en el capítulo de marco teórico.

**Tabla 5. Remoción de fármacos por métodos de tratamiento físicos**

Diseño de investigación	Técnica	Clase de fármaco	Fármaco	Tipo de agua residual	Concentración inicial (ng/L)	Eficiencia de remoción (%)	Referencia			
Pre - experimental	Ósmosis inversa	Antibióticos	OFL	Municipal	134	99.9	M16			
			SMX		150	99.9	M16			
		Antiepiléptico	CBZ		78 / 4687	77	M12			
					412	96.1	M16			
		Analgésicos	DCF		34 / 288	96	M12			
					86	99.9	M16			
			IBU		9 / 1184	58.3	M12			
					78	8.9	M16			
		Cuasi - experimental	Ósmosis inversa		Antibióticos	KET	Municipal	57 / 1311	54.1	M12
						CIP		144	22.9	M16
Antiepiléptico	SMX			616	71.1	M16				
	CBZ			570	88.6	M03				
Analgésicos	ACE			920	95.9	M03				
	DCF			200	95.7	M03				
IBU	27000			59.3	M03					
	160			71.3	M03					
NPX	12000			79.2	M03					
	8900			83.1	M03					
Hormonas	E1	160	100	M03						
	E2	51	100	M03						
	Nanofiltración	Antibióticos	CIP	Municipal	135 / 3150	99	M11			

			SMX		1000	48	M01
					1000	95	M01
					1000	96	M01
		Analgésicos	ACE		1000	38	M01
					1000	78	M01
					1000	85	M01
			DCF		300	58	M01
					300	97	M01
					300	99	M01
			IBU		1000	48	M01
					1000	84	M01
					1000	88	M01
			NPX		300	55	M01
					300	96	M01
					300	99	M01
	Adsorción por carbón activado granular (GAC)	Antibióticos	SMX	Municipal	200000	51	M05
		Antiepiléptico	CBZ		200000	68	M05
		Analgésicos	ACE		200000	88	M05
			DCF		200000	48	M05
			NPX		200000	55	M05
			KET		200000	50	M05
Experimental Puro	Adsorción por carbón activado en polvo (PAC)	Hormonas	E1	Municipal	3.95	34.4	M17
			E2		4.68	83.3	M17
			EE2		0.24	99.9	M17

Fuente: Elaboración propia

Los resultados plasmados en la tabla 5 muestran los porcentajes de remoción de fármacos en cuanto a las técnicas de remoción basadas en métodos de tratamiento físicos, en donde destacó la ósmosis inversa, con remociones en el rango de 96% a 99.9% para fármacos como OFL, SMX, CBZ y DCF en estudios con diseño pre-experimental (Afonso-Olivares, Sosa-Ferrera y Santana-Rodríguez, 2017), por otro lado, Farrokh Shad et al. (2019), en estudios con diseño cuasi-experimental reafirmaron la alta remoción de esta técnica respecto a los contaminantes mencionados, adicionando la remoción completa de hormonas como E1 y E2.

También, en investigaciones con diseño cuasi-experimental, la técnica nanofiltración evidenció remociones similares a la ósmosis inversa, Garcia-Ivars et al. (2017) en su estudio alcanzaron eliminar contaminantes en el rango de 85% a 99% para fármacos como SMX, ACE, DCF, IBU y NPX, en este sentido, los autores indicaron que la eficiencia de remoción estuvo relacionada al tamaño del poro de la membrana, demostrando mayor eficiencia de remoción membranas con tamaño de poro más pequeño, lo cual también fue identificado en investigaciones previas (Fonseca Couto, Lange y Santos Amaral, 2018; Xu et al., 2020).

En este mismo contexto, para Azizi et al. (2022) la ósmosis inversa contiene un tamaño de poro más pequeño en comparación con la nanofiltración lo cual la convierte en más eficiente, pero, debido a que la nanofiltración tiene un menor sobre costo a largo plazo, es común que se le considere también una técnica apropiada.

Para esta investigación, la adsorción por carbón activado granular demostró bajas remociones de antibióticos, antiepilépticos y la mayor parte de los analgésicos (Ponce-Robles et al., 2020). Por otra parte, Sun et al. (2017) en su estudio con diseño experimental puro empleó la técnica adsorción por carbón activado en polvo para la remoción de hormonas, alcanzando remociones de 34.4%, 83.3% y 99.9% para E1, E2 y EE2, respectivamente, sin embargo, no se puede afirmar la aplicabilidad a mayores escalas de estas técnicas, puesto que la literatura señala que la adsorción es un proceso práctico pero que mayormente se realiza en estudios con diseño experimental puro y existe una falta de evaluación de costos de los materiales para una operación a gran escala (Vieira et al., 2020).

**Tabla 6. Remoción de fármacos por métodos de tratamiento químicos.**

Diseño de investigación	Técnica	Clase de fármaco	Fármaco	Tipo de agua residual	Concentración inicial (ng/L)	Eficiencia de remoción (%)	Referencia		
Cuasi - experimental	Ozonización	Antibióticos	SMX	Hospitalaria	960	90	H03		
		Antiepiléptico	CBZ		80	90	H03		
		Hormonas	E1	Municipal	3.95	95.7	M17		
			E2		4.68	99.9	M17		
			EE2		0.24	99.9	M17		
Experimental Puro	Fotocatálisis heterogénea con TiO <sub>2</sub>	Antibióticos	ENR	Municipal	1000000	80	M09		
			SDZ		1000000	100	M09		
	Ozonización	Antibióticos	SMX	Hospitalaria	750	90	H03		
					Municipal	263	86	M08	
						263	91	M08	
		Antiepiléptico	CBZ	Hospitalaria	30	90	H03		
					Municipal	894	100	M08	
		Analgésicos	DCF	Municipal		894	100	M08	
					1138	98	M08		
					1138	99	M08		
		Fotocatálisis heterogénea con TiO <sub>2</sub>	Antibióticos	SMX	Hospitalaria	IBU	850	90	H03
						878	48	M08	
					Municipal	NPX	772	96	M08
CIP	3000000					86.6	H09		
SMX	100000					87	M02		
Antiepiléptico	CBZ	Municipal	190000	21	M18				
			198000	27	M18				
Analgésicos	DCF	Municipal	194000	49	M18				

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6, se visualiza la remoción de fármacos por métodos de tratamiento químicos, al respecto en la presente investigación no se encontró estudios con diseño pre-experimental y esto es consistente con lo señalado por Benstoem et al. (2017) quienes mencionaron que al ser este un tema relativamente nuevo, solo hay estudios que emplearon la ozonización para eliminar fármacos en gran escala en países donde se tienen regulaciones estrictas como Suiza, de forma similar, la fotocátalisis aún no se evalúa a gran escala actualmente (Taoufik et al., 2021).

Mientras que en estudios con diseño cuasi-experimental, la técnica con mayores porcentajes de remoción fue la ozonización con valores de 90% para SMX y CBZ (Tang et al., 2019) y valores por encima de 95% para las hormonas E1, E2 y EE2 (Sun et al., 2017). En estudios con diseño experimental puro, esta misma técnica eliminó de manera positiva los fármacos mencionados anteriormente e incluso en el estudio de Dogruel et al. (2020) se eliminó completamente CBZ y en más de un 96% fármacos como DCF y NPX. En otros estudios, también se ha eliminado en altos porcentajes fármacos como CBZ, SMX y DCF usando diferentes dosis de ozono (Alharbi et al., 2016).

En cuanto a la técnica fotocátalisis heterogénea con  $\text{TiO}_2$ , todos los trabajos analizaron la eliminación de únicamente uno o dos fármacos, enriqueciendo las concentraciones iniciales de estos (desde 100000 ng/L hasta 3000000 ng/L) (Moles et al., 2020; Malakootian, Nasiri y Amiri Gharaghani, 2020; Karaolia et al., 2018; Gimeno et al., 2016), respecto a ello, en un estudio se informó que este tipo de técnicas son más eficientes cuando se aplican en concentraciones más elevadas (Fonseca Couto, Lange y Santos Amaral, 2018), por el contrario, para Krishnan et al. (2021) esto representaría un punto a mejorar debido a que estas concentraciones iniciales son muy altas en comparación a las encontradas en la realidad. En tal sentido, en estudios con diseño experimental puro Karaolia et al. (2018) eliminaron SMX en un 87%, mientras que, otro estudio removi6 el mismo fármaco en 21% (Gimeno et al., 2016), este hecho posiblemente se debió a que estos estudios se realizaron en aguas residuales reales, las cuales pueden presentar diferentes características y otros compuestos presentes en ellas también reaccionan con los radicales formados en el proceso (Bosio et al., 2019).

**Tabla 7. Remoción de fármacos por métodos de tratamiento biológicos.**

Diseño de investigación	Técnica	Clase de fármaco	Fármaco	Tipo de agua residual	Concentración inicial (ng/L)	Eficiencia de remoción (%)	Referencia
Pre - experimental	Lodos activados	Antibióticos	CIP	Hospitalaria	120 / 2000	49	H02
					120 / 9110	84	H02
					5600	99	H04
					2180	99	H04
					Municipal	n.d. / 4200	78
			NOR	Hospitalaria	100 / 1530	71	H02
					70 / 820	41	H02
			SMX	Hospitalaria	<LOQ / 2369	-32 / 77	H01
					30	96	H04
					132	99	H04
		Municipal			n.d. / 5300	41	M07
		SDZ			Hospitalaria	n.d. / 565.3	-22 / 99
			Antiepiléptico	Hospitalaria		41.1 / 720.7	-116 / -9
		151			73	H04	
		73			99	H04	
		Municipal			820 / 6500	28	M07
		45 / 2394			-50	M12	
		Analgésicos	ACE	Hospitalaria	21270 / 119500	88	H02
					11060 / 57650	93	H02
					12400	99	H04
12300	98				H04		
Municipal	55000 / 623000				99	M07	
DCF	Municipal		460 / 6500	21	M07		
			6 / 708	42.9	M12		
IBU	Hospitalaria		77.3	91.4	M19		
			330 / 53400	68	H02		

					1090 / 63370	97	H02
				Municipal	8000 / 53000	99	M07
					128 / 147500	98	M12
					434	99.9	M19
			NPX	Municipal	n.d. / 38000	89	M07
					4910/ 521700	98	M12
					444	97.4	M19
			KET	Hospitalaria	<LOQ / 650	64	H02
					<LOQ / 700	55	H02
				Municipal	n.d. / 1700	85	M07
					39.1	51.4	M19
		Hormonas	E1	Hospitalaria	13 / 53	28	H02
					4 / 40	83	H02
			E2		8 / 35	35	H02
			E3		134 / 1480	32	H02
					27 / 512	77	H02
			EE2		2654 / 9833	76	H02
					881 / 1041	26	H02
	Biorreactor de Membrana (MBR)	Antibióticos	CIP	Municipal	220	66	M06
			NOR		620	31	M06
			OFL		1020	25	M06
			ENR		27	15	M06
			SDZ		410	70	M06
Cuasi - experimental	Biorreactor de Membrana (MBR)	Antibióticos	CIP	Municipal	n.d. / 89	70.1	M04
			NOR		14 / 226	51.8	M04
			OFL		100 / 912	61.8	M04
			ENR		n.d. / 89	52.7	M04
			SMX		12 / 92	72	M04
		Antiepiléptico	CBZ		n.d. / 32	41	M04
					630	-25	M21
		Analgésicos	DCF		1840	38	M21

Estanque de algas de alta tasa (HRAP)	Hormonas	E1	Municipal	78 / 158	88.2	M04
		E2		11 / 54	82	M04
		E3		42 / 162	95	M04
	Antibióticos	CIP		332 / 710	68	M14
		SMX		69.4 / 902.5	50.5	M13
	Antiepiléptico	CBZ		100 / 350	7.7	M10
				9.6 / 42.4	0	M13
	Analgésicos	ACE		502 / 557	-14	M14
				210 / 120000	94.4	M10
				156.4 / 7781.1	100	M13
				12133 / 15611	100	M14
		DCF		130 / 470	66.6	M10
				270.8 / 2117.8	54.8	M13
		IBU		732 / 1030	46	M14
				1400 / 4600	75.7	M10
NPX	713.3 / 23811.4	79	M13			
	3200 / 8100	46.3	M10			
KET	110 / 120	55.8	M10			

n. d.: No detectado

<LOQ: Por debajo del límite de cuantificación

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla 7, dentro de los métodos de tratamiento biológicos, la técnica lodos activados fue la más utilizada en los estudios analizados, lo cual está de acuerdo a lo señalado en varios estudios que indicaron que el tratamiento biológico es ampliamente empleado, siendo la técnica lodos activados la más utilizada en el mundo (Wiest et al., 2018; Jari et al., 2022; Zhang et al., 2016).

Esta técnica presentó la mayor cantidad de fármacos a eliminar con datos de remoción muy variables, en estudios con diseño pre-experimental esta técnica demostró eliminar antibióticos y analgésicos por encima del 90% (Kanama et al., 2018; Al Qarni et al., 2016; De Jesus Gaffney et al., 2017), por el contrario, fármacos como el antiepiléptico CBZ (De Jesus Gaffney et al., 2017; Kosma et al., 2020; Guedes-Alonso et al., 2020) y las hormonas (Kanama et al., 2018) tuvieron bajos porcentajes de remoción, resultados que fueron consistentes a lo informado por (Rodríguez-Narvaez et al., 2017).

En los estudios que emplearon la técnica biorreactor de membrana no hubo remociones destacables, salvo la encontrada por Wang et al. (2018b) puesto que lograron eliminar hormonas como E1, E2 Y E3 en más de 82% en su estudio con diseño cuasi-experimental, sin embargo, otra investigación consideró a esta técnica como más efectiva a comparación de lodos activados por lo que se debe investigar más respecto a ella (Taoufik et al. 2021).

Con relación a la técnica Estanque de algas de alta tasa (HRAP) se puede inferir que los tres estudios que emplearon esta técnica usando un diseño cuasi-experimental, obtuvieron remociones bajas para todos los fármacos a excepción de ACE (remociones entre 94.4 a 100%) (Jiménez-Bambague et al., 2020; Lindberg et al., 2021; García-Galán et al., 2020), resultados que coincidieron con Vasalle et al. (2020) porque en su estudio de diseño cuasi-experimental concluyeron que HRAP fue un técnica de tratamiento natural, de bajo costo, viable para pequeñas poblaciones y que presentó eficiencias de remoción muy variables.

En general, se evidenció que estas técnicas no fueron del todo sobresalientes y las principales razones se detallaron en la literatura científica, entre las cuales se incluye que no fueron diseñadas para eliminar estos contaminantes, y su eficiencia

depende mucho de las propiedades de cada fármaco como su biodegradabilidad y también de las condiciones climáticas (Guedes-Alonso et al., 2020; Mathur, Sanyal y Das, 2021), por ejemplo, en esta investigación se pudo corroborar ello ya que en un estudio empleando la técnica lodos activados se logró eliminar fármacos por encima del 73% y esto se atribuyó a los altos niveles de luz solar en el lugar de estudio (Al Qarni et al., 2016), en cambio, en una investigación usando la técnica Biorreactor de membrana en un lugar que presenta bajas temperaturas solo se eliminó fármacos en el rango de -25% a 38% (Gurung, Ncibi y Sillanpää, 2017), además, Aydin et al. (2019) anteriormente concluyó que la temperatura más alta del agua puede contribuir a mejorar la actividad biodegradante de microorganismos.

Cabe destacar que las técnicas de tratamiento biológicas mostraron remociones negativas para fármacos como SMX, SDZ y CBZ (Tabla 7), lo que indica que estos microcontaminantes tuvieron mayores concentraciones en los efluentes que en los afluentes, con relación a ello, Wang et al. (2018b) sostuvieron que se puede deber a que los metabolitos de estos fármacos se vuelven a transformar en el compuesto original por causa de la actividad microbiana.

Por último, el análisis para evaluar la remoción de fármacos en aguas residuales municipales se muestra en las figuras 7, 8 y 9, de igual manera, para las aguas residuales hospitalarias se muestra en la tabla 8.

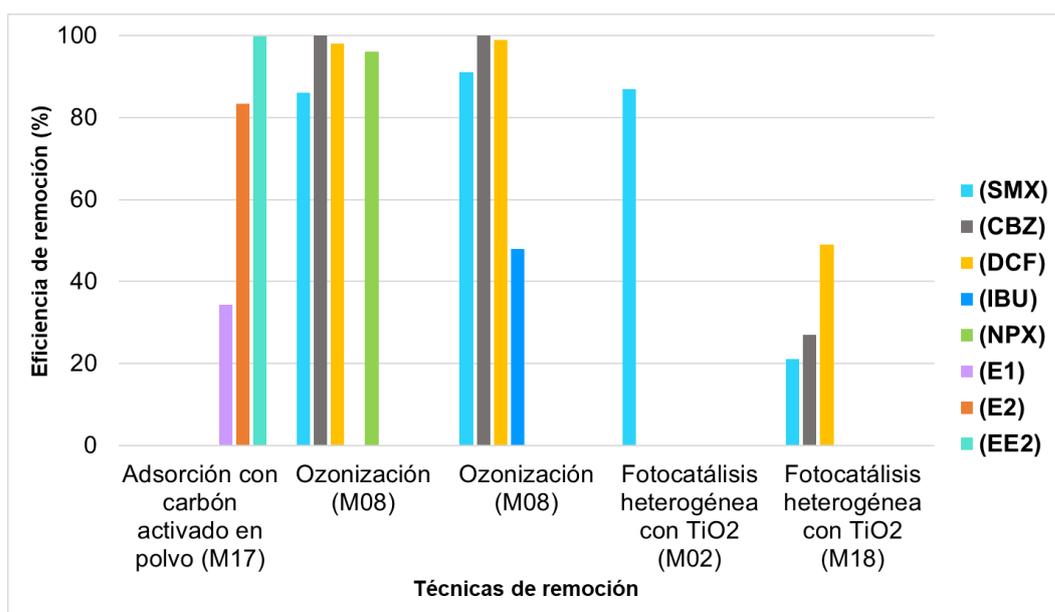


Figura 7: Remoción de fármacos en aguas residuales municipales en estudios con diseño Experimental puro.

Fuente: Elaboración propia

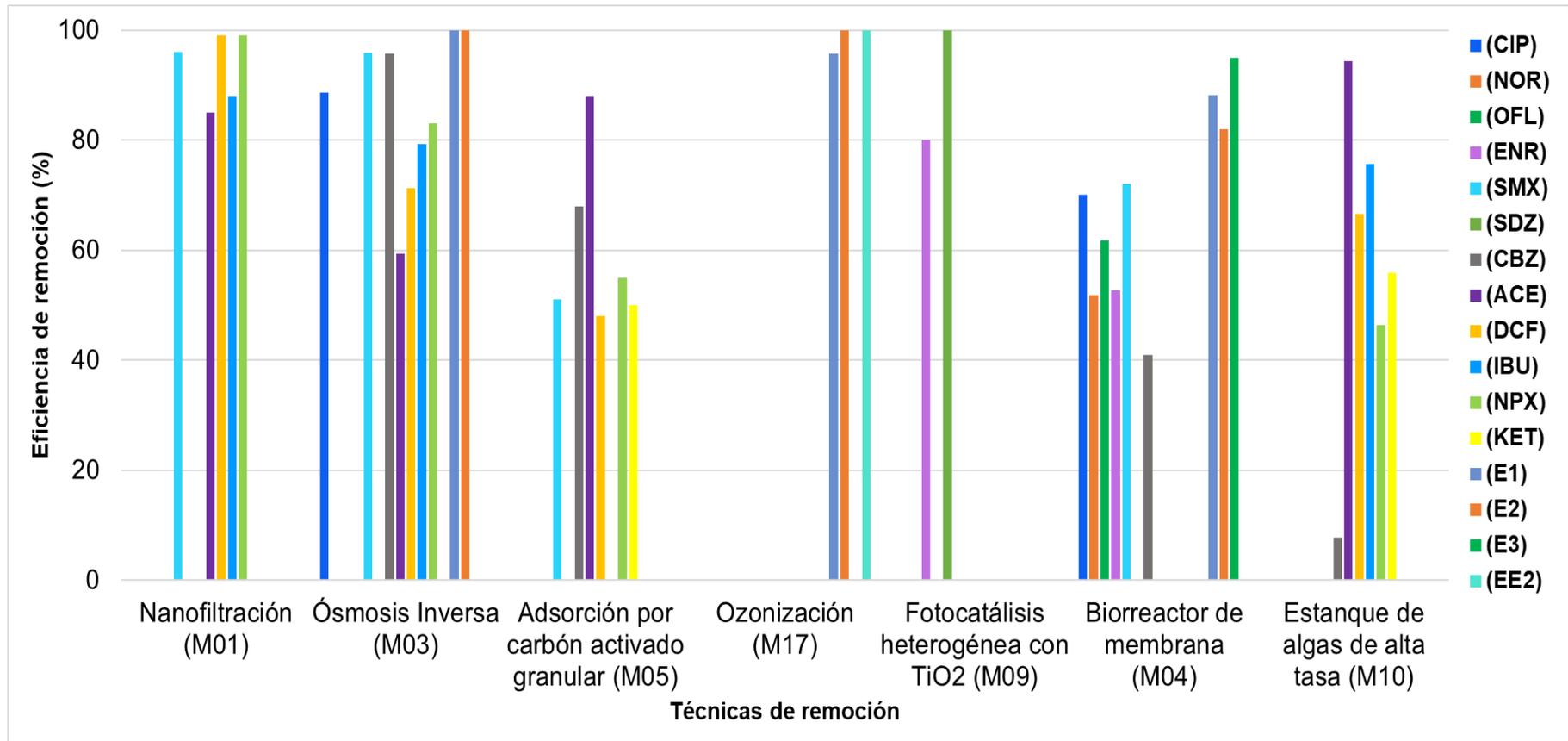


Figura 8: Remoción de fármacos en aguas residuales municipales en estudios con diseño Cuasi-experimental.  
Fuente: Elaboración propia

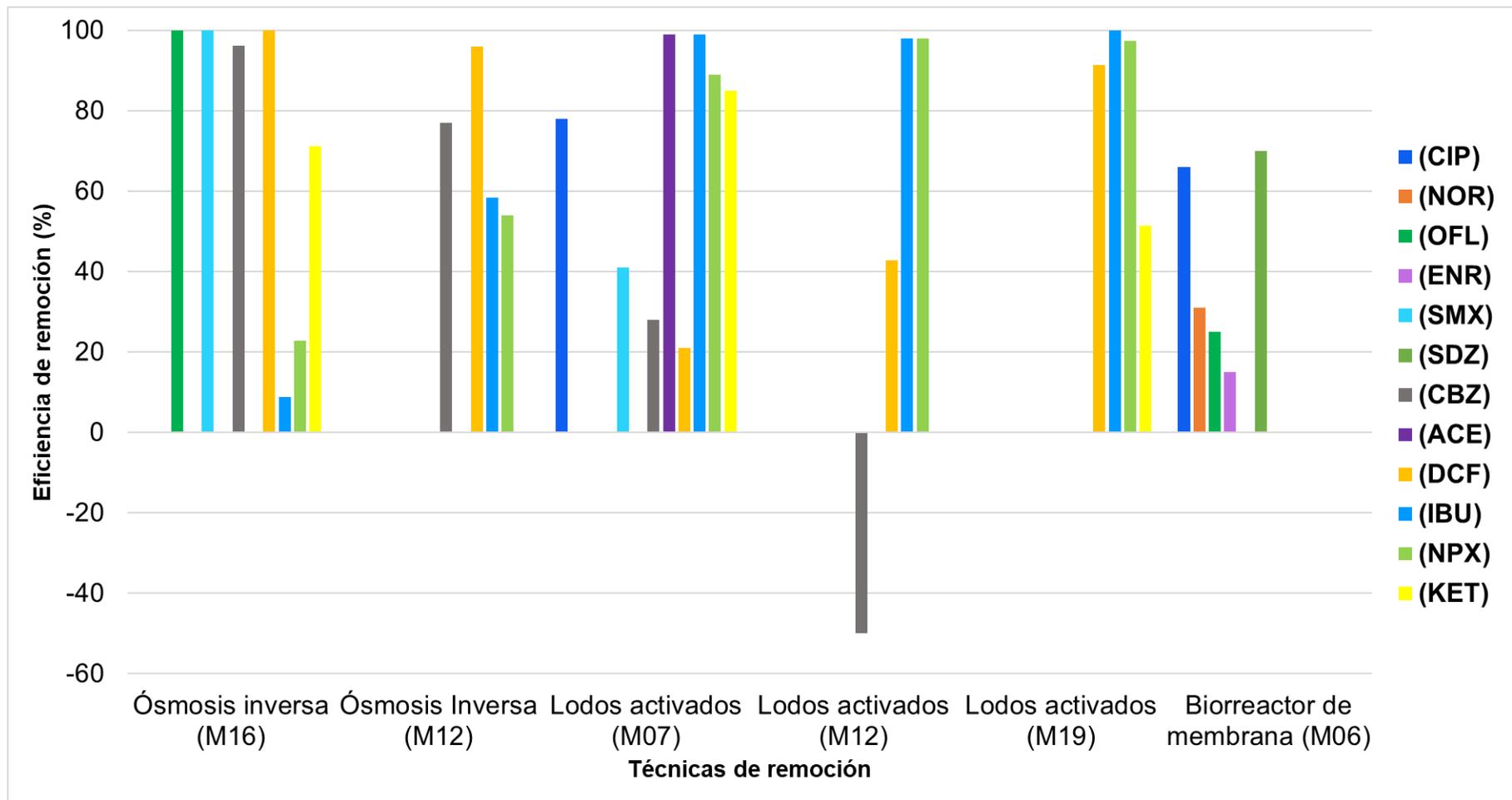


Figura 9: Remoción de fármacos en aguas residuales municipales en estudios con diseño Pre-experimental.

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta a la figura 7, la técnica ozonización resultó ser la que alcanzó los porcentajes más altos de remoción en estudios con diseño experimental puro, puesto que, eliminó SMX, CBZ, DCF y NPX en 86%, 100% ,98% y 96%, respectivamente (Dogruel et al., 2020), de manera similar, la técnica que destacó en la eliminación de la hormona E2 (83.3%) y EE2 (99.9%) fue la adsorción con carbón activado en polvo (Sun et al., 2017).

Por otro lado, la figura 8 muestra que en estudios con diseño cuasi-experimental, la técnica con porcentaje de remoción más alto fue la ósmosis inversa (desde 59.3% hasta 100%), además, esta técnica eliminó todas las clases de fármacos que plantea el presente estudio (Farrokh Shad et al., 2019), en este mismo sentido, técnicas como la ozonización y biorreactor de membrana resultaron tener remociones de hormonas mayores a 95.7% y 82%, respectivamente (Sun et al., 2017; Wang et al., 2018b).

Con respecto a la figura 9, estudios con diseño pre-experimental, la técnica osmosis inversa tuvo porcentajes de remoción más altos en comparación a las técnicas de lodos activados y biorreactor de membrana, respecto a los antibióticos y en especial para el fármaco CBZ, ya que este último se eliminó en un 96.1% en comparación a las remociones de -50 y 28% alcanzadas por los estudios que utilizaron la técnica de lodos activados para eliminar este mismo compuesto (Afonso-Olivares, Sosa-Ferrera y Santana-Rodríguez, 2017; Guedes-Alonso et al., 2020), no obstante, la remoción de fármacos analgésicos como IBU y NPX fue más alta en los estudios que emplearon lodos activados (superiores al 89%) que los estudios que emplearon ósmosis inversa (valores máximos de 58.3%) (De Jesus Gaffney et al., 2017; Guedes-Alonso et al., 2020; Martínez-Alcalá, Guillén-Navarro y Fernández-López, 2017).

Si bien es cierto, los estudios con diseño experimental puro y cuasi-experimental alcanzaron niveles importantes de remoción, se debe tener en cuenta que los estudios con diseño pre-experimental han pasado por una serie de procedimientos para ser implementados a gran escala o campos reales, por lo que es viable y contrastable discutir acerca de ellos (De Ilurdoz, Sadhwani y Reboso, 2022). Entonces, como ya se había mencionado antes, los tratamientos de aguas

residuales a gran escala emplean un tratamiento primario, un tratamiento secundario (siendo más utilizada la técnica lodos activados) y si se quiere un agua residual más depurada para evitar contaminación de cuerpos agua o se piensa reutilizar el agua se emplea un tratamiento terciario (como ósmosis inversa, por ejemplo) (Guedes-Alonso et al., 2020).

En tal sentido, varios estudios indicaron que la técnica lodos activados elimina fármacos de forma variable y completamente fármacos biodegradables como ACE en aguas residuales municipales (Gimeno et al., 2016, Al-Mashaqbeh et al., 2019), pero, aquellos fármacos que son más resistentes a la biodegradación como CBZ, SMX, entre otros, requieren un tratamiento terciario para su eliminación como la ósmosis inversa (Afonso-Olivares, Sosa-Ferrera y Santana-Rodríguez, 2017; Al-Mashaqbeh et al., 2019).

Uno de los estudios revisados concluyó que la ósmosis inversa fue eficiente en la eliminación de una amplia variedad de fármacos, sin embargo, al mismo tiempo indicó que esta técnica presentó una deficiencia debido a que se generó una fase concentrada que contenía los fármacos (Guedes-Alonso et al., 2020). Respecto a esta deficiencia, un estudio de revisión de procesos de separación por membranas indicó que debe gestionarse de forma sostenible este concentrado y que puede aplicarse sobre él procesos de oxidación avanzada de forma efectiva (Fonseca Couto, Lange y Santos Amaral, 2018).

No obstante, para De Ilurdoz, Sadhwani y Reboso (2022) las ventajas de esta técnica son mayores que sus desventajas ya que su aplicación a gran escala es efectiva en países como España y Croacia, demostrando eliminar antibióticos completamente.

**Tabla 8. Remoción de fármacos en aguas residuales hospitalarias**

Diseño de investigación	Técnicas	Clase de fármaco	Fármaco	Eficiencia de remoción (%)	Referencia
Pre - experimental	Lodos activados	Antibióticos	CIP	49	H02
				84	H02
			NOR	99	H04
				99	H04
			SMX	71	H02
				41	H02
			SDZ	-32 / 77	H01
				96	H04
			Antiepiléptico	99	H04
				SDZ	-22 / 99
		Analgésicos	CBZ	-116 / -9	H01
				73	H04
			ACE	99	H04
				88	H02
			IBU	93	H02
				99	H04
			KET	98	H04
				68	H02
			Hormonas	97	H02
				E1	64
		Cuasi - experimental	Ozonización	Antibióticos	SMX
28	H02				
Antiepiléptico	CBZ			83	H02
				35	H02
Analgésicos	IBU			32	H02
		77	H02		
		76	H02		
Experimental Puro	Fotocatálisis heterogénea con TiO <sub>2</sub>	Antibióticos	CIP	26	H02
				90	H03
		Antiepiléptico	CBZ	90	H03
				90	H03
		Analgésicos	IBU	90	H03
90	H03				
		Antibióticos	CIP	86.6	H09

Fuente: Elaboración propia

La tabla 8 pone de manifiesto que la eliminación de fármacos de las aguas residuales hospitalarias ha sido investigada en menor medida, y esto se debe a que en muchos países las aguas residuales de este tipo se vierten en el alcantarillado y se tratan junto a las aguas residuales municipales (Zhang et al., 2016). No

obstante, los hospitales son considerados una importante fuente de contaminación por fármacos por lo que su tratamiento por separado sería adecuado ya que algunos fármacos pueden estar en altas concentraciones y por consiguiente serían más fáciles de tratar (Tulashie et al., 2018; Moratalla et al., 2021).

De la misma forma, la tabla 8 muestra que las técnicas de remoción de lodos activados se aplican en estudios con diseño pre-experimental, en consiguiente, dicha técnica resultó eliminando antibióticos y analgésicos en el rango de 41% a 99% (Kanama et al., 2018; Al Qarni et al., 2016; Kosma et al., 2020), pero aún se evidenciaron bajas eliminaciones de CBZ (Rango de -116 a -9) y hormonas con porcentajes muy variables (Kanama et al., 2018; Kosma et al., 2020). Desde otra perspectiva, se han venido investigando técnicas como ozonización y fotocátalisis para eliminar fármacos de estas aguas, pero los estudios se hicieron con diseño experimental puro, por lo que no se puede aseverar que las altas remociones mayores a 86.6% logradas por estas técnicas sean las mismas en diseños pre-experimentales (Tang et al., 2019; Malakootian, Nasiri y Amiri Gharaghani, 2020).

De forma similar, Tulashie et al. (2018) indicaron que se han realizado estudios de tratamiento de efluentes hospitalarios usando técnicas como filtración por membrana, adsorción por carbón activado y procesos de oxidación avanzada, sin embargo, estas técnicas resultaron costosas y difíciles de operar especialmente en hospitales establecidos en países en desarrollo que desean tratar estos efluentes. Por el contrario, las técnicas basadas en métodos biológicos pueden producir efluentes que mantienen estándares de calidad del agua a un costo razonable para estos establecimientos (Guedes-Alonso et al., 2020).

Por otro lado, otros estudios han determinado que una técnica viable para eliminar los fármacos de las aguas residuales hospitalarias son los biorreactores de membrana (Tiwari et al. 2017), pero en este estudio no se encontró artículos que emplearon esta técnica, posiblemente debido al criterio de exclusión establecido, el cual dejó fuera del análisis a estudios que emplearon como matriz aguas residuales sintéticas. A propósito, Taoufik et al. (2021) indicaron que la técnica biorreactor de membrana muestra mayor eliminación de ciertas clases de fármacos a comparación de la técnica lodos activados pero la diferencia no es tan marcada.

## V. CONCLUSIONES

- Los tipos de fármacos de mayor presencia en aguas residuales fueron analgésicos y antibióticos, seguidos de antiepilépticos y hormonas con menores frecuencias de detección, destacando las altas concentraciones de analgésicos como naproxeno y paracetamol en aguas residuales municipales, asimismo, altas concentraciones de antibióticos como norfloxacin y ofloxacin en aguas residuales hospitalarias.
- El método más eficiente para la eliminación de fármacos fue el físico con las técnicas ósmosis inversa y nanofiltración, las cuales alcanzaron remociones que oscilan entre 96% a 99.9% y 85% a 99%, respectivamente, de la misma manera, dentro de los métodos químicos, la mejor técnica fue la ozonización, que alcanzó remociones en el rango de 90% a 99% para los fármacos propuestos, respecto a los métodos biológicos, la técnica lodos activados mostró remociones muy variables y dependientes de las características de cada fármaco (desde -50% hasta 99%), sin embargo, se le puede considerar una buena alternativa para eliminar fármacos biodegradables.
- La técnica más eficiente para eliminar fármacos en aguas residuales municipales fue ósmosis inversa, alcanzando remociones desde 96% hasta 99.9% para ofloxacin, sulfametoxazol, carbamazepina y diclofenaco, de forma similar, la técnica más eficiente en la remoción de una amplia variedad de estos fármacos en aguas residuales hospitalarias fue lodos activados, puesto que eliminó analgésicos y antibióticos en el rango de 41% a 99%, pero con eficiencias menores para antiepilépticos y hormonas.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Analizar la presencia de fármacos que no fueron incluidos en el presente estudio, puesto que, solamente se consideraron a los más estudiados por la comunidad científica.
- Investigar más respecto al tratamiento de las aguas residuales hospitalarias en búsqueda de técnicas adecuadas para eliminar los fármacos de mayor presencia.
- Complementar este estudio con una evaluación a profundidad de las numerosas condiciones o parámetros que afectan a las técnicas, centrándose en analizar cada técnica por separado.
- Evaluar estudios con diseño pre-experimental o a gran escala que emplearon la técnica ósmosis inversa para eliminar fármacos de las aguas residuales y las opciones que se están estudiando para superar sus limitaciones.
- Realizar un estudio de revisión de las técnicas híbridas para eliminar fármacos de las aguas residuales puesto que podrían suplir las deficiencias que presentan las diferentes técnicas.
- Perú, al igual que otros países en desarrollo aún no establecen una normativa que regule los límites máximos permisibles de los fármacos en los efluentes de las PTAR, por ello, es importante que el estado incentive la investigación en esta temática.
- Para llevar a cabo un análisis más profundo de las técnicas de remoción de fármacos en aguas residuales municipales y hospitalarias, es conveniente realizar una búsqueda de artículos en otras bases de datos y analizar estudios de acceso cerrado.

## REFERENCIAS

- AFONSO-OLIVARES, Cristina, SOSA-FERRERA, Zoraida y SANTANA-RODRÍGUEZ, Jose. Occurrence and environmental impact of pharmaceutical residues from conventional and natural wastewater treatment plants in Gran Canaria (Spain). *The Science of the total environment* [en línea], vol. 599–600, 11 de mayo de 2017, pp. 934–943. [Fecha de consulta: 23 de abril de 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.058>. ISSN: 0048-9697.
- AFSA, Sabine *et al.* Occurrence of 40 pharmaceutically active compounds in hospital and urban wastewaters and their contribution to Mahdia coastal seawater contamination. *Environmental science and pollution research international* [en línea], vol. 27, n.º 2, enero de 2020, pp. 1941–1955. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06866-5>. ISSN: 0944-1344.
- AHMED, Shams *et al.* Recent developments in physical, biological, chemical, and hybrid treatment techniques for removing emerging contaminants from wastewater. *Journal of hazardous materials*, vol. 416, n.º 125912, 15 de agosto de 2021 [Fecha de consulta: 06 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125912>. ISSN: 0304-3894.
- AJIBOLA, Akinranti *et al.* Analysis, occurrence and ecological risk assessment of diclofenac and ibuprofen residues in wastewater from three wastewater treatment plants in South-Western Nigeria. *Journal of Applied Sciences & Environmental Management* [en línea], vol. 25, n.º 3, 27 de abril de 2021b, pp. 330–340. [Fecha de consulta: 23 de abril de 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4314/jasem.v25i3.5>. ISSN: 1119-8362.
- AJIBOLA, Akinranti *et al.* QuEChERS approach for the analysis of three fluoroquinolone antibiotics in wastewater: Concentration profiles and ecological risk in two Nigerian hospital wastewater treatment plants. *Archives of environmental contamination and toxicology* [en línea], vol. 80, n.º 2, febrero de 2021a, pp. 389–401. [Fecha de consulta: 23 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2491757386>. ISSN: 0090-4341.
- AL QARNI, Hamed *et al.* Investigating the removal of some pharmaceutical compounds in hospital wastewater treatment plants operating in Saudi Arabia. *Environmental science and pollution research international* [en línea], vol. 23, n.º 13, 21 de marzo de 2016, pp. 13003–13014. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-016-6389-7>. ISSN: 0944-1344.
- ALEAN, Joel *et al.* Productos farmacéuticos y de cuidado personal presentes en aguas superficiales, de consumo humano y residuales en el departamento de Córdoba, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 12, n.º 2, 2021 [Fecha de consulta: 10 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.22490/21456453.4231>. ISSN: 2145-6097.
- ALHARBI, Sultan *et al.* Ozonation of carbamazepine, diclofenac, sulfamethoxazole and trimethoprim and formation of major oxidation products. *Desalination and water*

- treatment* [en línea], vol. 57, n.º 60, 15 de abril de 2016, pp. 29340–29351. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2022].  
 Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2016.1172986>  
 ISSN: 1944-3994.
- AL-MASHAQBEH, Othman *et al.* Removal of selected pharmaceuticals and personal care products in wastewater treatment plant in Jordan. *Water* [en línea], vol. 11, n.º 10, 26 de septiembre de 2019, pp. 2004. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2022].  
 Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/10/2004/htm>  
 ISSN: 2073-4441.
  - ALVARINO, Teresa *et al.* Trends in organic micropollutants removal in secondary treatment of sewage. *Reviews in environmental science and bio/technology* [en línea], vol. 17, n.º 3, septiembre 2018, pp. 447–469. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2022].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11157-018-9472-3>  
 ISSN: 1569-1705.
  - AMETA, Rakshit *et al.* *Advanced Oxidation Processes for Waste Water Treatment* [en línea], San Diego, CA, Estados Unidos de América: Elsevier, 23 de febrero del 2018 [Fecha de consulta: 20 de junio de 2022]. Capítulo 6. Fotocatálisis  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810499-6.00006-1>  
 ISBN: 9780128104996.
  - AYDIN, Senar *et al.* Antibiotics in hospital effluents: occurrence, contribution to urban wastewater, removal in a wastewater treatment plant, and environmental risk assessment. *Environmental science and pollution research international*, [en línea]. vol. 26, n.º 1, enero de 2018, pp. 544–558  
 [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2022].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3563-0>  
 ISSN: 0944-1344.
  - AZIZI, Dariush *et al.* A comprehensive review on current technologies for removal of endocrine disrupting chemicals from wastewaters. *Environmental research* [en línea], vol. 207, n.º 112196, 1 de mayo de 2022, pp. 112196 [Fecha de consulta: 8 de mayo de 2022].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112196>  
 ISSN: 0013-9351.
  - BENSTOEM, Frank *et al.* Performance of granular activated carbon to remove micropollutants from municipal wastewater-A meta-analysis of pilot- and large-scale studies. *Chemosphere* [en línea], vol. 185, octubre de 2017, pp. 105–118. [Fecha de consulta: 17 de abril de 2022].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.118>  
 ISSN: 0045-6535.
  - BÍROŠOVÁ, Lucia *et al.* Non-antimicrobial pharmaceuticals can affect the development of antibiotic resistance in hospital wastewater. *Environmental science and pollution research international* [en línea], vol. 27, n.º 12, abril de 2020, pp. 13501–13511. [Fecha de consulta: 8 de mayo de 2022].  
 Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2390462595>.  
 ISSN: 0944-1344.
  - BOSIO, Morgana *et al.* Removal of pharmaceutically active compounds from synthetic and real aqueous mixtures and simultaneous disinfection by supported TiO<sub>2</sub>/UV-A, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV-A, and TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV-A processes. *Environmental science*

- and pollution research international*, vol. 26, n.º 5, 20 de febrero de 2019 [Fecha de consulta: 17 de abril de 2022].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2108-x>  
 ISSN: 0944-1344.
- BOTERO-COY, Ana *et al.* An investigation into the occurrence and removal of pharmaceuticals in Colombian wastewater. *The Science of the total environment*, vol. 642, 15 de noviembre de 2018, pp. 842–853. [Fecha de consulta: 17 de septiembre de 2021].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.088>  
 ISSN: 0048-9697.
  - CAMIRÉ, Alexandre *et al.* Development of electrospun lignin nanofibers for the adsorption of pharmaceutical contaminants in wastewater. *Environmental science and pollution research international*, vol. 27, n.º 4, 19 de octubre de 2018, pp. 3560–3573. [Fecha de consulta: 17 de septiembre de 2021].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3333-z>  
 ISSN: 0944-1344.
  - CRISTÓVÃO, María *et al.* Occurrence of antibiotics, antibiotic resistance genes and viral genomes in wastewater effluents and their treatment by a pilot scale nanofiltration unit. *Membranes* [en línea], vol. 11, n.º 1, 23 de diciembre de 2020, pp. 9. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2022].  
 Disponible en: <https://www.mdpi.com/2077-0375/11/1/9/htm>  
 ISSN: 2077-0375.
  - DE ILURDOZ, María, SADHWANI, Jaime y REBOSO, Vaswani. Antibiotic removal processes from water & wastewater for the protection of the aquatic environment - a review. *Journal of water process engineering* [en línea], vol. 45, n.º 102474, febrero de 2022 [Fecha de consulta: 22 de junio de 2022]  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102474>  
 ISSN: 2214-7144.
  - DE JESUS GAFFNEY, Vanessa *et al.* Occurrence and behaviour of pharmaceutical compounds in a Portuguese wastewater treatment plant: Removal efficiency through conventional treatment processes. *Environmental science and pollution research international* [en línea], vol. 24, n.º 17, junio de 2017 [Fecha de consulta: 23 de junio de 2022]  
 Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/1956504957>.  
 ISSN: 0944-1344.
  - DEL ÁLAMO, Ana *et al.* Advanced bio-oxidation of fungal mixed cultures immobilized on rotating biological contactors for the removal of pharmaceutical micropollutants in a real hospital wastewater. *Journal of hazardous materials* [en línea], vol. 425, n.º 128002, marzo de 2022, pp. 128002. [Fecha de consulta: 17 de abril de 2022]  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.128002>  
 ISSN: 0304-3894.
  - DI MARCANTONIO, Camila *et al.* Occurrence, seasonal variations and removal of Organic Micropollutants in 76 Wastewater Treatment Plants. *Process safety and environmental protection: transactions of the Institution of Chemical Engineers, Part B* [en línea], vol. 141, septiembre de 2020, pp. 61–72. [Fecha de consulta: 21 de junio de 2022]  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.05.032>  
 ISSN: 0957-5820.

- DOGRUEL, Serdar *et al.* Ozonation in advanced treatment of secondary municipal wastewater effluents for the removal of micropollutants. *Environmental science and pollution research international* [en línea], vol. 27, n.º36, diciembre de 2020 [Fecha de consulta: 25 de abril de 2022]  
Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10339-5>  
ISSN: 0944-1344.
- EGBUNA, Chukwuebuka *et al.* Emerging pollutants in Nigeria: A systematic review. *Environmental toxicology and pharmacology* [en línea]. vol. 85, n.º 103638, julio de 2022 [Fecha de consulta: 08 de octubre de 2021].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2021.103638>  
ISSN: 1382-6689.
- FARROKH SHAD, Motjaba *et al.* Evaluating occurrence of contaminants of emerging concerns in MF/RO treatment of primary effluent for water reuse – Pilot study. *Journal of water reuse and desalination* [en línea], vol. 9, n.º 4, 17 de julio de 2019, pp. 350–371. [Fecha de consulta: 07 de junio de 2022]  
Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2166/wrd.2019.004>.  
ISSN: 2220-1319.
- FONSECA COUTO, Carolina, LANGE, Lisete y SANTOS AMARAL, Miriam. A critical review on membrane separation processes applied to remove pharmaceutically active compounds from water and wastewater. *Journal of water process engineering* [en línea], vol. 26, diciembre de 2018 pp. 156–175. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2022].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.10.010>  
ISSN: 2214-7144.
- GARCÍA-GALÁN, María *et al.* Fate of priority pharmaceuticals and their main metabolites and transformation products in microalgae-based wastewater treatment systems. *Journal of hazardous materials* [en línea], vol. 390, n.º 121771, 15 de mayo de 2020 [Fecha de consulta: 16 de abril de 2022].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121771>  
ISSN: 0304-3894.
- GARCIA-IVARS, Jorge *et al.* Nanofiltration as tertiary treatment method for removing trace pharmaceutically active compounds in wastewater from wastewater treatment plants. *Water research* [en línea], vol. 125, 15 de noviembre de 2017, pp. 360–373. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2022]  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.08.070>  
ISSN: 0043-1354.
- GERBA, Charles y PEPPER, Ian. *Environmental and Pollution Science*. [en línea] 3ª ed. San Diego, CA, Estados Unidos de América: Elsevier. 1 de marzo de 2019. [Fecha de consulta: 11 de octubre de 2021]. Capítulo 22 - Tratamiento de aguas residuales municipales.  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814719-1.00022-7>  
ISBN: 9780128147191.
- GIMENO, Olga *et al.* Removal of emerging contaminants from a primary effluent of municipal wastewater by means of sequential biological degradation-solar photocatalytic oxidation processes. *Chemical engineering journal (Lausanne, Switzerland: 1996)* [en línea], vol. 290, 15 de abril de 2016, pp. 12–20. [Fecha de consulta: 04 de mayo de 2022].  
Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2016.01.022>.  
ISSN: 1385-8947.

- GORITO, Ana *et al.* A review on the application of constructed wetlands for the removal of priority substances and contaminants of emerging concern listed in recently launched EU legislation. *Environmental pollution (Barking, Essex: 1987)*, vol. 227, agosto de 2017, pp. 428–443. [Fecha de consulta: 13 de octubre de 2021] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.04.060> ISSN: 0269-7491.
- GRANDCLÉMENT, Camille *et al.* From the conventional biological wastewater treatment to hybrid processes, the evaluation of organic micropollutant removal: A review. *Water research* [en línea] vol. 111, 15 de marzo de 2017, pp. 297–317. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.005> ISSN: 0043-1354.
- GUEDES-ALONSO, Rayco *et al.* A survey of the presence of pharmaceutical residues in wastewaters. Evaluation of their removal using conventional and natural treatment procedures. *Molecules (Basel, Switzerland)* [en línea], vol. 25, n.º 7, 02 de abril de 2020 [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1420-3049/25/7/1639/htm>. ISSN: 1420-3049.
- GURUNG, Khum, NCIBI, Mohamed y SILLANPÄÄ, Mika. Assessing membrane fouling and the performance of pilot-scale membrane bioreactor (MBR) to treat real municipal wastewater during winter season in Nordic regions. *The Science of the total environment* [en línea], vol. 579, 01 de febrero de 2017, pp. 1289–1297. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2022] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.122> ISSN: 0048-9697.
- HOSSAIN, Anwar *et al.* Occurrence and ecological risk of pharmaceuticals in river surface water of Bangladesh. *Environmental research*, vol. 165, agosto de 2018, pp. 258–266. [Fecha de consulta: 11 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.04.030> ISSN: 0013-9351.
- IGERE, Bright, OKOH, Anthony y NWODO, Uchechukwu. Wastewater treatment plants and release: The vase of Odin for emerging bacterial contaminants, resistance and determinant of environmental wellness. *Emerging contaminants* [en línea], vol. 6, 2020, pp. 212–224. [Fecha de consulta: 7 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2020.05.003> ISSN: 2405-6650.
- JARI, Yassine *et al.* Emerging pollutants in Moroccan wastewater: Occurrence, impact, and removal technologies. *Journal of chemistry* [en línea], vol. 2022, 25 de junio de 2022, pp. 1–24. [Fecha de consulta: 04 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/jchem/2022/9727857/>. ISSN: 2090-9063.
- JIMÉNEZ-BAMBAGUE, Eliana *et al.* High-rate algal pond for removal of pharmaceutical compounds from urban domestic wastewater under tropical conditions. Case study: Santiago de Cali, Colombia. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research* [en línea], vol. 82, n.º6, 15 de septiembre de 2020, pp. 1031–1043. [Fecha de consulta: 21 de mayo de 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2020.362> ISSN: 0273-1223.

- KALABOKA, Maria *et al.* Exploring the efficiency of UHPLC-Orbitrap MS for the determination of 20 pharmaceuticals and acesulfame K in hospital and urban wastewaters with the aid of FPSE. *Separations* [en línea], vol. 7, n.º3, 4 de septiembre de 2020, pp. 46. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2022].  
Disponible en: <https://www.mdpi.com/2297-8739/7/3/46/htm>.  
ISSN: 2297-8739.
- KANAMA, Kwangu *et al.* Assessment of pharmaceuticals, personal care products, and hormones in wastewater treatment plants receiving inflows from health facilities in North West Province, South Africa. *Journal of toxicology* [en línea], vol. 2018, 30 de octubre de 2018, pp. 3751930. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2022].  
Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/jt/2018/3751930/>.  
ISSN: 1687-8191.
- KARAOLIA, Popi *et al.* Removal of antibiotics, antibiotic-resistant bacteria and their associated genes by graphene-based TiO<sub>2</sub> composite photocatalysts under solar radiation in urban wastewaters. *Applied catalysis. B, Environmental* [en línea], vol. 224, mayo de 2018, pp. 810–824. [Fecha de consulta: 25 de abril de 2022].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.11.020>  
ISSN: 0926-3373.
- KERMIA, Amine, FOUIAL-DJEBBAR, Djamilia y TRARI, Mohamed. Occurrence, fate and removal efficiencies of pharmaceuticals in wastewater treatment plants (WWTPs) discharging in the coastal environment of Algiers. *Comptes rendus. Chimie* [en línea], vol. 19, n.º 8, agosto de 2016, pp. 963–970. [Fecha de consulta: 25 de mayo de 2022]  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.crci.2016.05.005>  
ISSN: 1631-0748.
- KONSTAS, Panagiotis *et al.* Photocatalytic treatment of pharmaceuticals in real hospital wastewaters for effluent quality amelioration. *Water* [en línea], vol. 11, n.º10, 17 de octubre de 2019, pp. 2165. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2022].  
Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/10/2165/htm>  
ISSN: 2073-4441.
- KOSMA, Christia *et al.* Assessment of multiclass pharmaceutical active compounds (PhACs) in hospital WWTP influent and effluent samples by UHPLC-Orbitrap MS: Temporal variation, removals and environmental risk assessment. *Environmental research*, vol. 191, n.º 110152, diciembre de 2022, pp. 110152. [Fecha de consulta: 19 de septiembre de 2021].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110152>  
ISSN: 0013-9351.
- KRAKKÓ, Dániel *et al.* Single-run ultra-high performance liquid chromatography for quantitative determination of ultra-traces of ten popular active pharmaceutical ingredients by quadrupole time-of-flight mass spectrometry after offline preconcentration by solid phase extraction from drinking and river waters as well as treated wastewater. *Microchemical journal, devoted to the application of microtechniques in all branches of science* [en línea]. vol. 148, julio de 2019, pp. 108–119. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.04.047>  
ISSN: 0026-265X.
- KRISHNAN, Radhakrishnan *et al.* Removal of emerging micropollutants originating from pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in water and wastewater by advanced oxidation processes: A review. *Environmental technology &*

- innovation*, vol. 23, n.º 101757, agosto de 2021, pp. 101757. [Fecha de consulta: 23 de septiembre de 2021].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101757>  
 ISSN: 2352-1864.
- KUTUZOVA, Anastasia, DONTSOVA, Tetiana y KWAPINSKI, Witold. Application of TiO<sub>2</sub>-based photocatalysts to antibiotics degradation: Cases of sulfamethoxazole, trimethoprim and ciprofloxacin. *Catalysts (Basel, Switzerland)* [en línea], vol. 11, n.º 6, 12 de junio de 2021, pp. 728. [Fecha de consulta: 23 de abril de 2022].  
 Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4344/11/6/728/htm>  
 ISSN: 2073-4344.
  - LI, Shengnan *et al.* Algae-mediated antibiotic wastewater treatment: A critical review. *Environmental Science and Ecotechnology* [en línea], vol. 9, n.º 100145, enero de 2022, pp. 100145. [Fecha de consulta: 14 de abril de 2022].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.es.2022.100145>  
 ISSN: 2666-4984.
  - LIANG, Hairong *et al.* Removal efficiencies and risk assessment of endocrine-disrupting chemicals at two wastewater treatment plants in South China. *Ecotoxicology and environmental safety* [en línea], vol. 225, n.º 112758, 01 de diciembre de 2021, pp. 112758. [Fecha de consulta: 13 de abril de 2022].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112758>  
 ISSN: 0147-6513.
  - LICONA, Karla. *et al.* Assessing potential of nanofiltration and reverse osmosis for removal of toxic pharmaceuticals from water. *Journal of water process engineering* [en línea], vol. 25, octubre de 2018, pp. 195–204. [Fecha de consulta: 17 de abril de 2022].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.08.002>  
 ISSN 2214-7144.
  - LINDBERG, Richard *et al.* Fate of active pharmaceutical ingredients in a northern high-rate algal pond fed with municipal wastewater. *Chemosphere* [en línea], vol. 271, n.º 129763, mayo de 2021, pp. 129763. [Fecha de consulta: 23 de abril de 2022].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129763>  
 ISSN: 0045-6535.
  - LIU, Jiang *et al.* Occurrence and elimination of antibiotics in three sewage treatment plants with different treatment technologies in Urumqi and Shihezi, Xinjiang. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research* [en línea], vol. 75, n.º 5–6, 06 de enero de 2017, pp. 1474–1484. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2022].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.2166/wst.2017.013>  
 ISSN: 0273-1223.
  - MACÍAS-GARCÍA, Antonio *et al.* Adsorption of paracetamol in hospital wastewater through activated carbon filters. *Sustainability* [en línea], vol. 11, n.º 9, 10 de mayo de 2019 [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2022].  
 Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/9/2672/htm>  
 ISSN: 2071-1050.
  - MACKULAK, Tomas *et al.* Hospital wastewater-source of specific micropollutants, antibiotic-resistant microorganisms, viruses, and their elimination. *Antibiotics (Basel, Switzerland)* [en línea], vol. 10, n.º 9, 4 de septiembre de 2021, pp. 1070. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2022].

- Disponible en: <https://www.mdpi.com/2079-6382/10/9/1070/htm>.  
ISSN: 2079-6382.
- MALAKOOTIAN, Mohammad, NASIRI, Alireza y AMIRI GHARAGHANI, Majid. Photocatalytic degradation of ciprofloxacin antibiotic by TiO<sub>2</sub> nanoparticles immobilized on a glass plate. *Chemical engineering communications* [en línea], vol. 207, n.º 1, 07 de febrero de 2019, pp. 56–72. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2022].  
Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/00986445.2019.1573168>.  
ISSN: 0098-6445.
  - MANSOURI, Fatma *et al.* Removal of pharmaceuticals from water by adsorption and advanced oxidation processes: State of the art and trends. *Applied sciences (Basel, Switzerland)* [en línea], vol. 11, n.º 14, 20 de julio de 2021, pp. 6659. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2022].  
Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app11146659>  
ISSN: 2076-3417.
  - MARÍN-GONZÁLEZ, Freddy *et al.* Formación Integral en Profesionales de la Ingeniería. Análisis en el Plano de la Calidad Educativa. *Formación universitaria*, vol. 11, n.º, febrero de 2018, pp. 13–24. [Fecha de consulta: 19 de octubre de 2021].  
Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-50062018000100013&script=sci\\_arttext](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-50062018000100013&script=sci_arttext)  
ISSN: 0718-5006.
  - MARTÍNEZ-ALCALÁ, Isabel, GUILLÉN-NAVARRO, Jose y FERNÁNDEZ-LÓPEZ, Carmen, Pharmaceutical biological degradation, sorption and mass balance determination in a conventional activated-sludge wastewater treatment plant from Murcia, Spain. *Chemical engineering journal (Lausanne, Switzerland: 1996)* [en línea], vol. 316, 15 de mayo de 2017, pp. 332–340. [Fecha de consulta: 23 de abril de 2022].  
Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2017.01.048>.  
ISSN: 1385-8947.
  - MATHUR, Purvi, SANYAL, Doyeli. y DAS, Ratul. *The Future of Effluent Treatment Plants* [en línea]. S.I.: Elsevier, 28 de mayo de 2021, [Fecha de consulta: 16 de abril de 2022]. Capítulo 24 - Tratamiento de productos farmacéuticos y de higiene personal en aguas residuales  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822956-9.00024-6>  
ISBN: 9780128229569.
  - MESTRE, Ana y CARVALHO, Ana. Photocatalytic degradation of pharmaceuticals carbamazepine, diclofenac, and sulfamethoxazole by semiconductor and carbon materials: A review. *Molecules (Basel, Switzerland)* [en línea], vol. 24, n.º 20, 15 de octubre de 2019, pp. 3702. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2022].  
Disponible en: <https://www.mdpi.com/1420-3049/24/20/3702/htm>.  
ISSN: 1420-3049.
  - MOLES, Samuel *et al.* Towards the removal of antibiotics detected in wastewaters in the POCTEFA territory: Occurrence and TiO<sub>2</sub> photocatalytic pilot-scale plant performance. *Water* [en línea], vol. 12, n.º 5, 20 de mayo de 2020, pp. 1453. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2022].  
Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/5/1453/htm>.  
ISSN: 2073-4441.
  - MONAGHAN, Rosemary *et al.* The relationship between antiepileptic drug load and challenging behaviors in older adults with intellectual disability and epilepsy.

- Epilepsy & behavior: E&B* [en línea], vol. 122, n.º 108191, 01 de septiembre de 2021, pp. 108191. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2022].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2021.108191>  
 ISSN: 1525-5050.
- MORATALLA, Ángela *et al.* Electrochemical technologies to decrease the chemical risk of hospital wastewater and urine. *Molecules (Basel, Switzerland)* [en línea], vol. 26, n.º 22, 11 de noviembre de 2021, pp. 6813. [Fecha de consulta: 21 de mayo de 2022].  
 Disponible en: <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/22/6813/htm>.  
 ISSN: 1420-3049.
  - MOROSINI, Cristiana *et al.* Factors affecting spatial and temporal concentration variability of pharmaceuticals: Comparison between two WWTPs. *Sustainability* [en línea], vol. 9, n.º 8, 18 de agosto de 2017, pp. 1466. [Fecha de consulta: 04 de abril de 2022].  
 Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/8/1466/htm>.  
 ISSN: 2071-1050.
  - NGIGI, Anastasiah, MAGU, Martin y MUENDO, Boniface. Occurrence of antibiotics residues in hospital wastewater, wastewater treatment plant, and in surface water in Nairobi County, Kenya. *Environmental monitoring and assessment* [en línea], vol. 192, n.º 1, 9 de diciembre de 2019, pp. 18. [Fecha de consulta: 9 de mayo de 2022].  
 Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2323001029>.  
 ISSN: 0167-6369.
  - NIETO-JUÁREZ, Jessica *et al.* Pharmaceuticals and environmental risk assessment in municipal wastewater treatment plants and rivers from Peru. *Environment international*, vol. 155, n.º 106674, octubre de 2021, pp. 106674. [Fecha de consulta: 25 de septiembre de 2021].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106674>  
 ISSN: 0160-4120.
  - NIPPES, Ramiro, MACRUZ *et al.* A critical review on environmental presence of pharmaceutical drugs tested for the covid-19 treatment. *Process safety and environmental protection : transactions of the Institution of Chemical Engineers, Part B* [en línea], vol. 152, Agosto 2021, pp. 568–582. [Fecha de consulta: 13 de abril de 2021].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.06.040>  
 ISSN: 0957-5820.
  - NKOOM, Matthew *et al.* Bioconcentration of the antiepileptic drug carbamazepine and its physiological and biochemical effects on *Daphnia magna*. *Ecotoxicology and environmental safety* [en línea], vol. 172, 15 de mayo de 2019, pp. 11–18. [Fecha de consulta: 7 de mayo de 2022]  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.061>  
 ISSN: 0147-6513.
  - ORONA-NÁVAR, Carolina *et al.* Removal of pharmaceutically active compounds (PhACs) and bacteria inactivation from urban wastewater effluents by UVA-LED photocatalysis with Gd<sup>3+</sup> doped BiVO<sub>4</sub>. *Journal of environmental chemical engineering* [en línea], vol. 8, n.º 6, diciembre de 2020, pp. 104540. [Fecha de consulta: 04 de mayo de 2022].  
 Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2020.104540>.  
 ISSN: 2213-2929.
  - PÉREZ-ALVAREZ, Itzayana *et al.* Determination of metals and pharmaceutical compounds released in hospital wastewater from Toluca, Mexico, and evaluation of

- their toxic impact. *Environmental pollution (Barking, Essex: 1987)* [en línea], vol. 240, septiembre de 2018, pp. 330–341. [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2022]  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.116>  
 ISSN: 0269-7491.
- PONCE-ROBLES, *Laura et al.* WWTP effluent quality improvement for agricultural reuse using an autonomous prototype. *Water* [en línea], vol. 12, n.º 8, 09 de agosto de 2021, pp. 2240.  
 [Fecha de consulta: 16 mayo 2022].  
 Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/8/2240>  
 ISSN: 2073-4441.
  - PRAVEENKUMARREDDY, Yerabham *et al.* Assessment of non-steroidal anti-inflammatory drugs from selected wastewater treatment plants of Southwestern India. *Emerging contaminants* [en línea], vol. 7, 2021 pp. 43–51. [Fecha de consulta: 23 de abril de 2022].  
 Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.emcon.2021.01.001>.  
 ISSN: 2405-6650.
  - RAJASULOCHANA, P. y PREETHY, V. Comparison on efficiency of various techniques in treatment of waste and sewage water – A comprehensive review. *Resource-efficient technologies* [en línea], vol. 2, n.º 4, diciembre de 2016, pp. 175–184. [Fecha de consulta: 05 de abril de 2021].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.refit.2016.09.004>  
 ISSN: 2405-6537.
  - RODRIGUEZ-NARVAEZ, Oscar *et al.* Treatment technologies for emerging contaminants in water: A review. *Chemical engineering journal (Lausanne, Switzerland: 1996)* [en línea], vol. 323, 1 de septiembre de 2017, pp. 361–380. [Fecha de consulta: 8 de mayo de 2022].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.04.106>  
 ISSN: 1385-8947.
  - SALEH, Iman, ZOUARI, Nabil y AL-GHOUTI, Mohammad. Removal of pesticides from water and wastewater: Chemical, physical and biological treatment approaches. *Environmental technology & innovation*, vol. 19, n.º 101026, agosto de 2022 [Fecha de consulta: 17 de octubre de 2021].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101026>  
 ISSN: 2352-1864.
  - SHOKOOHI, Reza *et al.* Antibiotic detection in a hospital wastewater and comparison of their removal rate by activated sludge and earthworm-based vermifiltration: Environmental risk assessment. *Process safety and environmental protection : transactions of the Institution of Chemical Engineers, Part B* [en línea] vol.134 [Fecha de consulta: 23 de abril de 2021].  
 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.10.020>  
 ISSN: 0957-5820.
  - SILVA, Andrea *et al.* Green microalgae *Scenedesmus obliquus* utilization for the adsorptive removal of nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) from water samples. *International journal of environmental research and public health*, vol. 17, n.º10, 25 de mayo de 2020, pp. 3707. [Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2021].  
 Disponible en: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/10/3707/htm>  
 ISSN: 1661-7827.

- SILVA, Andreia *et al.* The use of algae and fungi for removal of pharmaceuticals by bioremediation and biosorption processes: A review. *Water* [en línea], vol. 11, n.º 8, 27 de julio de 2019, pp. 1555. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2022].  
Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/8/1555/htm>.  
ISSN: 2073-4441.
- SINGH, Gurudatta *et al.* *Microbe Mediated Remediation of Environmental Contaminants*. S.l.: Elsevier, 30 de octubre de 2021 [Fecha de consulta: 15 de abril de 2022].  
Capítulo 29: Sources, fate, and impact of pharmaceutical and personal care products in the environment and their different treatment technologies.  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821199-1.00029-8>  
ISBN: 9780128211991.
- SON, Dong *et al.* Fate evaluation of pharmaceuticals in solid and liquid phases at biological process of full-scale municipal wastewater treatment plants. *Journal of water process engineering* [en línea], vol. 46, n.º 102538, abril de 2022, pp. 102538. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2022].  
Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102538>.  
ISSN: 2214-7144.
- STYSZKO, Katarzyna *et al.* Occurrence of pharmaceutical residues, personal care products, lifestyle chemicals, illicit drugs and metabolites in wastewater and receiving surface waters of Krakow agglomeration in South Poland. *The Science of the total environment* [en línea], vol. 768, n.º 144360, 10 de mayo de 2021, pp. 144360. [Fecha de consulta: 01 de junio de 2022].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144360>  
ISSN: 0048-9697.
- SUN, Jie *et al.* Comparison of different advanced treatment processes in removing endocrine disruption effects from municipal wastewater secondary effluent. *Chemosphere* [en línea], vol. 168, febrero de 2017, pp. 1–9. [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2022].  
Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.031>.  
ISSN: 0045-6535.
- TANG, Kai *et al.* Removal of pharmaceuticals, toxicity and natural fluorescence through the ozonation of biologically-treated hospital wastewater, with further polishing via a suspended biofilm. *Chemical engineering journal (Lausanne, Switzerland: 1996)* [en línea], vol. 359, 1 de marzo de 2019, pp. 321–330. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2022].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.11.112> .  
ISSN: 1385-8947.
- TAOUIK, Nawal *et al.* Comparative overview of advanced oxidation processes and biological approaches for the removal pharmaceuticals. *Journal of environmental management* [en línea], vol. 288, n.º 112404, 15 de junio de 2021, pp. 112404. [Fecha de consulta: 21 de abril de 2022].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112404>  
ISSN: 0301-4797.
- THIEBAULT, Thomas *et al.* Temporal dynamics of human-excreted pollutants in wastewater treatment plant influents: Toward a better knowledge of mass load fluctuations. *The Science of the total environment* [en línea], vol. 596–597, 15 de octubre de 2017, pp. 246–255. [Fecha de consulta: 10 de abril de 2022].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.130>  
ISSN: 0048-9697.

- TIWARI, Bhagyashree *et al.* Review on fate and mechanism of removal of pharmaceutical pollutants from wastewater using biological approach. *Bioresource technology* [en línea], vol. 224, enero de 2017, pp. 1–12. [Fecha de consulta: 22 de abril de 2022].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.042>  
ISSN: 0960-8524.
- TRAN, Ngoc, REINHARD, Martin y GIN, Karina. Occurrence and fate of emerging contaminants in municipal wastewater treatment plants from different geographical regions-a review. *Water research* [en línea], vol. 133, 15 de abril de 2018, pp. 182–207. [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2022].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.029>  
ISSN: 0043-1354.
- TULASHIE, Samuel *et al.* Assessment and remediation of pollutants in Ghana's Kete-Krachi District Hospital effluents using granular and smooth activated carbon. *Heliyon* [en línea], vol. 4, n.º 7, junio de 2018, pp. e00692. [Fecha de consulta: 24 de abril de 2022].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00692>  
ISSN: 2405-8440.
- VASSALLE, Lucas *et al.* Behavior of UV filters, UV blockers and pharmaceuticals in high rate algal ponds treating urban wastewater. *Water* [en línea], vol. 12, n.º 10, 19 de septiembre de 2020, pp. 2658. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2022].  
Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/10/2658/htm>.  
ISSN: 2073-4441.
- VIEIRA, Wedja *et al.* Removal of endocrine disruptors in waters by adsorption, membrane filtration and biodegradation. A review. *Environmental chemistry letters* [en línea], vol. 18, n.º 4, 09 de abril de 2020, pp. 1113–1143. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2022].  
Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s10311-020-01000-1>.  
ISSN: 1610-3653.
- WANG, Yonggang *et al.* Removal of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) from municipal waste water with integrated membrane systems, MBR-RO/NF. *International journal of environmental research and public health* [en línea], vol. 15, n.º 2, 05 de febrero de 2018b, pp. 269. [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2022].  
Disponible en: <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/2/269/htm>.  
ISSN: 1661-7827.
- WANG, Yong *et al.* Experimental study on the removal of organic pollutants and NH<sub>3</sub>-N from surface water via an integrated copolymerization air flotation-carbon sand filtration process. *Journal of Water Supply Research and Technology—AQUA* [en línea], vol. 67, n.º 5, agosto de 2018a, pp. 506–516. [Fecha de consulta: 01 de mayo de 2022].  
Disponible en: <https://doi.org/10.2166/aqua.2018.035>  
ISSN: 1605-3974.
- WIEST, Laure *et al.* Two-year survey of specific hospital wastewater treatment and its impact on pharmaceutical discharges. *Environmental science and pollution research international* [en línea], vol. 25, n.º 10, 17 de julio de 2017, pp. 9207–9218. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2022].  
Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-9662-5>.  
ISSN: 0944-1344.

- XU, Rui *et al.* Enhanced micropollutants removal by nanofiltration and their environmental risks in wastewater reclamation: A pilot-scale study. *The Science of the total environment* [en línea], vol. 744, n.º 140954, 20 de noviembre de 2020, pp. 140954. [Fecha de consulta: 26 de abril de 2022].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140954>  
ISSN: 0048-9697.
- YOUCAI, Zhao. *Pollution Control Technology for Leachate from Municipal Solid Waste* [en línea]. Oxford, Inglaterra: Elsevier, 2018. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2022].  
Capítulo 5: Leachate Treatment Engineering Processes.  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815813-5.00005-X>  
ISBN: 9780128158135.
- ZHANG, Zhixia *et al.* Discharge inventory of pharmaceuticals and personal care products in Beijing, China. *Emerging contaminants*, vol. 2, n.º 3, ggseptiembre de 2016 [Fecha de consulta: 10 de abril de 2022]  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2016.07.001>  
ISSN: 2405-6650.

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de categorización apriorística

<b>Ámbito temático</b>	<b>Problema de investigación</b>	<b>Preguntas de investigación</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Categorías</b>	<b>Subcategorías</b>
Evaluación de las técnicas de remoción de fármacos en aguas residuales municipales y hospitalarias	¿Cuáles son las mejores técnicas de remoción de fármacos en aguas residuales municipales y hospitalarias?	¿Cuáles son los tipos de fármacos presentes en aguas residuales municipales y hospitalarias?	Evaluar las mejores técnicas de remoción de fármacos en aguas residuales municipales y hospitalarias	Establecer los tipos de fármacos presentes en aguas residuales municipales y hospitalarias	Clase de fármacos	Antibióticos Antiepilépticos Analgésicos Hormonas
		¿Cuál es el porcentaje de remoción de fármacos según los métodos de tratamiento aplicados?		Evaluar el porcentaje de remoción de fármacos según los métodos de tratamiento aplicados	Físicos Químicos Biológicos	Filtración por membranas Adsorción Procesos de oxidación avanzada Estanque de algas de alta tasa (HRAP) Lodos activados Biorreactores de membrana
		¿Cuál es el porcentaje de remoción de fármacos según el tipo de agua residual?		Evaluar el porcentaje de remoción de fármacos según el tipo de agua residual	Tipo de agua residual	Agua residual municipal Agua residual hospitalaria

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Ficha de recolección de datos

Código	Diseño de investigación	Tipo de agua residual	Método de remoción	Técnica de remoción	Tipo de fármaco (Rango de concentración inicial en ng/L) y (Rango de porcentaje de remoción (%))													Referencia					
					Antibióticos						Antiepiléptico	Analgésicos					Hormonas						
					Ciprofloxacina (CIP)	Norfloxacina (NOR)	Ofloxacina (OFL)	Enrofloxacino (ENR)	Sulfametoxazol (SMX)	Sulfadiazina (SDZ)	Carbamazepina (CBZ)	Paracetamol o Acetaminofén (ACE)	Diclofenaco (DCF)	Ibuprofeno (IBU)	Naproxeno (NPX)	Ketoprofeno (KET)	Estrona (E1)		17-β-estradiol (E2)	Estriol (E3)	17α-etinilestradiol (EE2)		
H01	Pre - experimental	Hospitalaria	Biológico	Lodos activados					<LO Q / 2369); (-32% / 77%)	(n.d. / 565.3); (-22 / 99%)	(41.1 / 720.7); (-116% / -9%)		(n.d. / <LO Q); (-)										(Kosma et al., 2020)
H02	Pre - experimental	Hospitalaria	Biológico	Lodos activados	(120 / 2000); (49%)	(100 / 1530); (71%)	(n.d. / n.d.); (-)						(21270 / 119500); (88%)		(330 / 53400); (68%)		<L OQ / 650); (64%)	(13 / 53); (28%)	(8 / 35); (35%)	(134 / 1480); (32%)	(2654 / 9833); (76%)		(Kanama et al., 2018)
	Pre - experimental	Hospitalaria	Biológico	Lodos activados	(120 / 9110); (84%)	(70 / 820); (41%)	(n.d. / n.d.); (-)						(11060 / 57650); (93%)		(1090 / 63370); (97%)	<L OQ / 700); (55%)	(4 / 40); (83%)	(1 / 47); (-)	(27 / 512); (77%)	(881 / 1041); (26%)			(Kanama et al., 2018)
H03	Cuasi - experimental	Hospitalaria	Químico	Ozonización					(960); (90%)		(80); (90%)			<L OQ); (-)									(Tang et al., 2019)
	Experimental Puro	Hospitalaria	Químico	Ozonización					(750); (90%)		(30); (90%)			(850); (90%)									(Tang et al., 2019)

H04	Pre - experi- mental	Hospitalaria	Biológico	Lodos activad os	(5600 ); (99%)				(30); (96% )	(151); (73%)	(12400 ); (99%)								(Al Qarni et al., 2016)
	Pre - experi- mental	Hospitalaria	Biológico	Lodos activad os	(2180 ); (99%)				(132); (99% )	(73); (99%)	(12300 ); (98%)								(Al Qarni et al., 2016)
M01	Cuasi - experi- mental	Municipal	Físico	Nanofil tración usand o TFC- SR2					(1000 ); (48% )		(1000); (38%)	(300); (58% )	(100 0); (48 %)	(300 ); (55% )					(Garcia-Ivars et al., 2017)
	Cuasi - experi- mental	Municipal	Físico	Nanofil tración usand o NF- 270					(1000 ); (95% )		(1000); (78%)	(300); (97% )	(100 0); (84 %)	(300 ); (96% )					(Garcia-Ivars et al., 2017)
	Cuasi - experi- mental	Municipal	Físico	Nanofil tración usand o MPS- 34					(1000 ); (96% )		(1000); (85%)	(300); (99% )	(100 0); (88 %)	(300 ); (99% )					(Garcia-Ivars et al., 2017)
M02	Experi- mental Puro	Municipal	Químico	Fotoca tálisis hetero génea con TiO <sub>2</sub>					(1000 00); (87% )										(Karaolia et al., 2018)
M03	Cuasi - experi- mental	Municipal	Físico	Ósmos is Invers a	(570); (88.6 %)				(920); (95.9 %)	(200); (95.7%)	(27000 ); (59.3% )	(160); (71.3 %)	(120 00); (79. 2%)	(890 0); (83.1 %)		(160); (100 %)	(51); (100 %)		(Farrokh Shad et al., 2019)
M04	Cuasi - experi- mental	Municipal	Biológico	Biorre actor de membr ana (MBR)	(n.d. / 89); (70.1 %)	(14 / 226); (51.8 %)	(100 / 912); (61.8 %)	(n.d. / 8); (52.7 %)	(12 / 92); (72% )	(n.d. / 32); (41%)					(78 / 158); (88.2 %)	(11 / 54); (82% )	(42 / 162); (95% )	(Wang et al., 2018b)	

M05	Cuasi - experi- mental	Municipal	Físico	Adsorción por carbón activado o granular (GAC)					(20000); (51%)	(200000); (68%)	(20000); (88%)	(20000); (48%)	(20000); (55%)	(20000); (50%)						(Ponce-Robles et al., 2020)
M06	Pre - experi- mental	Municipal	Biológico	Biorreactor de membrana (MBR)	(220); (66%)	(620); (31%)	(1020); (25%)	(27); (15%)	(410); (70%)											(Liu et al., 2017)
M07	Pre - experi- mental	Municipal	Biológico	Lodos activados	(n.d. / 4200); (78%)				(n.d. / 5300); (41%)	(820 / 6500); (28%)	(55000 / 623000); (99%)	(460 / 6500); (21%)	(800 / 5300); (99%)	(n.d. / 3800); (89%)	(n.d. / 170); (85%)					(De Jesus Gaffney et al., 2017)
M08	Experi- mental Puro	Municipal	Químico	Ozonización					(263); (86%)	(894); (100%)		(1138); (98%)	(<L OQ); (-)	(772); (96%)						(Dogruel et al., 2020)
	Experi- mental Puro	Municipal	Químico	Ozonización					(263); (91%)	(894); (100%)		(1138); (99%)	(878); (48%)	(<L OQ); (-)						(Dogruel et al., 2020)
M09	Cuasi - experi- mental	Municipal	Químico	Fotocatálisis heterogénea con TiO <sub>2</sub>				(10000); (80%)	(10000); (100%)											(Moles et al., 2020)
M10	Cuasi - experi- mental	Municipal	Biológico	Estanque de algas de alta tasa (HRAP)						(100 / 350); (7.7)	(210 / 120000); (94.4)	(130 / 470); (66.6)	(140 / 460); (75.7)	(320 / 8100); (46.3)	(110 / 120); (55.8)					(Jiménez-Bambague et al., 2020)

H05	Pre - experimental	Hospitalaria								(20590); (-)	(3440); (-)									(Ngigi, Magu y Muendo, 2019)
	Pre - experimental	Municipal								(7800); (-)	(70); (-)									(Ngigi, Magu y Muendo, 2019)
H06	Pre - experimental	Hospitalaria	Biológico	Lodos activados	(n.d. / 120000); (-)	(340000 / 526000); (-)	(124000 / 198000); (-)													(Ajibola et al., 2021a)
	Pre - experimental	Hospitalaria	Biológico	Biorreactor de membrana (MBR)	(n.d. / 100000); (-)	(372000 / 561000); (-)	(n.d. / 147000); (-)													(Ajibola et al., 2021a)
M11	Cuasi - experimental	Municipal	Físico	Nanofiltración	(135 / 3150); (99%)															(Cristóvão et al., 2020)
H07	Pre - experimental	Municipal	Biológico	Lodos activados	(346); (-)							(348); (-)								(Bírošová et al., 2020)
	Pre - experimental	Hospitalaria			(2550); (-)							(880); (-)								(Bírošová et al., 2020)
	Pre - experimental	Hospitalaria			(5360); (-)							(45); (-)								(Bírošová et al., 2020)
M12	Pre - experimental	Municipal	Biológico	Lodos activados								(45 / 2394); (-50%)		(6 / 708); (42.9%)	(12 / 147500); (98%)	(4910 / 521700); (98%)				(Guedes-Alonso et al., 2020)
	Pre - experimental	Municipal	Físico	Ósmosis Inversa								(78 / 4687); (77%)		(34 / 288); (96%)	(9 / 1184);	(57 / 1311);				(Guedes-Alonso et al., 2020)



M15	Pre - experi- mental	Municipal	Biológico	Lodos activad os								(n.d. / 4100 00); (-)	(50 / 940 00); (-)	(300 / 1370 000); (-)	(50/ 260 000) );(- )					(Praveenkumarreddy et al., 2021)
	Pre - experi- mental	Municipal	Biológico	Lodos activad os								(n.d. / 8200 0); (-)	(n.d. / 230 00); (-)	(n.d. / 6700 0); (-)	(40 / 370 00); (-)					(Praveenkumarreddy et al., 2021)
	Pre - experi- mental	Municipal	Biológico	Lodos activad os								(n.d. / 4500 0); (-)	(50 / 130 00); (-)	(60 / 2600 0); (-)	(10 / 105 00); (-)					(Praveenkumarreddy et al., 2021)
M16	Pre - experi- mental	Municipal	Físico	Ósmos is invers a	(<LO Q); (-)	(134); (99.9 %)	(150); (99.9 %)	(412); (96.1%)				(86); (99.9 %)	(78); (8.9 %)	(144) ; (22.9 %)	(61 6); (71. 1%)					(Afonso-Olivares, Sosa-Ferrera y Santana-Rodríguez, 2017)
M17	Cuasi - experi- mental	Municipal	Químico	Ozoniz ación											(3.95) ; (95.7 %)	(4.68) ; (99.9 %)			(0.24) ; (99.9 %)	(Sun et al., 2017)
	Experi- mental Puro	Municipal	Físico	Adsorc ión con carbón activad o en polvo (PAC)											(3.95) ; (34.4 %)	(4.68) ; (83.3 %)			(0.24) ; (99.9 %)	(Sun et al., 2017)



Anexo 3. Conjunto de estudios incluidos en la revisión sistemática

Código	Base de datos	Revista científica	Cuartil SJR	Título	País	Referencia	DOI
M01	Scopus	Water Research	Q1	Nanofiltration as tertiary treatment method for removing trace pharmaceutically active compounds in wastewater from wastewater treatment plants	España	(Garcia-Ivars et al., 2017)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.08.070">https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.08.070</a>
M02	Scopus	Applied Catalysis B: Environmental	Q1	Removal of antibiotics, antibiotic-resistant bacteria and their associated genes by graphene-based TiO <sub>2</sub> composite photocatalysts under solar radiation in urban wastewaters	Chipre	(Karaolia et al., 2018)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.11.020">https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.11.020</a>
M03	Scopus	Journal of Water Reuse and Desalination	Q1	Evaluating occurrence of contaminants of emerging concerns in MF/RO treatment of primary effluent for water reuse – Pilot study	EE. UU.	(Farrokh Shad et al., 2019)	<a href="https://doi.org/10.2166/wrd.2019.004">https://doi.org/10.2166/wrd.2019.004</a>
M04	Scopus	International Journal of Environmental Research and Public Health	Q1	Removal of Pharmaceutical and Personal Care Products (PPCPs) from Municipal Waste Water with Integrated Membrane Systems, MBR-RO/NF	China	(Wang et al., 2018b)	<a href="https://doi.org/10.3390/ijerph15020269">https://doi.org/10.3390/ijerph15020269</a>
M05	Scopus	Water (Switzerland)	Q1	WWTP Effluent Quality Improvement for Agricultural Reuse Using an Autonomous Prototype	España	(Ponce-Robles et al., 2020)	<a href="https://doi.org/10.3390/w12082240">https://doi.org/10.3390/w12082240</a>
M06	Proquest	Water Science and Technology	Q2	Occurrence and elimination of antibiotics in three sewage treatment plants with different treatment technologies in Urumqi and Shihezi, Xinjiang	China	(Liu et al., 2017)	<a href="https://doi.org/10.2166/wst.2017.013">https://doi.org/10.2166/wst.2017.013</a>
M07	Proquest	Environmental Science and Pollution Research	Q1	Occurrence and behaviour of pharmaceutical compounds in a Portuguese wastewater treatment plant: Removal efficiency through conventional treatment processes	Portugal	(De Jesus Gaffney et al., 2017)	<a href="https://doi.org/10.1007/s11356-017-9012-7">https://doi.org/10.1007/s11356-017-9012-7</a>
M08	Proquest	Environmental Science and Pollution Research	Q1	Ozonation in advanced treatment of secondary municipal wastewater effluents for the removal of micropollutants	Turquía	(Dogruel et al., 2020)	<a href="https://doi.org/10.1007/s11356-020-10339-5">https://doi.org/10.1007/s11356-020-10339-5</a>

M09	Proquest	Water (Switzerland)	Q1	Towards the Removal of Antibiotics Detected in Wastewaters in the POCTEFA Territory: Occurrence and TiO <sub>2</sub> Photocatalytic Pilot-Scale Plant Performance	España	(Moles et al., 2020)	<a href="https://doi.org/10.3390/w12051453">https://doi.org/10.3390/w12051453</a>
M10	Proquest	Water Science and Technology	Q2	High-rate algal pond for removal of pharmaceutical compounds from urban domestic wastewater under tropical conditions. Case study: Santiago de Cali, Colombia	Colombia	(Jiménez-Bambague et al., 2020)	<a href="https://doi.org/10.2166/wst.2020.362">https://doi.org/10.2166/wst.2020.362</a>
M11	Proquest	Membranes	Q2	Occurrence of Antibiotics, Antibiotic Resistance Genes and Viral Genomes in Wastewater Effluents and Their Treatment by a Pilot Scale Nanofiltration Unit	Portugal	(Cristóvão et al., 2020)	<a href="https://doi.org/10.3390/membranes11010009">https://doi.org/10.3390/membranes11010009</a>
M12	Ebsco host	Molecules	Q1	A Survey of the Presence of Pharmaceutical Residues in Wastewaters. Evaluation of Their Removal using Conventional and Natural Treatment Procedures	España	(Guedes-Alonso et al., 2020)	<a href="https://doi.org/10.3390/molecules25071639">https://doi.org/10.3390/molecules25071639</a>
M13	Sciencedirect	Journal of Hazardous Materials	Q1	Fate of priority pharmaceuticals and their main metabolites and transformation products in microalgae-based wastewater treatment systems	España	(García-Galán et al., 2020)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121771">https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121771</a>
M14	Sciencedirect	Chemosphere	Q1	Fate of active pharmaceutical ingredients in a northern high-rate algal pond fed with municipal wastewater	Suecia	(Lindberg et al., 2021)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129763">https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129763</a>
M15	Sciencedirect	Emerging Contaminants	Q1	Assessment of non-steroidal anti-inflammatory drugs from selected wastewater treatment plants of Southwestern India	India	(Praveenkumareddy et al., 2021)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.emcon.2021.01.001">https://doi.org/10.1016/j.emcon.2021.01.001</a>
M16	Sciencedirect	Science of The Total Environment	Q1	Occurrence and environmental impact of pharmaceutical residues from conventional and natural wastewater treatment plants in Gran Canaria (Spain)	España	(Afonso-Olivares, Sosa-Ferrera y Santana-Rodríguez, 2017)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.058">https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.058</a>
M17	Sciencedirect	Chemosphere	Q1	Comparison of different advanced treatment processes in removing endocrine disruption effects from municipal wastewater secondary effluent	China	(Sun et al., 2017)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.031">https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.031</a>

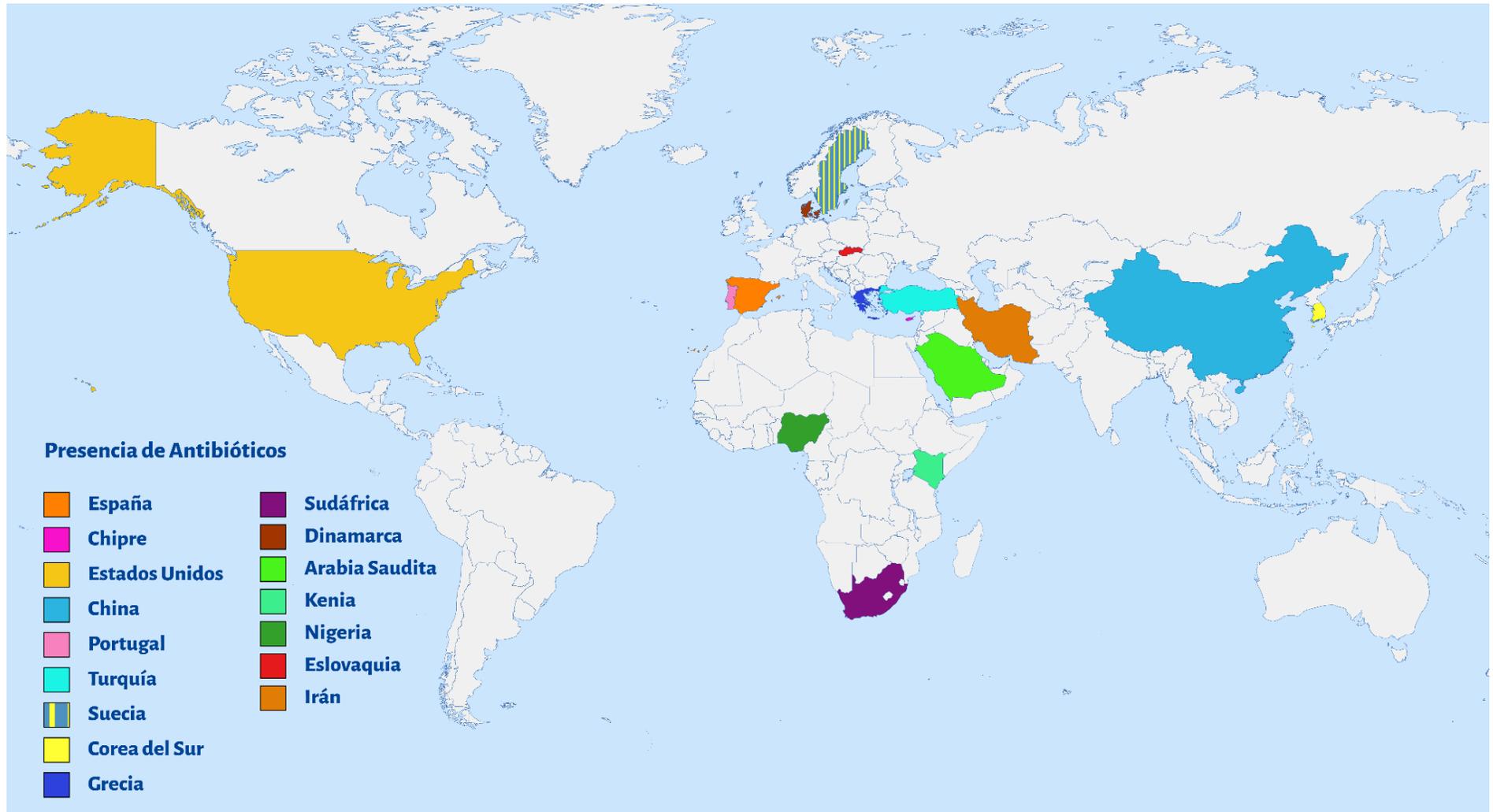
M18	Sciencedirect	Chemical Engineering Journal	Q1	Removal of emerging contaminants from a primary effluent of municipal wastewater by means of sequential biological degradation-solar photocatalytic oxidation processes	España	(Gimeno et al., 2016)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.01.022">https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.01.022</a>
M19	Sciencedirect	Chemical Engineering Journal	Q1	Pharmaceutical biological degradation, sorption and mass balance determination in a conventional activated-sludge wastewater treatment plant from Murcia, Spain	España	(Martínez-Alcalá, Guillén-Navarro y Fernández-López, 2017)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.01.048">https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.01.048</a>
M20	Sciencedirect	Journal of Water Process Engineering	Q1	Fate evaluation of pharmaceuticals in solid and liquid phases at biological process of full-scale municipal wastewater treatment plants	Corea del Sur	(Son et al., 2022)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102538">https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102538</a>
M21	Sciencedirect	Science of The Total Environment	Q1	Assessing membrane fouling and the performance of pilot-scale membrane bioreactor (MBR) to treat real municipal wastewater during winter season in Nordic regions	Finlandia	(Gurung, Ncibi y Sillanpää, 2017)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.122">https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.122</a>
H01	Scopus	Environmental Research	Q 1	Assessment of multiclass pharmaceutical active compounds (PhACs) in hospital WWTP influent and effluent samples by UHPLC-Orbitrap MS: Temporal variation, removals and environmental risk assessment	Grecia	(Kosma et al., 2020)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110152">https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110152</a>
H02	Scopus	Journal of Toxicology - Hindawi	Q2	Assessment of Pharmaceuticals, Personal Care Products, and Hormones in Wastewater Treatment Plants Receiving Inflows from Health Facilities in North West Province, South Africa	Sudáfrica	(Kanama et al., 2018)	<a href="https://doi.org/10.1155/2018/3751930">https://doi.org/10.1155/2018/3751930</a>
H03	Scopus	Chemical Engineering Journal	Q1	Removal of pharmaceuticals, toxicity and natural fluorescence through the ozonation of biologically-treated hospital wastewater, with further polishing via a suspended biofilm	Dinamarca	(Tang et al., 2019)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.11.112">https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.11.112</a>
H04	Scopus	Environmental Science and Pollution Research	Q1	Investigating the removal of some pharmaceutical compounds in hospital wastewater treatment plants operating in Saudi Arabia	Arabia Saudita	(Al Qarni et al., 2016)	<a href="https://doi.org/10.1007/s11356-016-6389-7">https://doi.org/10.1007/s11356-016-6389-7</a>

H05	Proquest	Environmental Monitoring and Assessment	Q2	Occurrence of antibiotics residues in hospital wastewater, wastewater treatment plant, and in surface water in Nairobi County, Kenya	Kenia	(Ngigi, Magu y Muendo, 2019)	<a href="https://doi.org/10.1007/s10661-019-7952-8">https://doi.org/10.1007/s10661-019-7952-8</a>
H06	Proquest	Archives of Environmental Contamination and Toxicology	Q2	QuEChERS Approach for the Analysis of Three Fluoroquinolone Antibiotics in Wastewater: Concentration Profiles and Ecological Risk in Two Nigerian Hospital Wastewater Treatment Plants	Nigeria	(Ajibola et al., 2021a)	<a href="https://doi.org/10.1007/s00244-020-00789-w">https://doi.org/10.1007/s00244-020-00789-w</a>
H07	Proquest	Environmental Science and Pollution Research	Q1	Non-antimicrobial pharmaceuticals can affect the development of antibiotic resistance in hospital wastewater	Eslovaquia	(Bírošová et al., 2020)	<a href="https://doi.org/10.1007/s11356-020-07950-x">https://doi.org/10.1007/s11356-020-07950-x</a>
H08	Ebsco host	Archives of Environmental Contamination and Toxicology	Q2	Analysis, Occurrence and Ecological Risk Assessment of Diclofenac and Ibuprofen Residues in Wastewater from Three Wastewater Treatment Plants in South-Western Nigeria	Nigeria	(Ajibola et al., 2021b)	<a href="https://doi.org/10.4314/jasem.v25i3.5">https://doi.org/10.4314/jasem.v25i3.5</a>
H09	Ebsco host	Chemical Engineering Communications	Q2	Photocatalytic degradation of ciprofloxacin antibiotic by TiO <sub>2</sub> nanoparticles immobilized on a glass plate	Irán	(Malakootian, Nasiri y Amiri Gharaghani, 2020)	<a href="https://doi.org/10.1080/00986445.2019.1573168">https://doi.org/10.1080/00986445.2019.1573168</a>
H10	Sciencedirect	Environmental Pollution	Q1	Determination of metals and pharmaceutical compounds released in hospital wastewater from Toluca, Mexico, and evaluation of their toxic impact	México	(Pérez-Alvarez et al., 2018)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.116">https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.116</a>

Nota: los artículos fueron obtenidos gracias al acceso brindado por la biblioteca virtual de la Universidad César Vallejo

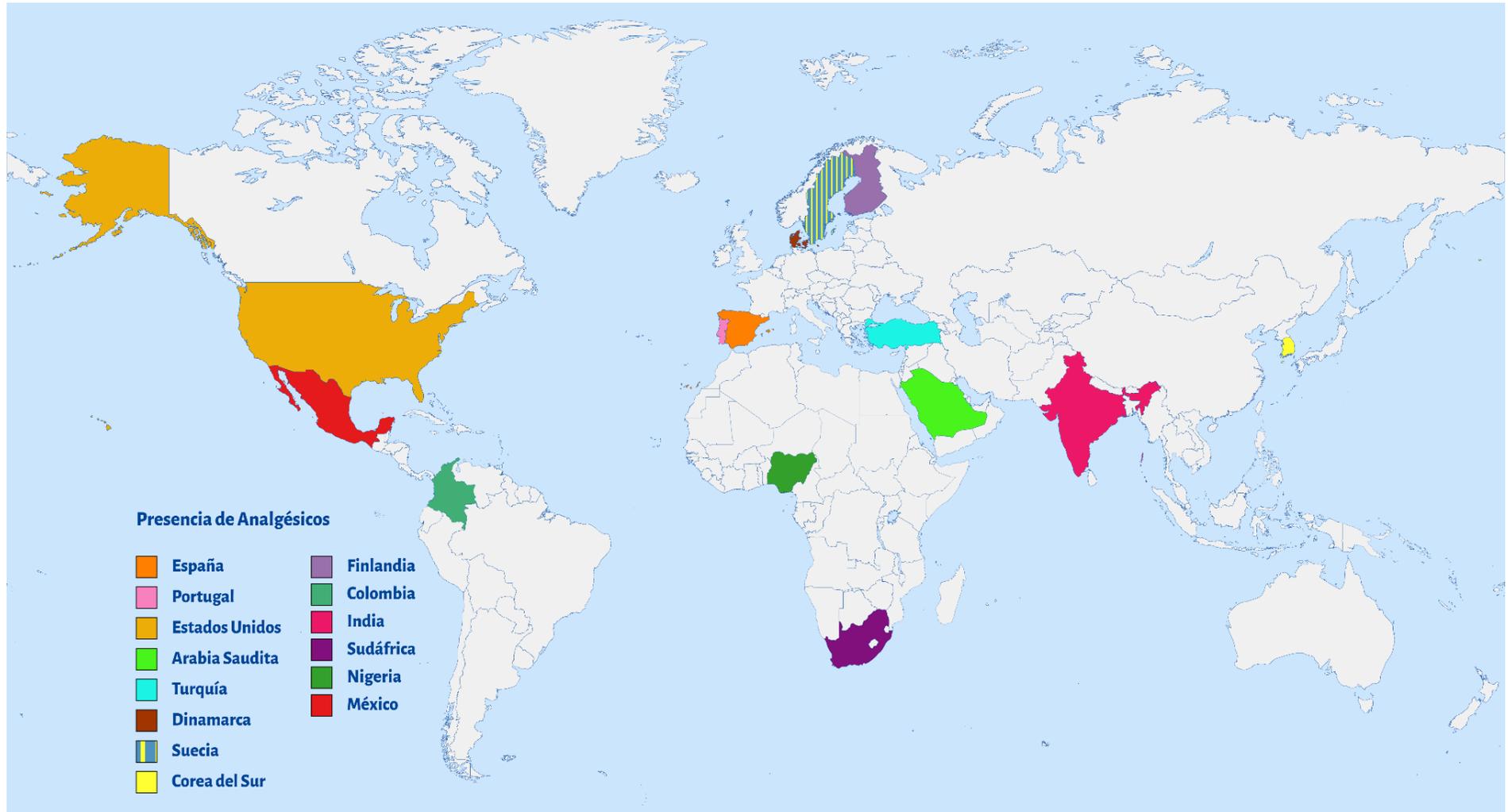
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4. Mapa temático de antibióticos detectados en aguas residuales en diferentes países.



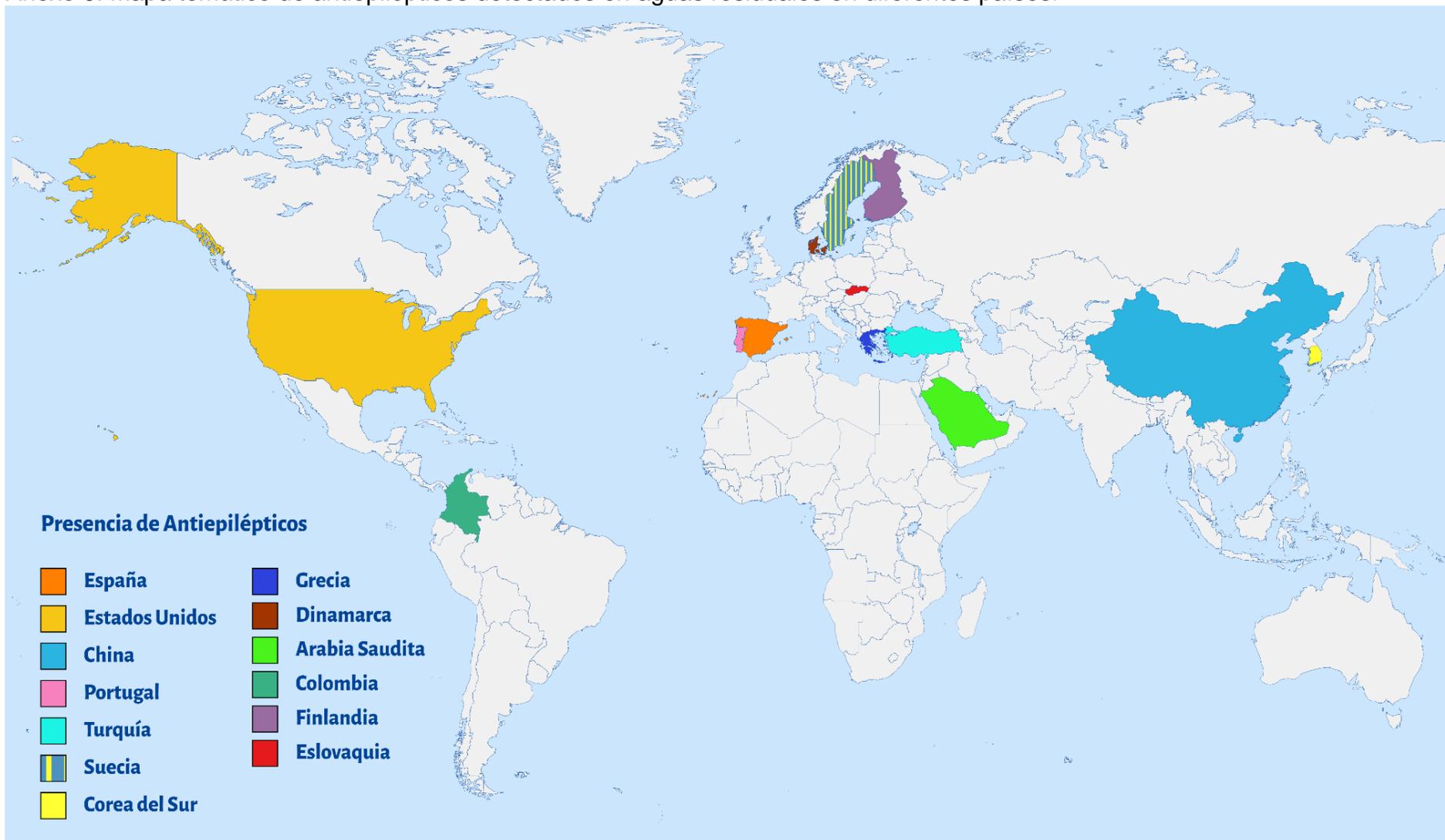
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5. Mapa temático de analgésicos detectados en aguas residuales en diferentes países.



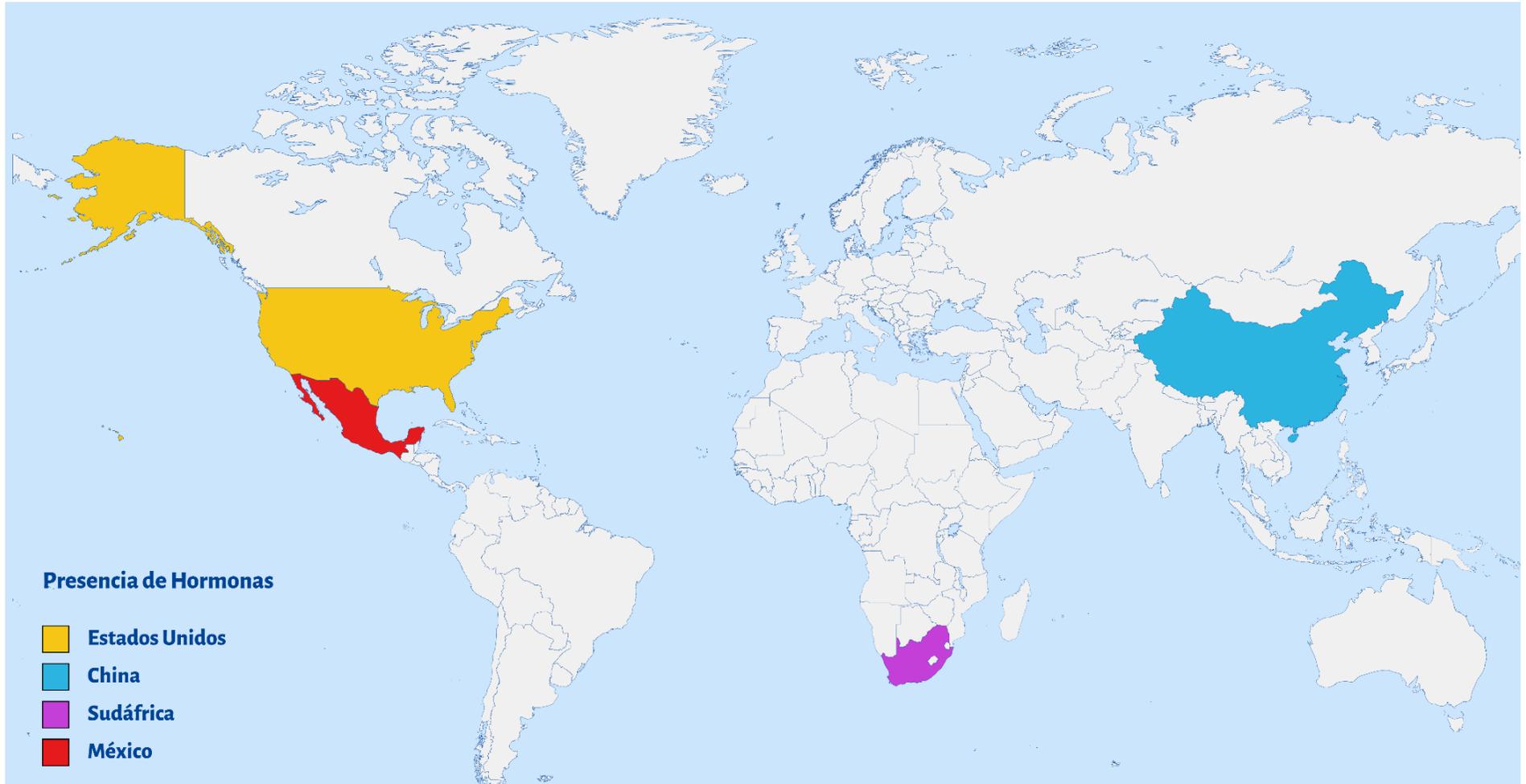
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6. Mapa temático de antiepilépticos detectados en aguas residuales en diferentes países.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7. Mapa temático de hormonas detectadas en aguas residuales en diferentes países.



Fuente: Elaboración propia.



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, CRUZ MONZON JOSE ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Evaluación de las técnicas de remoción de fármacos en aguas residuales municipales y hospitalarias", cuyos autores son RODRIGUEZ SERIN HENRY, GAMEZ JARA AURIA JULISSA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 7.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 26 de Junio del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
CRUZ MONZON JOSE ALFREDO <b>DNI:</b> 18887838 <b>ORCID:</b> 0000-0001-9146-7615	Firmado electrónicamente por: JACRUZM el 06-07- 2022 12:58:14

Código documento Trilce: TRI - 0311485