



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Aplicación de Estructuras Orgánicas Porosas Para la Adsorción de
Contaminantes Orgánicos de Medios Acuáticos: Revisión
sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Miranda Choque, Kelly Milagros (ORCID: 0000-0001-9867-4908)

ASESOR:

Mgr. Reyna Mandujano, Samuel Carlos (ORCID: 0000 0002-0750-2877)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

La presente investigación se la dedico al amor de mi vida mi madre Sarita Choque Allende, porque en sus manos todo es posible, porque en sus ojos vive la ternura; A mi sobrino Roger Villa Choque, quien continua estos decisivos pasos; A la memoria y al recuerdo de mi hermana Yesica Maritza Choque Allende y a todas las personas que fueron testigos del trabajo y esfuerzo que solo el tiempo sabe recompensar, familia y amigos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios quien fue mi guía en este arduo camino, darme la fortaleza en cada momento, por permitirme llegar hasta aquí y así poder culminar con éxito una meta que siempre tuve en mente, a mi madre quien fue mi motor y motivo para culminar este proyecto. A la persona que con sus palabras, amor y apoyo hizo que en estos momentos no me rindiera y a todas las personas que estuvieron en cada etapa de este proyecto.

Índice del contenido

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Índice de gráficos	vii
Índice de abreviaturas	viii
Resumen	ix
Abstract	x
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Índice de gráficos	vii
Resumen	ix
Abstract	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
V. CONCLUSIONES	36
VI. RECOMENDACIONES	37
REFERENCIAS.....	38
ANEXOS	1

Índice de tablas

<i>Tabla 1 Residuos químicos orgánicos y sus fuentes.....</i>	<i>5</i>
<i>Tabla 2 Antecedentes Nacionales e internacionales.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla N° 3 Matriz apriorística</i>	<i>20</i>
<i>Tabla N° 4 Rendimiento de adsorción de los contaminantes orgánicos.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla N° 5 Mecanismo de adsorción de estructuras orgánicas porosas.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla N° 6 Cinética de adsorción más usada para determinar la velocidad de adsorción de los COP.....</i>	<i>33</i>

Índice de figuras

<i>Figura N° 1 : Principales contaminantes orgánicos persistentes (COP).....</i>	<i>6</i>
<i>Figura N° 2 Mecanismos de interacción entre diversos contaminantes y los materiales de COFs.....</i>	<i>9</i>

Índice de gráficos

Gráfico N° 1 Recuperación de contaminantes orgánicos	8
Gráfico N° 2 Procedimiento de selección de artículos al estudio	22

Índice de abreviaturas

COP : **Compuestos orgánicos persistentes**

PCP : **Productos de cuidado personal**

EDC : **Sistema endocrino**

COF : **Estructuras orgánicas covalentes**

COV : **Compuestos orgánicos volátiles**

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo principal determinar los aspectos más relevantes de la aplicación de estructuras orgánicas porosas para la adsorción de contaminantes orgánicos de medios acuosos, analizar el rendimiento de adsorción, detallar el mecanismo de adsorción y clasificar la cinética de adsorción.

Para lo cual se llegó a recolectar 87 estudios científicos, siendo en su mayoría estudios de sciencedirect, de los cuales se realizó un proceso de selección, quedando 28 artículos añadidos al estudio. De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene que; el rendimiento de adsorción presenta una capacidad de adsorción mayor en tiempos menores a 60 minutos, así mismo, la capacidad de adsorción de las estructuras orgánicas porosas es de 100 a 500 mg/g de contaminante en su mayoría. El mecanismo de adsorción se basa en la interacción de grupos funcionales como -COOH, -NH₂, -CN, -SH, -SCH₃ y -SO₃H y la atracción electrostática, los cuales permiten mejorar la eficiencia de eliminación de los contaminantes del medio acuoso. La cinética de adsorción más usada son los pasos de control de la velocidad y el mecanismo de difusión por adsorción, los cuales se pueden estimar mediante quimisorción, complejación superficial fuerte, difusión intrapartícula y difusión de película.

Palabras clave: adsorción, contaminantes orgánicos, acuoso, medio, medio acuático.

Abstract

The main objective of this study was to determine the most relevant aspects of the application of porous organic structures for the adsorption of organic pollutants from aqueous media, to analyze the adsorption performance, to detail the adsorption mechanism and to classify the adsorption kinetics.

For this purpose, 87 scientific studies were collected, most of them being sciencedirect studies, from which a selection process was carried out, leaving 28 articles added to the study. According to the results obtained, the adsorption performance presents a higher adsorption capacity in times of less than 60 minutes, likewise, the adsorption capacity of the porous organic structures is from 100 to 500 mg/g of pollutant in its majority. The adsorption mechanism is based on the interaction of functional groups such as -COOH, -NH₂, -CN, -SH, -SCH₃ and -SO₃H and electrostatic attraction, which improve the efficiency of pollutant removal from the aqueous medium. The most commonly used adsorption kinetics are rate control steps and adsorption diffusion mechanism, which can be estimated by chemisorption, strong surface complexation, intraparticle diffusion and film diffusion.

Key words: adsorption, organic pollutants, aqueous, medium, water medium.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental se ha convertido en una grave amenaza tanto para los seres humanos como para la vida silvestre (Masindi V. y Muedi K., 2018, p.1). El desarrollo económico y tecnológico de las sociedades ha provocado un aumento de las actividades industriales y agrícolas, intensificando la contaminación antropogénica y afectando gravemente la calidad de la atmósfera, el agua y el suelo (Appannagari R. et al., 2017, p.151).

Entre los contaminantes liberados al medio ambiente, los contaminantes orgánicos halogenados son de gran preocupación ya que la mayoría de ellos son disruptores endocrinos y pueden causar neurotoxicidad, inmunotoxicidad y efectos adversos en el sistema reproductivo y órganos, como riñón, hígado y tiroides (Limmer M. et al., 2016, p.2). Además, algunos de estos contaminantes orgánicos halogenados también se han clasificado como contaminantes orgánicos persistentes porque pueden acumularse en los tejidos grasos y son muy resistentes a la degradación, así como propensos al transporte a larga distancia en el medio ambiente (Prasetya Nicholaus et al., 2020, p.1).

Los contaminantes orgánicos, incluidos los tintes, los productos farmacéuticos, los tensioactivos plaguicidas, productos de cuidado personal (PCP), sustancias químicas que alteran el sistema endocrino (EDC) y otras sustancias químicas industriales comunes (Miklos David B. et al., 2018, p.2). Al igual que los metales pesados, son persistentes, recalcitrantes y sus fuentes, ocurrencias, destino y técnicas de eliminación vienen siendo preocupación en diversas partes del mundo (Gogoi Anindita et al., 2018, p.2).

Las causas son los numerosos productos no deseados de las fábricas, como los residuos industriales, el agua contaminada, los gases tóxicos, los precipitados químicos, las cenizas en aerosol y los humos, etc., que contaminan el aire, el agua, la tierra, los suelos, etc., y degradan así el medio ambiente (Delang Claudio O., 2017, p.1).

Los países industrializados han aumentado la concentración de contaminantes emitidos por las fábricas en el aire, el agua y la tierra hasta tal punto que han degradado el medio ambiente hasta el límite crítico y han llevado a la sociedad humana al borde de su destrucción (Fayiga Abioye O. et al., 2018, p.2).

Centrándose en el medio hídrico, debido a su carcinogenicidad y mutagenicidad, la eliminación de contaminantes orgánicos de las aguas superficiales y subterráneas es un tema de gran importancia ambiental (Zare Ehsan N. et al., 2021, p.1).

Debido a ello, los contaminantes orgánicos halogenados, incluidos los contaminantes orgánicos persistentes potenciales, legislados y sus precursores, representan una preocupación ambiental importante debido a sus efectos peligrosos en los seres humanos y la vida silvestre (Hammouda Samia B. et al., 2019, p.3). Así como su capacidad para bioacumularse a través de la cadena alimentaria, su alta resistencia a la degradación ambiental y su potencial de transporte atmosférico de largo alcance (Eojas Sara H. et al., 2020, p.1).

Ante ello, se tiene la necesidad de estudiar materiales prometedores para capturar varios tipos de contaminantes de soluciones acuosas; siendo las estructuras orgánicas covalentes (COF) un nuevo tipo de polímeros porosos cristalinos conocidos por su estabilidad química, excelente regularidad estructural, estructura robusta y porosidad inherente, lo que los convierte en materiales prometedores para solucionar esta problemática (Cui Yuan Yuan et al., 2021, p.1).

Han demostrado un gran potencial en la eliminación de contaminantes ambientales, debido a que estos tipos de materiales porosos son conocidos por su estabilidad química, gran área de superficie específica y canales porosos ordenados (Wang Yi Xuan et al., 2022, P.1).

Los marcos orgánicos covalentes son una clase de materiales cristalinos porosos novedosos, y han atraído cada vez más atención en el campo de la purificación de gases debido a sus atractivas propiedades fisicoquímicas, como una gran superficie, funcionalidad y estructura ajustables, baja densidad y alta estabilidad (Huang Y. et al., 2021, p.1). Pero existen pocos estudios actualizados enfocados en sus propiedades de adsorción; debido a ello se plantea el siguiente problema general: ¿Cuáles son los aspectos más relevantes de la aplicación de estructuras orgánicas porosas para la adsorción de contaminantes orgánicos de medios acuosos?

De igual manera se elaboraron los siguientes problemas específicos:

PE1: ¿Cuál es el rendimiento de adsorción de los contaminantes orgánicos del medio acuoso aplicando estructuras orgánicas?

PE2: ¿Cuál es el mecanismo de adsorción de las estructuras orgánicas porosas para la adsorción de contaminantes orgánicos de medios acuosos?

PE3: ¿Cuál es la cinética de adsorción más usada para determinar la velocidad de adsorción de los contaminantes orgánicos de medios acuosos aplicando estructuras orgánicas porosas?

Mientras que, el objetivo general es: Determinar los aspectos más relevantes de la aplicación de estructuras orgánicas porosas para la adsorción de contaminantes orgánicos de medios acuosos. Así mismo se elaboraron los siguientes objetivos específicos:

OE1: Analizar el rendimiento de adsorción de los contaminantes orgánicos del medio acuoso aplicando estructuras orgánicas

OE2: Detallar el mecanismo de adsorción de las estructuras orgánicas porosas para la adsorción de contaminantes orgánicos de medios acuosos

OE3: Clasificar la cinética de adsorción más usada para determinar la velocidad de adsorción de los contaminantes orgánicos de medios acuosos aplicando estructuras orgánicas porosas

Esta investigación se justifica teóricamente porque busca realizar un estudio a profundidad de literaturas actuales a nivel nacional e internacional enfocados en la aplicación de estructuras orgánicas porosas, buscando contribuir con la sociedad y los futuros investigadores, sirviendo de base en la toma de nuevos estudios que ayuden a eliminar contaminantes orgánicos de medios acuosos.

II. MARCO TEÓRICO

La contaminación del agua es un fenómeno internacional y uno de los problemas fundamentales en muchas naciones en desarrollo (Debika D. y Harsh C., 2021, p.277). Muchas áreas de agua subterránea y otras fuentes de agua están contaminadas con metales pesados, contaminación orgánica crónica y materiales de desecho que tienen un efecto destructivo en la salud pública y el medio ambiente (Dharwal Mridul et al., 2020, p.1).

En amplios sectores de las sociedades de los países en desarrollo, la contaminación del agua es frecuente en grandes cantidades, ya que a menudo las aguas residuales se suelen verterse en los desagües de los alrededores y también en los sistemas de drenaje informales presentes en ellos (Costa José A. et al., 2017, p.3). La mayor parte de esta agua está sin tratar y procede de efluentes domésticos, hospitales, industrias y otras fuentes construidas que consumen agua; esto provoca altos niveles de compuestos tóxicos y otras sustancias químicas que contaminan el agua según el informe de las Naciones Unidas (2017, p.1).

Pero también, varias industrias que rodean el río son la fuente fundamental de contaminación, ya que vierten grandes cantidades de residuos químicos, médicos y alimentarios en los ríos, lo que hace insostenible un impacto en la vida acuática, reduce la anchura del río y también oscureció el color del agua (Ladu John C. et al., 2018, p.1).

El desarrollo industrial rápido y no programado ha engendrado varios peligros humanos, incluida la contaminación del agua por metales pesados (Pb^{2+} y Hg^{2+}) y contaminantes orgánicos añadidos en gran parte por las operaciones agrícolas (aerosoles de plaguicidas) (Shahzadi Iqra et al., 2022, p.1).

La mayoría de los problemas del agua se descubren en base a las influencias que causan, especialmente en los entornos vulnerables: lagos, humedales en proceso de degradación, cuencas hidrográficas semiáridas y entornos costeros (Ondieki Christopher M., 2016, p.2).

Ante esto se describe a los contaminantes y desechos orgánicos como compuestos constituidos principalmente de carbono, hidrógeno y potencialmente otros elementos.

Los contaminantes orgánicos en fase líquida o gaseosa pueden incluir compuestos orgánicos volátiles (COV) en forma de disolventes, precursores e intermedios químicos, compuestos de petróleo, etc. (Lu F. y Astruc D., 2020, p.1). Los compuestos orgánicos sólidos pueden incluir lodos, colas de destilación, resinas, productos químicos, ceras, papel, plástico, madera, alimentos, etc. Y los contaminantes orgánicos también están presentes en la escorrentía de aguas pluviales, incluidos pesticidas, herbicidas y fungicidas, que se han utilizado ampliamente en actividades agrícolas (Senthil P. y Prasannamedha G., 2021, p.11).

Los contaminantes orgánicos incluyen la presencia de compuestos químicamente activos que se descargan de las industrias como se observa en la tabla n°1, detallando un ejemplo de alguno de los tipos de residuos orgánicos:

Tabla 1 Residuos químicos orgánicos y sus fuentes

Fuente	Tipo de residuo
Fabricación de productos químicos	Disolventes usados
	Materiales reactivos
Productos de limpieza	Disolventes usados
Industria de la construcción	Disolventes usados
Fabricación de cosméticos	Materiales inflamables
	Disolventes inflamables
Recuperación y refinado de petróleo crudo	Derrames de lodo de perforación
	Disolventes derramados
	Lodos de proceso
	Materiales inflamables
Fabricación y repintado de muebles	Disolventes usados
Productos de cuero	Residuos de disolventes
Generación de energía	Gases y polvo de carbón
	Residuos de la combustión (cenizas y escorias)
Industria gráfica	Disolventes usados
Mantenimiento de vehículos	Materiales inflamables
	Disolventes usados

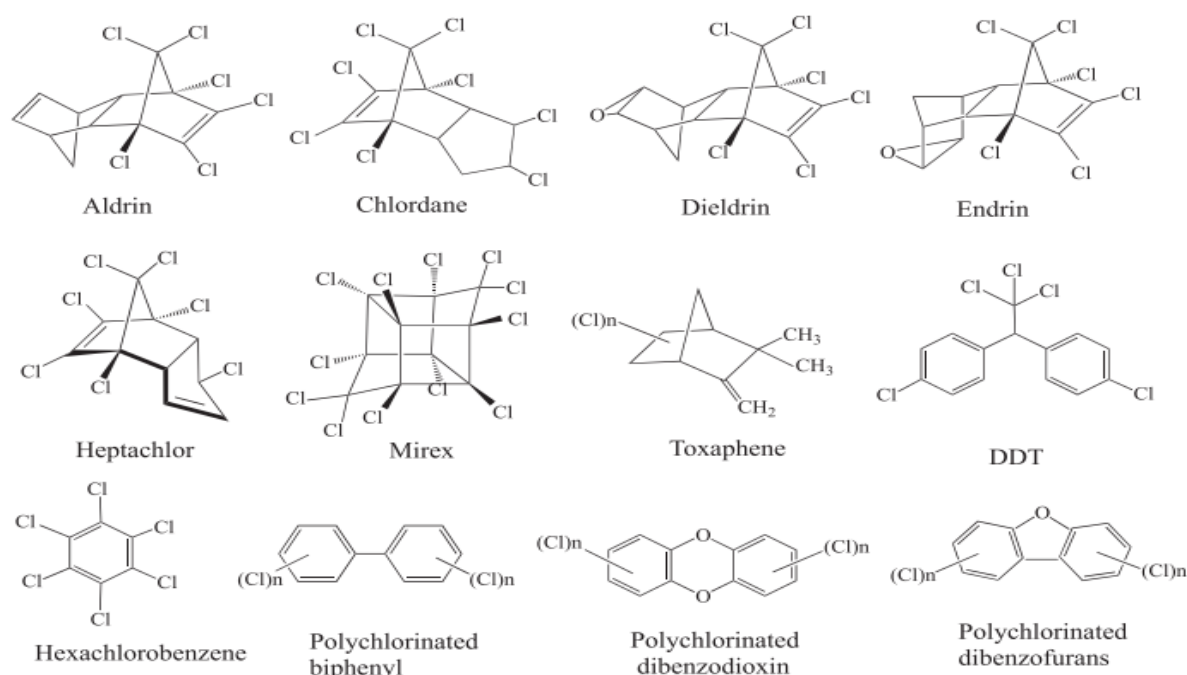
Fuente: Modificado de Speight J. G., (2017)

Estos residuos pueden llegar a aguas marinas a través de la migración desde la fuente por corrientes de agua, además, estos compuestos químicamente activos incluyen microplásticos, lixiviación de aditivos químicos y contaminantes orgánicos persistentes (Sharma C. y Negi Y., 2020, p.116). Los contaminantes orgánicos persistentes (COP) son contaminantes que provocan efectos peligrosos en los ecosistemas, siendo aumentado la lista de contaminantes orgánicos a 26 por el Convenio de Estocolmo (Ademollo Nicoletta et al., 2021, p.1).

Estas sustancias químicas son omnipresentes en el entorno del Ártico (Balmer Jennifer E. et al., 2019, p.1). Si bien, desde los años 80, los COP heredados han disminuido globalmente debido a su prohibición mundial; estas tendencias de disminución son cada vez menos significativas y, en algunos casos, sus concentraciones atmosféricas mostraron un aumento observable durante la década de 2000 (Vecchiato Marco et al., 2018, p.2).

Incluso los contaminantes orgánicos persistentes más recientes, como el sulfonato de perfluorooctano (PFOS), mostraron una tendencia creciente globalmente (aunque en un volumen absoluto inferior al de los contaminantes orgánicos persistentes de la década de 1980) (Skaar Joran S. et al., 2019, p.1). Es así que se muestra en la figura n°1 los principales contaminantes orgánicos persistentes (COP).

Figura N° 1 : Principales contaminantes orgánicos persistentes (COP)



Fuente: Lu F. y Astruc D., (2020)

La contaminación orgánica en el agua es causada por la aplicación de herbicidas, insecticidas y fungicidas que se han utilizado para el control de plagas y la agricultura; la principal preocupación con respecto a la contaminación orgánica en las aguas subterráneas son los “contaminantes orgánicos emergentes” (EOC) (Zhang Jihua et al., 2021, p.2).

Estos son los compuestos que se han desarrollado o descubierto recientemente debido a desarrollos analíticos y se han clasificado recientemente como contaminantes, sin embargo, los COE se han caracterizado en aguas superficiales y aguas residuales mejor que en entornos de aguas subterráneas (Noshin Masood, et al., 2021, p.1).

Estos compuestos orgánicos son ingeridos por algas verdes y pueden alterar los procesos de fotosíntesis (Agrawal S. et al., 2021, p.2). También afectan a los invertebrados y vertebrados marinos transfiriéndose como presas y la ingestión, retención y gestión son las principales interacciones físicas de los contaminantes orgánicos con la biota marina (Mei W. et al., 2020, p.2).

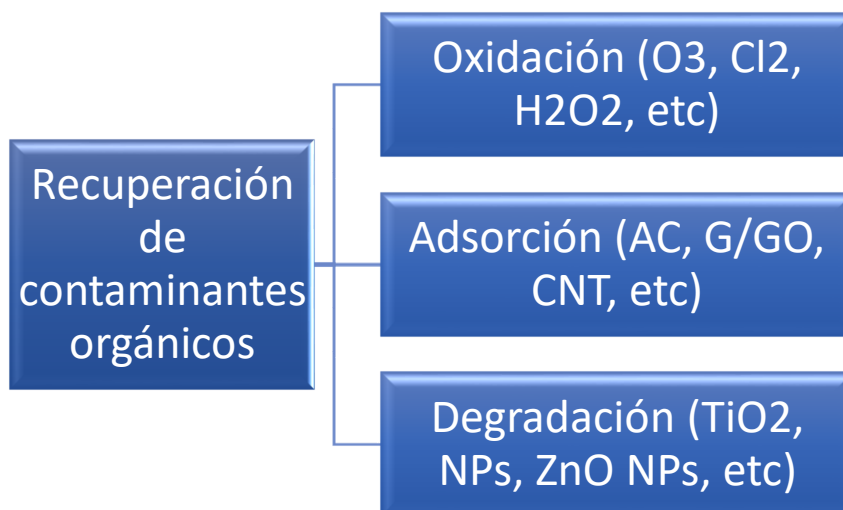
Estos procesos pueden afectar la salud nutricional de los organismos; allanan el camino para una reducción del crecimiento estructural, la madurez y la reproducción en muchas biotas marinas (Tsang D. et al., 2019, p.319).

Algunos estudios han informado que afectan los procesos de funcionamiento metabólico y endocrino intracelular; químicamente, dañan la actividad enzimática y la expresión génica y causan daño oxidativo que conduce a respuestas patológicas subletales en biología marina (Sarkar B. et al., 2021, p.2). Tras la ingestión, la modificación química de los compuestos orgánicos tiene lugar dentro de los organismos, lo que conduce a un aumento del tiempo de retención que puede resultar tóxico para ellos (Zhou Zhifang et al., 2021, p.1).

El agua es crucial para el mantenimiento del ciclo vital y debe ser preservada y excluida de todo tipo de contaminación; el cuerpo humano y otros organismos residentes la requieren, pero en su forma natural sin contaminación; debido a ello se busca emplear estrategias para la remediación de contaminantes orgánicos en el agua (Li Yanjie et al., 2020, p.4).

Ante ello se muestra la clasificación de recuperación de contaminantes orgánicos en el gráfico n°1.

Gráfico N° 1 Recuperación de contaminantes orgánicos



Fuente: Yu Fei et al., 2016

La adsorción se ha revelado como el método más eficaz e importante para eliminar los contaminantes del agua sin una contaminación potencial secundaria con un coste aceptable. Como método fisicoquímico rápido, eficiente y económico, la tecnología de adsorción se ha utilizado ampliamente en el tratamiento de aguas residuales durante años (Modak Arindam et al., 2020, p.1).

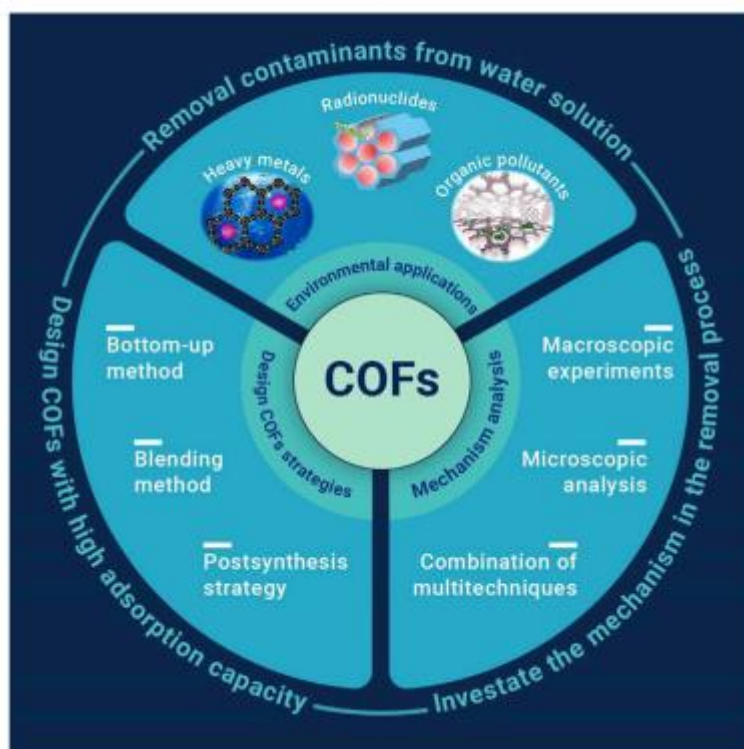
La eficacia de la adsorción depende en gran medida del tipo de adsorbato, del adsorbente y de las condiciones de funcionamiento (Lu Xiao Fan et al., 2019, p.2). Los mecanismos de adsorción de los contaminantes orgánicos se atribuyen principalmente a los mecanismos electrostáticos, p-p hidrofóbicas, ácido-base, interacciones de enlace H y van der Waals (Huang Lijin et al., 2020, p.3).

A causa de ello, las estructuras orgánicas covalentes (COF) son un nuevo tipo de materiales porosos cristalinos conocidos por su estabilidad química, alta superficie específica y canales porosos ordenados (Waller Peter et al., 2016, p.1). Donde, la química reticular de unir unidades de construcción orgánicas mediante fuertes enlaces covalentes para diseñar cristales con estructuras extendidas ha producido

varias clases nuevas de materiales porosos, y las estructuras orgánicas covalentes (COF) se han convertido en uno de los materiales más ampliamente investigados (Li Yifan et al., 2020, p.2).

Estos materiales cristalinos porosos son compuestos enteramente por elementos ligeros (es decir, B, C, N, O y Si) que están unidos por fuertes enlaces covalentes, como BO, CN, BN, BO-Si, CC y CN (Pyles David S. et al., 2016, p.2).

Figura N° 2 Mecanismos de interacción entre diversos contaminantes y los materiales de COFs



Fuente: Liu X. et al., (2021)

Como se muestra en la figura n°2, los COFs se emplean como adsorbentes superiores enfocados para la eliminación eficiente de iones de metales pesados tóxicos, radionúclidos y contaminantes orgánicos en agua; convirtiéndose así en un tema de gran interés.

Las unidades de construcción orgánicas utilizadas para formar elaborar las estructuras orgánicas porosas tienen características generales de rigidez en las estructuras y multiconectividad simétrica, que son requisitos previos para formar estructuras de poros regulares (Yang Zhiyuan et al., 2019, p.3). En particular, las estructuras y propiedades de las estructuras orgánicas porosas o COFs pueden ser

prediseñadas seleccionando cuidadosamente de los bloques de construcción y sus condiciones de ensamblaje (Fu Qin et al., 2018, p.1).

Debido a ello, en la actualidad, los COF vienen atrayendo un interés multidisciplinario debido a sus excelentes propiedades y aplicaciones generalizadas, como en adsorción, almacenamiento y separación de gases, catalizadores heterogéneos, almacenamiento de energía, sensores fotoeléctricos, y administración de fármacos (Wu Ming X. y Yang Y., 2017, p.3). Es así que se realizaron investigaciones de diversos estudios a nivel internacional y nacional, detallando los 20 más relevantes en la tabla 2.

Tabla 2 Antecedentes Nacionales e internacionales

Objetivo	Metodología	Resultado	Fuente
Aprovechar la ventaja intrínseca de los marcos orgánicos covalentes (COF) y desarrollar COF fluorescentes para aplicaciones de detección.	Como prueba de concepto, un material COF funcionalizado con tioéter, COF-LZU8, se integró "de abajo hacia arriba" con multifuncionalidad para la detección selectiva y la eliminación fácil de mercurio (II).	La eliminación eficiente de Hg ²⁺ del agua y el reciclaje de COF-LZU8 ofrece la posibilidad de aplicaciones prácticas. Además, la espectroscopia de fotoelectrones de rayos X y las investigaciones de RMN de estado sólido verificaron la interacción fuerte y selectiva entre Hg ²⁺ y los grupos tioéter de COF-LZU8. Esta investigación no solo demuestra la utilización de COF fluorescentes para detectar y eliminar iones metálicos, sino que también destaca la fácil construcción de COF funcionalizados para aplicaciones ambientales.	Ding S. et al., 2016
Diseñar estructuras orgánicas covalentes	En un tubo Pyrex (10 mL) se desgasificó mediante tres ciclos de congelación y	La estructura resultante es estable en condiciones ácidas y básicas fuertes, posee un	Huang Ning et al., 2017

porosas estables para la eliminación de Hg (II) a través de un elaborado diseño estructural y control sobre el esqueleto, el tamaño de los poros y las paredes de los poros.

descongelación. El tubo se selló y se calentó a 120 °C durante 3 días. El precipitado se recogió por centrifugación y se lavó con THF anhidro cinco veces y con acetona dos veces. El polvo se secó a 120 °C al vacío durante una noche para obtener la estructura porosa en un rendimiento aislado del 84%.

El área superficial alta, tiene mesoporos grandes y contiene terminales funcionales de sulfuro densos en las paredes de los poros. Estas características estructurales trabajan juntas para eliminar el Hg (II) del agua y lograr un sistema de referencia que combina capacidad, eficiencia, efectividad, aplicabilidad, selectividad y reutilización.

Elaborar un método verde y fácil sin solventes ni catalizadores, sin protección de gas inerte y / o trituración mecánica para sintetizar una estructura orgánica covalente ligada a azina (ACOF) con alta eficiencia.

Se realizó en 4 pasos; la síntesis del 1,3,5-trifloroglucinol (TFP), la síntesis de la estructura orgánica covalente ligada a azina (ACOF), la preparación de la solución madre de U(VI) o de Hg(II) y de la solución multiión y por último el experimentos de adsorción por lotes de U(VI) o Hg(II) adsorción.

Las técnicas de caracterización y los experimentos muestran que el ACOF sintetizado tiene una alta cristalinidad y una estabilidad física y química superior y exhibe un buen rendimiento de adsorción tanto para el metal pesado radiactivo U (VI) como para el metal pesado ordinario Hg (II), con capacidades de adsorción de 169 mg g⁻¹ para U (VI) y 175 mg g⁻¹ para Hg (II), lo que convierte al ACOF en un material adsorbente potencial para la eliminación de metales pesados y el reciclaje de uranio.

Li Xing et al., 2019

Elaborar una estructura orgánico metal-orgánico a base de zinc-5 (MOF-5) y

Un nuevo MOF-5 / COF (M5C) se preparó y caracterizó material híbrido mediante infrarrojo por

Se encontró que los datos de adsorción en equilibrio seguidos por la isoterma de Langmuir y el proceso cinético de

Firoozi M. et al., 2020

marco orgánico transformada de adsorción eran un covalente Fourier, microscopía modelo de pseudo-conjugado π electrónica de barrido segundo orden. La bidimensional por emisión de campo, robustez y eficacia de intergrado basado difracción de rayos X y adsorción de los híbridos en melamina- análisis MOF / COF se puede tereftaldehído termogravimétrico. El atribuir a la formación de (COF) MOF-5 / COF enlaces amida entre COF preparado se aplicó y MOF, que mejoran la como un adsorbente estabilidad del eficaz para la adsorbente. eliminación simultánea rápida y de alta eficiencia de colorantes catiónicos de auramina O (AO) y rodamina B (RB) mediante interacciones electrostáticas, enlaces H, ácido de Lewis y base π - π apilamiento a partir de solución acuosa.

Sintetizar un Se realizó una mezcla Las capacidades Li Wei tao marco orgánico de tetra-(4 aminofenil)- máximas de adsorción de et al., cristalino poroso metano, el 2,4,6 167,19 mg g⁻¹ y 135,60 2019 (POF) que triformilfloroglucinol, el mg g⁻¹ se alcanzan hacia los iones Hg (II) y pertenece a la dioxano y el ácido Cu (II), respectivamente. topología ctn acético y se sonicó Además, el modelo de (POFct-1) para durante 20 min para isoterma de Langmuir eliminar una dispersión más el modelo cinético selectivamente los homogenea. de pseudo-segundo iones Hg (II) y Cu (II) pueden describir bien el proceso de adsorción de POFct-1. (II). Posteriormente, la mezcla se añadió a la ampolla, se congeló se desgasificó tras tres ciclos de congelación y descongelación, y se selló con fuego.

<p>Desarrollar varios marcos orgánicos covalentes (COF) para la detección y eliminación simultáneas de mercurio</p>	<p>Se diseñó un nuevo COF altamente luminiscente llamado TFPPy-CHYD con un rendimiento cuántico del 13,6% mediante la integración de un bloque de construcción a base de pireno con un enlazador de carbohidrazida flexible.</p>	<p>TFPPy-CHYD exhibe un excelente desempeño en la remoción de mercurio tanto del aire como del agua, proporcionando capacidades de adsorción de Hg 0 y Hg 2+ muy altas de 232 y 758 mg g⁻¹, respectivamente.</p>	<p>Cui Wei Rong et al., 2019</p>
<p>Desarrollar un superadsorbente para la eliminación de iones Hg 2+ de soluciones acuosas.</p>	<p>Se sintetizó una nanoaguja a base de anillo de triazina covalente porosa a través de un método hidrotermal fácil. La estructura y morfología del adsorbente basado en anillos de triazina covalente sintetizado se caracterizaron mediante diferentes técnicas.</p>	<p>La capacidad de adsorción ultra alta, la estabilidad química y la cinética de adsorción rápida hacen que la estructura orgánica covalente sintetizada a base de triazina sea un candidato adecuado para la eliminación de iones Hg 2+ de los efluentes industriales.</p>	<p>Afshari M. et al., 2020</p>
<p>Modificar estructuras orgánicas covalentes postsintéticamente para eliminar mercurio</p>	<p>El diseño de prueba de concepto se ilustra mediante la modificación de derivados de azufre en un COF mesoporoso funcionalizado con vinilo (COF-V) de nuevo diseño mediante la reacción de "clic" de tiol-eno.</p>	<p>De manera representativa, el material (COF-S-SH) sintetizado mediante el tratamiento de COF-V con 1,2-etanoditiol exhibe una alta eficiencia para eliminar el mercurio de las soluciones acuosas y el aire, proporcionando Hg 2+y capacidades de Hg 0 de 1350 y 863 mg g⁻¹, respectivamente, superando todas las de los materiales funcionalizados con tiol y tioéter reportados hasta el momento.</p>	<p>Sun Qi et al., 2017</p>

Eliminar Hg (II) de aguas residuales simuladas	Se preparó una nueva estructura orgánica covalente funcionalizada con tiol (COF-S-SH) como adsorbente para la eliminación simultánea de BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) y el ión Hg (II) del agua.	El nuevo adsorbente mostró una alta capacidad de unión con las máximas capacidades de adsorción (Q max) de 150,2-255,8 mg / g para BTEX y 588,2 mg / g para Hg (II); en las aguas residuales simuladas con eficiencias de eliminación de 63,6, 82,1, 94,6, 95,3 y 94,1% para benceno, tolueno, etilbenceno, m-xileno y Hg (II), respectivamente.	Li Yifan et al., 2020
La evaluación del TPB-DMTP-COF-SH cuidadosamente diseñado se aborda como un sistema eficaz y selectivo para la sorción de mercurio.	Estructura orgánica covalente ligada a imina ([HC [enlace triple, longitud como m-guión]C] 0.5 -TPB-DMTP-COF), dotada de grupos etinilo reactivos en las paredes de poros unidimensionales, se ha utilizado como plataforma para la ingeniería de superficies de paredes de poros con triazol y grupos tiol para producir TPB-DMTP-COF-SH , que es adecuado para interactuar de manera muy eficiente con iones de mercurio.	El valor de retención de TPB-DMTP-COF-SH de Hg (II) del agua es del 99,98% en 2 minutos y su capacidad de absorción récord es de 4395 mg g ⁻¹ , que representa el valor más alto informado hasta ahora.	Merí bofi L. et al., 2017
Presentar un SO 3 - covalente marco orgánico -anclada para la eliminación de la	En este documento se informó sobre un buen adsorbente poroso para la eliminación de la contaminación por	El adsorbente de [NH 4] + [COF – SO 3 -] permite una capacidad de adsorción ultra alta de Hg 2+ de hasta 1299 mg / gy	Tao Yuan et al., 2020

contaminación por mercurio.	mercurio compuesto tanto por Hg 2+ como por Hg 0	una absorción registrada de 932,6 mg / g de Hg 0 entre todos los adsorbentes sólidos porosos reportados para tales usar.	
Elaboración asistida por microondas de estructuras orgánicas porosas mediante a base de melamina porosa decorada con Fe 3 O 4 para una eliminación altamente selectiva de Hg 2+	Se fabricaron fácilmente estructuras orgánicas covalentes a base de melamina (M-COF) magnéticas bien dispersas decoradas con Fe 3 O 4 mediante un proceso asistido por microondas.	El resultado mostró que los M-COF magnéticos poseen grandes áreas de superficie de 344–600 m ² g ⁻¹ y un buen rendimiento de separación magnética (M _S = 0,75–3,59 emu g ⁻¹). Las propiedades de adsorción se probaron preliminarmente mediante la eliminación por adsorción de iones de metales pesados del agua residual.	Ge Jinlong et al., 2016
Desarrollar COF magnéticos altamente eficientes junto con una cinética de adsorción rápida y una alta capacidad de adsorción	Se diseñaron y sintetizaron estructuras orgánicas covalentes magnéticas funcionalizadas con tiol (M-COF-SH) con abundantes sitios quelantes accesibles utilizando derivado disulfuro como bloques de construcción y posteriormente cortando el enlace disulfuro.	Impresionantemente, el compuesto resultante exhibió una capacidad máxima de adsorción de Hg 2+ tan alta como 383 mg g ⁻¹ . Además, también muestra una cinética rápida, donde el equilibrio de adsorción se puede lograr en 10 min. Más importante aún, no hay una pérdida significativa de su rendimiento de adsorción incluso después de reciclar 5 veces.	Huang Lijin et al., 2020
Usar un material de estructura orgánica covalente porosa sintonizable (COF) para el crecimiento	Se utilizó un material de estructura orgánica covalente porosa sintonizable (COF) como soporte para el crecimiento in situ de	Las nanopartículas metálicas de material compuesto de Ag mostró una alta tasa de eliminación (99%), una utilización ultra alta de	Wang Longlong et al., 2020

in situ de nanopartículas metálicas (NP)	NP de Ag a través de un método de infiltración de solución en un solo paso, para mejorar la dispersión espacial de las NP y su estabilidad en solución ácida, y por primera vez estudiando el rendimiento de la adsorción de mercurio.	átomos de Ag (150%), una alta selectividad y estabilidad, y reutilización para la eliminación de Hg (II) de soluciones acuosas ácidas.	
Preparación de estructura orgánica covalente funcionalizada con carboxi para la eliminación eficiente de Hg 2+ y Pb 2+ del agua	Se ha preparado un marco orgánico covalente funcionalizado con carboxi COOH COF para la eliminación eficaz de los iones Pb 2+ y Hg 2+ del agua.	Este COOH COF presenta excelentes capacidades de adsorción para Pb 2+(123,8) y Hg 2+ (99,1 mg / g) en agua. En particular, el COOH COF se puede reciclar 20 veces sin pérdida de la capacidad de adsorción en agua, mostrando su potencial latente para aplicaciones prácticas en el futuro.	Lu Xiao Fan et al., 2019
Elaborar estructuras orgánicas porosas covalentes a base de amidas para la eliminación eficiente y reciclable de plomo de metales pesados (II)	Se sintetizan dos materiales COF a base de amida mediante una reacción de polimerización de cloruro de acilo y grupos amino mediante molienda mecánica de bolas a temperatura ambiente para la eliminación de Pb 2+ como adsorbentes. Se seleccionan dos tipos de monómeros de diamina para construir COF con diferente estructura marco y	El mayor contenido de grupos amida en COF-TE conduce a su mayor capacidad de adsorción saturada de 185,7 mg / g que COF-TP de 140,0 mg / g. Finalmente, la gran estabilidad de reciclaje de la adsorción de Pb 2+ permite que los materiales COF basados en amidas sean adsorbentes prometedores para la eliminación o recuperación de metales pesados Pb 2+ .	Li Guiliang et al., 2019

contenido de grupos funcionales, es decir, COF-TP a partir de diamina aromática y COF-TE a partir de diamina lineal.

<p>Determinar la eficiencia de la estructura orgánica covalente funcionalizada con sulfhidrilo como un adsorbente eficaz para la eliminación selectiva de Pb (II)</p>	<p>Se sintetizó un nuevo COF mediante un método de suspensión-solución solvotérmica suave para la eliminación eficiente del Pb (II) de la solución acuosa.</p>	<p>El COF funcionalizado con sulfhidrilo (COF-SH) alcanzó los equilibrios de adsorción en 48 horas y tuvo una capacidad máxima de adsorción para Pb (II) de 239 mg / g según el ajuste de Langmuir. La capacidad de adsorción de COF-SH para la remoción de Pb (II) es mucho mayor que la de otros adsorbentes convencionales, como el carbón activado de caparazón y la resina.</p>	<p>Cao ying et al., 2020</p>
<p>Determinar como el novel N -riched cristalina marco orgánico covalente triazina sirve como un adsorbente ideal para eliminar el cadmio de las soluciones acuosas</p>	<p>El marco orgánico covalente cristalino rico en N (COF) se preparó mediante la condensación de 2,4,6-tris (hidrazino) - 1,3,5-triazina y 2,4,6-tris (p-formilfenoxi) - 1,3,5.</p>	<p>El COF eliminó el cadmio de las soluciones acuosas con una alta capacidad de adsorción de aproximadamente 396 mg- 1 .</p>	<p>Dinari M. et al., 2019</p>
<p>Se evaluó un marco orgánico covalente (COF) estable al agua como adsorbente de la toxina hidrófoba ácido okadaico</p>	<p>En todos los experimentos con OA se usó una dispersión de COF de 1 mg mL⁻¹ en agua de mar sintética. Primero se estabilizó el COF en medio acuoso, se realizaron ensayos de desorción y por último las pruebas de</p>	<p>La cinética de adsorción del ácido okadaico en el COF en agua de mar mostró que la concentración de equilibrio se alcanzó en solo 60 min, con una adsorción experimental máxima de 61 mg g⁻¹. La desorción del ácido okadaico del COF tuvo</p>	<p>Salonen I. et al., 2017</p>

reciclado y éxito con etanol al 70% y cuantificación del acetoniitrilo como ácido okadaico. disolvente, y el material COF pudo reutilizarse con pérdidas menores en la capacidad de adsorción durante tres ciclos.

Se evaluó una estrategia de clic de tiol-eno para la preparación de un nuevo marco orgánico covalente funcionalizado con ácido fenilborónico (COF) para la eliminación selectiva de catecol en solución acuosa.

Se preparó 2,5-dialiloxitereftalaldehído (Da-V) funcionalizado con vinilo como ligando de construcción. A continuación, se condensó Da-V con 1,3,5-tris (4-aminofenil) benceno (Tab) para dar un COF DhaTab-V funcionalizado con vinilo. Posteriormente, el ácido 4-mercaptofenilborónico (4-MPBA) se unió covalentemente en DhaTab-V mediante la reacción de clic tiol-eno para dar COF DhaTab-PBA funcionalizado con ácido fenilborónico.

El reconocimiento del ácido fenilborónico, la interacción $\pi - \pi$ y la estructura porosa de COF hace que DhaTab-PBA sea prometedor para la eliminación de catecol del agua ambiental con una gran capacidad de adsorción, así como una buena selectividad de adsorción y reutilización.

Ji Shi et al., 2019

Elaboración propia

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipos de diseño de investigación

El tipo de investigación aplicada es aquel que usa o emplea modelo de estudios realizados como base para adquirir conocimientos y elaborar uno con dicho modelo, teniendo como finalidad resolver un problema central (Gutiérrez, 2016, p.1). Es así que en el presente estudio se aplicó el tipo de investigación aplicada, ya que se recaudó artículos científicos recientes para brindar el sustento y resolver con ellos el objetivo de los aspectos más relevantes de la aplicación de estructuras orgánicas porosas para la adsorción de contaminantes orgánicos de medios acuosos.

El diseño es narrativo, siendo esto descrito por Blando M., (2011, p.138), como un diseño que permite entender los hechos realizados por investigadores en otros estudios; esto es; narrar los sucesos generados en un estudio donde intervienen personas y espacios de tiempo; ello permite que los investigadores puedan comprender una situación y resolver una problemática. Es así que en este trabajo de investigación se realizó la descripción teórica de la metodología realizada por las diversas literaturas seleccionadas para incluir al estudio, desarrollando la solución de Cuáles son los aspectos más relevantes de la aplicación de estructuras orgánicas porosas para la adsorción de contaminantes orgánicos de medios acuosos.

3.2. Categoría, Subcategoría y matriz de categorización apriorística

Las categorías y sub categorías de este estudio fueron plateadas en base a la solución de los problemas y objetivos específicos; siendo estos instrumentos a priori que se seleccionaran de los conocimientos adquiridos de estudios ya realizados. (Ver tabla 3.

Tabla N° 3 Matriz apriorística

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	CATEGORÍA	SUB CATEGORÍA	CRITERIO 1	CRITERIO 2
Analizar el rendimiento de adsorción de los contaminantes orgánicos del medio acuoso aplicando estructuras orgánicas	¿Cuál es el rendimiento de adsorción de los contaminantes orgánicos del medio acuoso aplicando estructuras orgánicas?	Rendimiento de adsorción de los contaminantes orgánicos Lu Xiao Fan et al., (2019, p.2)	-La capacidad de adsorción -Al tipo de contaminante Sharma C. y Negi Y., (2020, p.116)	De acuerdo al material usado	De acuerdo a tiempo de adsorción
Detallar el mecanismo de adsorción de las estructuras orgánicas porosas para la adsorción de contaminantes orgánicos de medios acuosos	¿Cuál es el mecanismo de adsorción de las estructuras orgánicas porosas para la adsorción de contaminantes orgánicos de medios acuosos?	Mecanismo de adsorción de las estructuras orgánicas porosas Waller Peter et al., (2016, p.1)	-Los grupos funcionales -Atracción electrostática Skaar Joran S. et al., (2019, p.1)	De acuerdo a la cantidad de veces presente en cada estudio	De acuerdo al tiempo de equilibrio en el que ocurre la adsorción
Clasificar la cinética de adsorción más usada para determinar la velocidad de adsorción de los contaminantes orgánicos de medios acuosos aplicando estructuras orgánicas porosas	¿Cuál es la cinética de adsorción más usada para determinar la velocidad de adsorción de los contaminantes orgánicos de medios acuosos aplicando estructuras orgánicas porosas?	Cinética de adsorción más usada para determinar la velocidad de adsorción de los CO (Yang Zhiyuan et al., (2019, p.3)	-Cinética de adsorción lenta -Cinética de adsorción rápida Zhu Donghai et al., (2020, p.4).	De acuerdo al material empleado	De acuerdo al contaminante

Elaboración propia

3.3. Escenario de estudio

Al ser una revisión sistemática el escenario de estudio pasará de ser un entorno en físico del presente estudio a al lugar de los estudios que serán recolectados, siendo estos los laboratorio y lugares de campos presentados en cada artículo, donde se realizaron las aplicaciones de estructuras orgánicas porosas para la adsorción de contaminantes orgánicos de medios acuosos.

3.4. Participantes

En el presente trabajo de investigación se clasificaron un grupo de estudios literarios actuales, presentando todos ellos un escenario en común, siendo las plataformas virtuales, como bibliotecas electrónicas y red de revistas científicas considerados como los participantes debido a que fueron estas plataformas quienes permitieron que se realice el acceso y extracción de diversas literaturas, siendo únicamente los considerados artículos científicos

Entre los participantes usados se consideraron únicamente las siguientes plataformas indizadas: Scencedirect, Redalyc y Pubmed.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

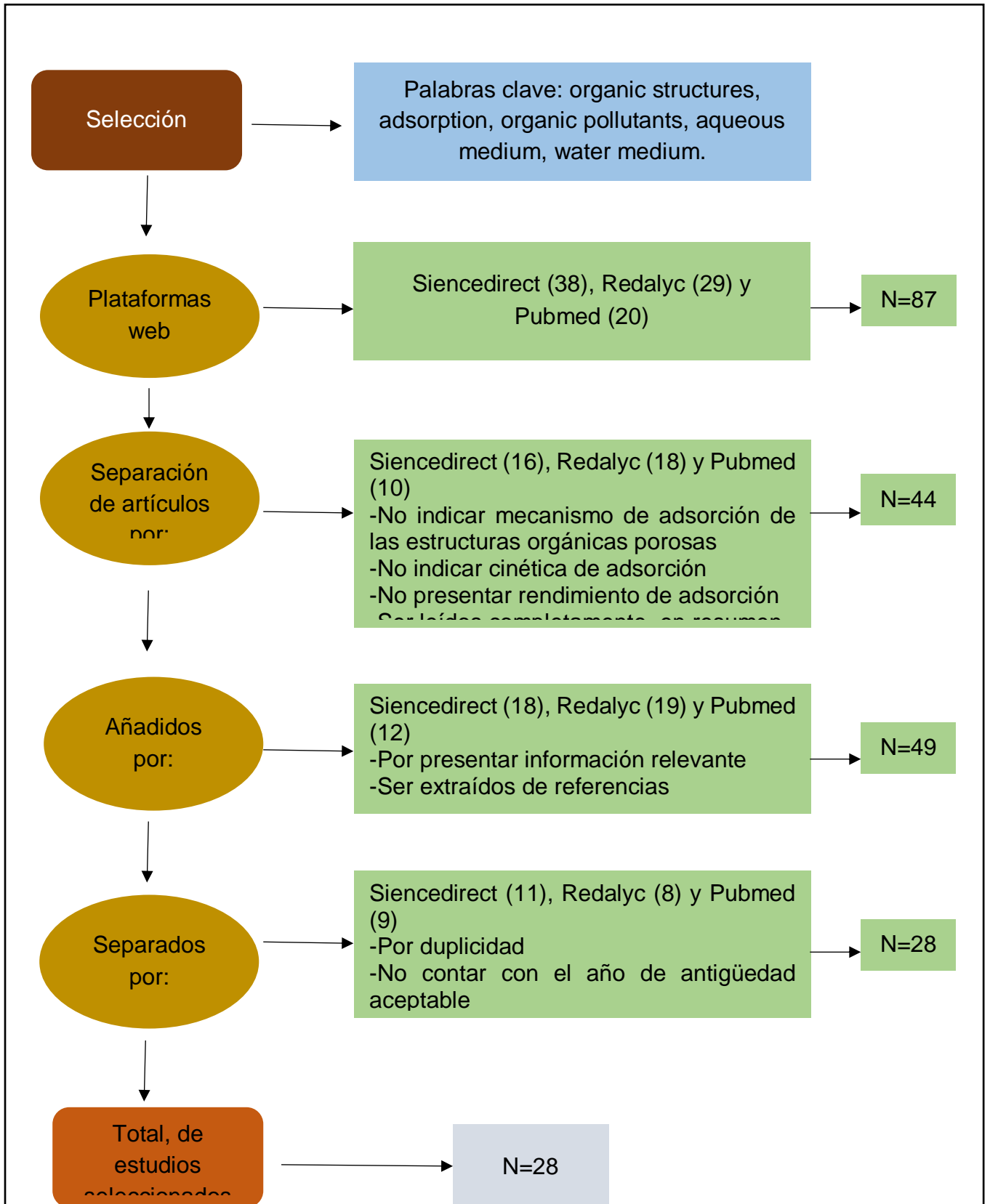
En este estudio se realizó la recopilación y análisis de diversas literaturas aplicando la técnica de análisis documental, ya que, con esa técnica se aplica los conocimientos para sintetizar la información más relevante de los estudios elegidos; y generando una síntesis de lo que sería el documento original, facilitando así su recuperación.

Dicha técnica usada fue realizada mediante la ficha de análisis de contenido; el cual es el instrumento de recolección de datos usada.

3.6. Procedimiento

El procedimiento mostrado en el gráfico 2 detalla los pasos que se siguieron para llegar a la selección de los artículos añadidos al estudio.

Gráfico N° 2 Procedimiento de selección de artículos al estudio



Elaboración propia

3.7. Rigor científico

El rigor científico es la manera como se controla y evaluar el cumplimiento de diversos aspectos de la metodología científica de un estudio; siendo así que el presente estudio cumplió con 4 criterios científicos que permiten asegurar que se cumplió con el rigor científico; los criterios son de acuerdo con (Hernández, 2014, p. 455):

La credibilidad; este es el criterio donde el investigador vuelve a los hechos revisándolos para tener la certeza y confirmar los datos del estudio o en algunos casos para extraer información faltante. Este criterio se obtuvo la revisión los estudios de fuentes indizadas las cuales nos permiten tener la seguridad que los datos son confiables y verídicos.

La transferencia; es el criterio que aplica a que tan bien un investigador puede trasladar la información de un estudio a otro, y esto lo evalúa y aprueba el lector; para ello se debe realizar un correcto análisis y transferencia de la información, siendo esencial los conocimientos previos. Este es aplicado mediante la correcta forma de citar a los autores de los estudios de investigación, permitiendo con esto que la información sea para el lector más segura, pudiendo encontrarla mediante las referencias con los datos de autor y la página de cada estudio, demostrando la veracidad de los datos.

Conformabilidad; este criterio se encuentra enfocado en el investigador, siendo este el que indique que los resultados que presente siguiendo la información de otro pueda concluir en el mismo resultado o uno similar; para ello el autor debe brindar la mayor información posible. Este criterio se consiguió detallando la metodología de la investigación, que fue dejada y detallada, así como cada uno de los estudios usados a lo largo del trabajo.

Dependencia; este criterio se enfoca en la estabilidad del informe y es un criterio que tiene discusión entre los investigadores; debido a que es difícil o casi imposible que los datos de un contexto real sean no varíen. Este criterio se buscó conseguir brindando la mayor información en las tablas de resultados.

3.8. Método de análisis de información

El método de análisis se obtuvo aplicando diversas técnicas como lo indica el método de triangulación; es así que mediante el uso de esta técnica se estudió, analizó y

sintetizo información para resolver la problemática planteada; esto también fue dado mediante el uso de la matriz apriorística, siendo la matriz que nos permitió realizar la elaboración de categorías y sub categorías como datos específicos para una mayor exactitud de los resultados. Entre las categorías se detallan 3:

- a) Rendimiento de adsorción de los contaminantes orgánicos
- b) Mecanismo de adsorción de las estructuras orgánicas porosas
- c) Cinética de adsorción más usada para determinar la velocidad de adsorción de los CO

Así mismo se planteamos sus respectivas sub categorías: a) La capacidad de adsorción, Al tipo de contaminante. b) Los grupos funcionales, Atracción electrostática y c) Cinética de adsorción lenta, Cinética de adsorción rápida.

3.9. Aspectos éticos

Los aspectos éticos que se cumplieron en la realización de este estudio científico, fueron:

Respeto a la autoría: Detallando mediante la Norma ISO 690 cada autor que fu citado

Autenticidad: Demostrando mediante el programa turnitin la originalidad de la información plasmada a lo largo del estudio

Respeto del código de ética: Cumpliendo con lo estipulado por la guía de productos observables de la Universidad Cesar Vallejo

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la búsqueda de determinar los aspectos más relevantes de la aplicación de estructuras orgánicas porosas para la adsorción de contaminantes orgánicos de medios acuosos se buscó resolver 3 objetivos específicos; siendo una de ellas, analizar el rendimiento de adsorción de los contaminantes orgánicos del medio acuoso aplicando estructuras orgánicas, donde los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla N° 4 Rendimiento de adsorción de los contaminantes orgánicos

Estructura orgánica porosa (material)	Tipo de contaminante	Tiempo de equilibrio de adsorción (min.)	Capacidad de adsorción (mg/g)	Autor (es)
COF-LZU8	Hg (II)	No indica	236	Ding S. et al., 2016
TAPB-DMTPA-COF	Hg (II)	5	734	Huang Ning et al., 2017
ACOF	Hg (II)	5	175	Li Xing et al., 2019
	U (VI)		169	
TpODH	Hg (II)	~ 200	1692	Firoozi M. et al., 2020
	Cu (II)		324	
POFct-1	Hg (II)	720	167,19	Li Wei tao et al., 2019
	Cu (II)		135,60	
TFPPy-CHYD	Hg (II)	5	758	Cui Wei Rong et al., 2019
T-COF	Hg (II)	15	1826	Afshari M. et al., 2020
COF-S-SH	Hg (II)	10	1350	Sun Qi et al., 2017
	Hg ⁰	3 días	863	
COF-S-SH	Hg (II)	<50	588,2	Li Yifan et al., 2020
TPB-DMTP-COF-SH	Hg (II)	2	4395	Merí bofi L. et al., 2017

COF-SO₃H	Hg (II)	10	1299	Tao Yuan et al., 2020
[NH₄⁺] [COF-SO₃⁻]	Hg	12 h	932,6	
Fe₃O₄ / M-COF	Hg (II)	80	97,65	Ge Jinlong et al., 2016
M-COF-SH	Hg (II)	20	383	Huang Lijin et al., 2020
Ag NPs @ COF-LZU1	Hg (II)	30	113	Wang Longlong et al., 2020
COF-TP	Pb 2+	~ 24 horas	140	Lu Xiao Fan et al., 2019
COF-TE	Hg 2+		185,7	
COOH COF	Pb (II)	5	123,8	Li Guiliang et al., 2019
	Hg (II)		99,1	
COF-SH	Pb (II)	No indica	239	Cao ying et al., 2020
COF enriquecido con N	Cd (II)	20	396	Dinari M. et al., 2019
TpBD-Me 2 -COF	ácido okadaico	60	279.0	Salonen I. et al., 2017
DhaTab-PBA	catecol	40	160,0	Ji Shi et al., 2019
gC 3 N 4 nanohojas	UE (III)	<420	155	Liao Qing et al., 2018
Fe₃O₄ @TpBD	BPA	5	160,6	Li Yang et al., 2017
Fe₃O₄ @TpND	BPA	10	115,0	Wei Dongli et al., 2020
TPT-DMBD-COF	MB	60	45,5	Huo Jianqiang

				et al., 2019
TPB-DMTP-COF	sulfamerazina	80	209,0	Zhuang S., Liu Y. y Wang J., 2020
TPB-DMTP-COF magnético	diclofenaco	50	109,0	Zhuang Shuting et al., 2020
NCCT	cefotaxima	8 h	309,3	Li Zehao et al., 2020
COF	2-nitrofenol	90	239,9	Gao Manjie et al., 2019

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 4, para analizar el rendimiento de adsorción de los contaminantes orgánicos del medio acuoso aplicando estructuras orgánicas, se tiene que el rendimiento presenta una capacidad de adsorción mayor en tiempos menores a 60 minutos; siendo ello demostrado por el 66% de los investigadores, donde este tiempo muestra el óptimo equilibrio de adsorción; mientras que el 34% restante aplican tiempos mayores de 80 minutos y días. Así mismo la capacidad de adsorción de las estructuras orgánicas porosas es de 100 a 500 mg/g de contaminante en su mayoría.

Li Yang et al., (2017), en su estudio preparó nanoesferas de estructura orgánica covalente magnética núcleo-capa para una adsorción y eliminación eficientes de bisfenoles en solución acuosa; manifestando que esta estructura orgánica exhibe una alta estabilidad y un excelente rendimiento para la eliminación de una clase típica de sustancias químicas disruptoras endocrinas, las sustancias químicas bisfenol, en solución acuosa.

Ello es confirmado por: Sun Qi et al., (2017), donde en su estudio presentó como tiempo de equilibrio de adsorción 10 minutos para el Hg⁺² y obtuvo una capacidad de adsorción de 1350 mg/g, mientras que para el Hg⁰ tuvo un tiempo de equilibrio de adsorción de 3 días y obtuvo una menor capacidad de adsorción de 863 mg/g.

También Tao Yuan et al., (2020), lo confirma con un tiempo de equilibrio para el Hg⁺² de 10 min. generando una capacidad de adsorción de 1299 mg/g y para el Hg 12 horas teniendo una capacidad menor de adsorción de 932.6 mg/g.

Firoozi M. et al., (2020), manifiesta que estructuras orgánicas porosas como el TpODH presentan gran cantidad de oxígeno y nitrógeno en su estructura lo que permite que este compuesto presente sinergia electrostática y coordinación para los iones metálicos, es decir, Hg 2+ (1,692 mg/g) y Cu 2+ (324 mg/g), como se muestra en la tabla 4. Así mismo, Li Wei tao et al., (2019), usa como estructura orgánica porosa al POFct-1, el cual presenta en su estructura O y N.

Por otro lado, el mercurio es uno de los contaminantes más estudiados del medio acuoso por los investigadores para aplicar en las estructuras orgánicas porosas; ello debido a que, los compuestos orgánicos y los materiales a base de estos compuestos con presencias altas de contenidos de O, N o S tienen un buen efecto sobre la adsorción de Hg.

Es así comprobado por los siguientes autores: Huang Ning et al., 2017, quien usa TAPB-DMTTPA-COF con alta presencia de N y S; así mismo Li Xing et al., (2019), Cui Wei Rong et al., (2019), Afshari M. et al., (2020), Sun Qi et al., (2017), Li Yifan et al., (2020), Merí bofí L. et al., (2017), Tao Yuan et al., (2020), Ge Jinlong et al., (2016) y Wang Longlong et al., (2020).

Lu Xiao Fan et al., (2019), afirma que esta estructura orgánica COOH COF presenta excelentes capacidades de adsorción para Pb 2+(123,8) y Hg 2+ (99,1 mg / g) en agua, y en particular, el COOH COF se puede reciclar 20 veces sin pérdida de la capacidad de adsorción en agua, mostrando su potencial latente para aplicaciones prácticas en el futuro.

Ello es también apoyado por Tao Yuan et al., (2020), en la tabla 4, quien en su estudio realizó una comparación de la adsorción de la contaminación por mercurio aplicando estructura orgánica porosa SO₃; donde el adsorbente de [NH₄]⁺ [COF – SO₃⁻] permite una capacidad de adsorción ultra alta de Hg 2+ de hasta 1299 mg / gy una absorción registrada de 932,6 mg / g de Hg 0 entre todos los adsorbentes sólidos porosos reportados para tales usar. Manifiesta también, que el adsorbente también muestra un gran reciclado sin cambios detectables de captura de Hg 2+ y daño estructural incluso después de cuatro reciclados. Esta notable capacidad de adsorción junto con la cinética de adsorción rápida, la fuerte afinidad de unión, la alta selectividad y el buen uso de reciclado lo convierten en un buen adsorbente sólido para el mercurio.

Del mismo modo, se buscó detallar el mecanismo de adsorción de las estructuras orgánicas porosas para la adsorción de contaminantes orgánicos de medios acuosos, mostrando los resultados del análisis sistemático de los 28 estudios en la tabla 5.

Tabla N° 5 Mecanismo de adsorción de estructuras orgánicas porosas

Estructura orgánica porosa (material)	Tiempo de equilibrio de adsorción (min)	Mecanismo de adsorción	Autor (es)
COF-LZU8	-	coordinación de átomos de Hg y S (grupos tioéter); interacción electrostática	Ding S. et al., 2016
TAPB-DMTPA-COF	5	coordinación de átomos de Hg y S (grupos tioéter)	Huang Ning et al., 2017
ACOF	5	interacción entre los grupos de Hg y ceto (C = O)	Li Xing et al., 2019
TpODH	~ 200	coordinación de átomos de Hg y O y N; interacción electrostática	Firoozi M. et al., 2020
POFct-1	720	coordinación de átomos de Hg y O y N	Li Wei tao et al., 2019
TFPPy-CHYD	5	coordinación de átomos de Hg y N (-NH-)	Cui Wei Rong et al., 219
T-COF	15	coordinación de átomos de Hg y N; interacción electrostática	Afshari M. et al., 2020
COF-S-SH	10 3 días	coordinación de átomos de Hg y S (grupos tiol y tioéter)	Sun Qi et al., 2017

Estructura orgánica porosa (material)	Tiempo de equilibrio de adsorción (min)	Mecanismo de adsorción	Autor (es)
COF-S-SH	<50	coordinación de átomos de Hg y S	Li Yifan et al., 2020
TPB-DMTP-COF-SH	2	coordinación de átomos de Hg y O y N y S (grupos triazol y tiol)	Merí bofi L. et al., 2017
COF-SO ₃ H	10	coordinación de átomos de Hg y O (SO ₃ ⁻); coordinación de átomos de Hg y O (SO ₃ ⁻); intercambio iónico entre NH ₄ ⁺ y Hg ²⁺	Tao Yuan et al., 2020
[NH ₄ ⁺] [COF-SO ₃ ⁻]	10		
	12 h		
Fe ₃ O ₄ / M-COF	80	coordinación de átomos de Hg y N	Ge Jinlong et al., 2016 (56)
M-COF-SH	20	coordinación de átomos de Hg y S (grupos tiol)	Huang Lijin et al., 2020
Ag NPs @ COF-LZU1	30	interacción entre nanopartículas de Hg y Ag	Wang Longlong et al., 2020
COF-TP COF-TE	~ 24 horas	coordinación de átomos de Pb y O y N; interacción electrostática	Lu Xiao Fan et al., 2019
COOH @ COF	5	interacción entre Hg / Pb y los grupos carboxilo (-COOH)	Li Guiliang et al., 2019
COF-SH	-	coordinación de átomos de Pb y S; interacción electrostática	Cao ying et al., 2020

Estructura orgánica porosa (material)	Tiempo de equilibrio de adsorción (min)	Mecanismo de adsorción	Autor (es)
COF enriquecido con N	20	coordinación de átomos de Cd y N; interacción electrostática	Dinari M. et al., 2019
TpBD-Me 2 -COF	60 min	adsorción heterogénea	Salonen I. et al., 2017
DhaTab-PBA	40 min	interacción π - π ; adsorción homogénea	Ji Shi et al., 2019 (113)
gC 3 N 4 na nohojas	<420	adsorción multicapa en superficies heterogéneas	Liao Qing et al., 2018
Fe 3 O 4 @ TpBD	5 minutos	enlaces de hidrógeno; interacción π - π	Li Yang et al., 2017
Fe 3 O 4 @ TpND	10 minutos	enlaces de hidrógeno; complejación superficial	Wei Dongli et al., 2020
TPT-DMBD-COF	60 min	atracción electrostática; interacción π - π	Huo Jianqiang et al., 2019
TPB-DMTP-COF	80 min	Interacción C – H ... π ; atracción electrostática	Zhuang S., Liu Y. y Wang J., 2020
TPB-DMTP-COF magnético	50 min	Interacción C – H ... π ; interacción π - π	Zhuang Shuting et al., 2020

Estructura orgánica porosa (material)	Tiempo de equilibrio de adsorción (min)	Mecanismo de adsorción	Autor (es)
NCCT	8 h	atracción electrostática; enlaces de hidrógeno; interacción π - π	Li Zehao et al., 2020
COF	90 min	interacción π - π ; diferentes valores de tamaño; complejación superficial	Gao Manjie et al., 2019

Elaboración propia

De acuerdo a lo detallado en la tabla 5, se tiene que el mecanismo de adsorción de las estructuras orgánicas porosas para la adsorción de contaminantes orgánicos de medios acuosos se basa en la interacción de grupos funcionales como -COOH, -NH₂, -CN, -SH, -SCH₃ y -SO₃H y la atracción electrostática, los cuales permiten mejorar la eficiencia de eliminación de los contaminantes del medio acuoso. Donde el 100% de los investigadores presentan interacción de grupos funcionales como mecanismo de acción y atracción electrostática.

Ello es corroborado por los siguientes investigadores: Ding S. et al., (2016), quien presenta como mecanismo de adsorción la coordinación de átomos de Hg y S (grupos tioéter); interacción electrostática. Huang Ning et al., (2017), presentando como mecanismo de adsorción la coordinación de átomos de Hg y S (grupos tioéter), al igual que Li Xing et al., (2019), en tiempos de 5 minutos para ambos.

Por su parte, Li Zehao et al., (2020), afirma que los resultados de análisis implicaron que el mecanismo de adsorción de los compuestos orgánicos porosos, nanocompuestos de COF-quitosano-tereftalaldehído (NCTC) se da principalmente a través de la atracción electrostática, los enlaces de hidrógeno y la interacción π – π . Además, señala que los abundantes grupos funcionales de quitosano, COF y TPA de la estructura orgánica porosa empleada mejoran significativamente la capacidad de adsorción de NCCT en antibióticos y la película de nanocomposites NCCT también exhibe una excelente reproducibilidad después de seis ciclos de adsorción.

De acuerdo Li Guiliang et al., (2019), los grupos funcionales que contienen átomos de O, N o S tienen una buena capacidad de adsorción de iones de metales pesados, por lo tanto, a través de algunos diseños elaborados, la integración de grupos funcionales específicos (por ejemplo, -COOH, -NH₂, -CN, -SH, -SCH₃ y -SO₃H) en el marco de los compuestos orgánicos porosos mejora en gran medida la eficiencia de la eliminación de iones metálicos.

Firoozi M. et al., (2020), afirma que los grupos funcionales que contienen O y N de POFct-1 adsorben eficazmente Hg²⁺ y Cu²⁺ con capacidades de adsorción de 167,19 mg · g⁻¹ (Hg²⁺) y 135,60 mg · g⁻¹ (Cu²⁺). También Cui Wei Rong et al., (2019), se encuentra apoyando la afirmación anterior.

De manera análoga, se buscó clasificar la cinética de adsorción más usada para determinar la velocidad de adsorción de los contaminantes orgánicos de medios acuosos aplicando estructuras orgánicas porosas; detallando los resultados en la tabla 6

Tabla N° 6 Cinética de adsorción más usada para determinar la velocidad de adsorción de los COP

Cinética de pseudo primer orden

Cinética de pseudo segundo orden

El modelo de pseudo segundo orden demuestra que la que la quimisorción o complejación superficial gobiernan los procesos de adsorción (Gao Manjie et al., 2019, p.2).

El modelo de pseudo primer orden que describe que la adsorción del adsorbato de la solución a la superficie sólida está controlada por el paso de difusión, que se basa en el supuesto de que la tasa de adsorción está controlada por un proceso químico (interacción electrostática, intercambio de electrones e intercambio de iones) o una fuerte complejación superficial (Huo Jianqiang L. et al., 2019, p.3).

Firoozi M. et al., (2020), Li Wei tao et al., (2019), Sun Qi et al., (2017), Li Yifan et al., (2020), Tao Yuan et al., (2020), Lu Xiao Fan et al., (2019), Liao Qing et al., (2018), Zhuang S., Liu Y. y Wang J., (2020), Li Zehao et al., (2020), Gao Manjie et al., (2019).

Huang Ning et al., (2017), Li Xing et al., (2019), Cui Wei Rong et al., (2019), Afshari M. et al., (2020), Sun Qi et al., (2017), Merí bofí L. et al., (2017), Tao Yuan et al., (2020), Ge Jinlong et al., (2016), Huang Lijin et al., (2020), Wang Longlong et al., (2020), Li Guiliang et al., (2019), Dinari M. et al., (2019), Salonen I. et al., (2017), Ji Shi et al., (2019), Li Yang et al., (2017), Wei Dongli et al.,

(2020), Huo Jianqiang et al., (2019), Zhuang Shuting et al., (2020).

De acuerdo con la clasificación de la cinética de adsorción más usada, para investigar más a fondo el proceso de adsorción cinética, se clasificaron el modelo cinético de pseudo primer orden y el modelo cinético de pseudo-segundo orden; donde se muestra en la tabla 6 que el 64% de los investigadores presentaron una cinética de adsorción de pseudo primer orden para determinar la velocidad de adsorción de los contaminantes orgánicos de medios acuosos aplicando estructuras orgánicas porosas; mientras que el 36% restante aplicó una cinética de adsorción de pseudo-segundo orden.

Ello es debido a que el modelo cinético de pseudo segundo orden es más satisfactorio para ilustrar la adsorción de contaminantes orgánicos; además, también confirma las interacciones electrostáticas entre las moléculas y los grupos carboxilo aniónicos.

También, se tiene como resultado que, los procesos realizados por las estructuras orgánicas covalentes o porosas son rápidos a concentraciones bajas y por el contrario a concentraciones altas la velocidad de adsorción disminuye, es menor.

Huang Ning et al., (2017), añade que la cinética de adsorción es esencial para determinar el tiempo en el que se genera el proceso; es decir muestra la velocidad en la que el adsorbato es adsorbido en el adsorbente y por ende se muestra el tiempo en el que ocurre el equilibrio, como se detalla en la tabla 5.

La cinética de adsorción implica los cambios en las propiedades de adsorción con el tiempo para el sistema, donde el grado de cobertura de la superficie proporciona información sobre la velocidad de un proceso; así mismo la cinética de adsorción es la medida de la adsorción por adsorción con respecto al tiempo a una presión o concentración constante y se emplea para medir la difusión del adsorbato en los poros (Saha D. y Grappe H., 2017, p.143).

De acuerdo con Tao Yuan et al., (2020), la cinética de adsorción rápida genera una excelente capacidad de adsorción del contaminante y convierte a la estructura orgánica en un buen adsorbente.

Siendo ello demostrado por: Cao ying et al., (2020), Huang Lijin et al., (2020), Tao Yuan et al., (2020), Merí bofi L. et al., (2017), Li Yifan et al., (2020), Sun Qi et al., (2017) y Huang Ning et al., (2017), quienes afirman que los materiales porosos ricos

en S mostraron una alta selectividad y una cinética de adsorción muy rápida para la eliminación de iones metálicos, así como compuestos orgánicos del medio acuoso.

Así mismo, de acuerdo con Mondal Sujan et al., (2019), señala que los compuestos orgánicos covalentes o porosos como COF-S-SH, TAPB-BMTTPA-COF, y TPB-DMTP-COF-SH,112 y COPs son materiales ricos en S, lo cual les hace presentar alta selectividad y una cinética de adsorción muy rápida para los contaminantes del medio acuoso.

Además, Sun Qi et al., (2017, p.1), señala que La cinética de adsorción dependiente del tiempo de todos los COFs, Siendo así comprobado por; Li Yang et al., (2017), Wei Dongli et al., (2020), Li Guiliang et al., (2019), Merí bofí L. et al., (2017).

Ello es también apoyado por: Huang Ning et al., (2017, p.2) y Merí Bofí L. et al., (2017, p.1).

V. CONCLUSIONES

Se puede concluir que los polímeros orgánicos porosos, por virtud de su porosidad a nanoescala incorporada, sus elevadas superficies funcionalizadas reactivas ofrecen enormes oportunidades como adsorbentes; además, una capacidad de adsorción de contaminantes orgánicos y metales pesados, junto con la rápida cinética de adsorción y eficiencia de reciclado han hecho de los COFs y POPs como uno de los mejores adsorbentes para la purificación del agua y medios acuosos.

El rendimiento de adsorción de los contaminantes orgánicos del medio acuoso aplicando estructuras orgánicas, presentan una capacidad de adsorción mayor en tiempos menores a 60 minutos; siendo ello demostrado por el 66% de los investigadores, donde este tiempo muestra el óptimo equilibrio de adsorción; mientras que el 34% restante aplican tiempos mayores de 80 minutos y días. Así mismo la capacidad de adsorción de las estructuras orgánicas porosas es de 100 a 500 mg/g de contaminante en su mayoría.

El mecanismo de adsorción de las estructuras orgánicas porosas para la adsorción de contaminantes orgánicos de medios acuosos se basa en la interacción de grupos funcionales como $-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{CN}$, $-\text{SH}$, $-\text{SCH}_3$ y $-\text{SO}_3\text{H}$ y la atracción electrostática, los cuales permiten mejorar la eficiencia de eliminación de los contaminantes del medio acuoso.

La cinética de adsorción más usada para determinar la velocidad de adsorción de los contaminantes orgánicos de medios acuosos aplicando estructuras orgánicas porosas es esencial para comprender el mecanismo del proceso de adsorción. De acuerdo con diferentes modelos cinéticos son los pasos de control de la velocidad y el mecanismo de difusión por adsorción, los cuales se pueden estimar mediante quimisorción, complejación superficial fuerte, difusión intrapartícula y difusión de película.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda a los futuros investigadores:

- De acuerdo a los estudios recopilados, se recomienda ampliar en estudios enfocados exclusivamente en la desintoxicación de aguas residuales para contrarrestar los efectos ambientales nocivos, mediante el uso de compuestos orgánicos porosos, debido a que, estudios enfocados en este contexto son muy escasos.
- Para incrementar el porcentaje de adsorción de los compuestos orgánicos porosos se recomienda adsorbentes con adición de compuestos químicos, ya que, en estudios que se han aplicado ayudó a evitar la pérdida de las propiedades porosas.
- Por último, se recomienda realizar una comparación con la cinética de adsorción de los diversos materiales usados para la elaboración de los compuestos orgánicos porosos, determinando así el más eficiente.

REFERENCIAS

1. ADEMOLLO, Nicoletta, et al. Occurrence, distribution and pollution pattern of legacy and emerging organic pollutants in surface water of the Kongsfjorden (Svalbard, Norway): Environmental contamination, seasonal trend and climate change. *Marine Pollution Bulletin*, 2021, vol. 163, p. 111900. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111900>
2. AFSHARI, Mohaddeseh, et al. Novel triazine-based covalent organic framework as a superadsorbent for the removal of mercury (II) from aqueous solutions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2020, vol. 59, no 19, p. 9116-9126. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c00953>
3. AGRAWAL, Sonal; KAUSHAL, Gaurav; SRIVASTAVA, Anurag. Electron transport in C₃N monolayer: DFT analysis of volatile organic compound sensing. *Chemical Physics Letters*, 2021, vol. 762, p. 138121. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2020.138121>
4. APPANNAGARI, Ramamohana Reddy. Environmental pollution causes and consequences: a study. *North Asian International Research Journal of Social Science and Humanities*, 2017, vol. 3, no 8, p. 151-161. ISSN: 2454-9827
5. BALMER, Jennifer E., et al. Levels and trends of current-use pesticides (CUPs) in the arctic: an updated review, 2010–2018. *Emerging Contaminants*, 2019, vol. 5, p. 70-88. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2019.02.002>
6. CAO, Ying, et al. Sulfhydryl functionalized covalent organic framework as an efficient adsorbent for selective Pb (II) removal. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2020, vol. 600, p. 125004. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125004>
7. COSTA, José Arnaldo Santana, et al. Efficient adsorption of a mixture of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by Si-MCM-41 mesoporous molecular sieve. *Powder Technology*, 2017, vol. 308, p. 434-441. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.12.035>
8. CUI, Wei-Rong, et al. Regenerable carbohydrazide-linked fluorescent covalent organic frameworks for ultrasensitive detection and removal of mercury. *ACS*

- Sustainable Chemistry & Engineering, 2019, vol. 8, no 1, p. 445-451.
Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b05725>
9. CUI, Yuan-Yuan, et al. Application of microporous organic networks in separation science. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2021, p. 116268.
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116268>
 10. Debika Devi Thongam, Harsh Chaturvedi. Water Conservation in the Era of Global Climate Change. 2021, Pages 277-314. Chapter 12 - Nanomaterials for climate change and water pollution mitigation. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820200-5.00005-1>
 11. DELANG, Claudio O. Causes and distribution of soil pollution in China. *Environmental & Socio-economic Studies*, 2017, vol. 5, no 4, p. 1-17.
Disponible en: <https://doi.org/10.1515/environ-2017-0016>
 12. DHARWAL, Mridul, et al. Water pollution: Effects on health and environment of Dala LGA, Nigeria. *Materials Today: Proceedings*, 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.496>
 13. DINARI, Mohammad; HATAMI, Mohammad. Novel N-riched crystalline covalent organic framework as a highly porous adsorbent for effective cadmium removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2019, vol. 7, no 1, p. 102907. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.102907>
 14. Ding, S. Y., Dong, M., Wang, Y. W., Chen, Y. T., Wang, H. Z., Su, C. Y., & Wang, W. (2016). Thioether-based fluorescent covalent organic framework for selective detection and facile removal of mercury (II). *Journal of the American Chemical Society*, 138(9), 3031-3037. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/jacs.5b10754>
 15. FAYIGA, Abioye O.; IPINMOROTI, Mabel O.; CHIRENJE, Tait. Environmental pollution in Africa. *Environment, development and sustainability*, 2018, vol. 20, no 1, p. 41-73. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10668-016-9894-4>
 16. FIROOZI, Maryam; RAFIEE, Zahra; DASHTIAN, Kheibar. New MOF/COF hybrid as a robust adsorbent for simultaneous removal of auramine O and

- rhodamine B dyes. ACS omega, 2020, vol. 5, no 16, p. 9420-9428. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00539>
17. FU, Qiang, et al. Optimal design and control of pressure swing adsorption process for N₂/CH₄ separation. Journal of Cleaner Production, 2018, vol. 170, p. 704-714. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.169>
18. GAO, Manjie, et al. Facile synthesis of porous covalent organic frameworks for the effective extraction of nitroaromatic compounds from water samples. Analytica chimica acta, 2019, vol. 1084, p. 21-32. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2019.07.071>
19. GE, Jinlong, et al. Facile microwave-assisted production of Fe₃O₄ decorated porous melamine-based covalent organic framework for highly selective removal of Hg²⁺. Journal of Porous Materials, 2016, vol. 23, no 3, p. 791-800. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10934-016-0134-y>
20. GOGOI, Anindita, et al. Occurrence and fate of emerging contaminants in water environment: a review. Groundwater for Sustainable Development, 2018, vol. 6, p. 169-180. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2017.12.009>
21. HAMMOUDA, Samia Ben, et al. Efficient heterogeneous electro-Fenton incineration of a contaminant of emergent concern-cotinine-in aqueous medium using the magnetic double perovskite oxide Sr₂FeCuO₆ as a highly stable catalyst: Degradation kinetics and oxidation products. Applied Catalysis B: Environmental, 2019, vol. 240, p. 201-214. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.09.002>
22. HUANG, Lijin, et al. Thiol-functionalized magnetic covalent organic frameworks by a cutting strategy for efficient removal of Hg²⁺ from water. Journal of hazardous materials, 2020, vol. 392, p. 122320. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122320>
23. HUANG, Ning, et al. Stable covalent organic frameworks for exceptional mercury removal from aqueous solutions. Journal of the American Chemical Society, 2017, vol. 139, no 6, p. 2428-2434. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/jacs.6b12328>

24. HUANG, Yan, et al. Covalent organic framework-based porous materials for harmful gas purification. *Chemosphere*, 2021, p. 132795. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132795>
25. HUO, Jianqiang; LUO, Bingcai; CHEN, Ying. Crystalline covalent organic frameworks from triazine nodes as porous adsorbents for dye pollutants. *ACS omega*, 2019, vol. 4, no 27, p. 22504-22513. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03176>
26. JI, Shi-Lei, et al. Thiol–Ene Click Synthesis of Phenylboronic Acid-Functionalized Covalent Organic Framework for Selective Catechol Removal from Aqueous Medium. *ACS applied materials & interfaces*, 2019, vol. 11, no 49, p. 46219-46225. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acsami.9b17324>
27. LADU, John Leju Celestino, et al. Investigation on the impact of water pollution on human health in Juba County, Republic of South Sudan. *Journal of Environment Pollution and Human Health*, 2018, vol. 6, no 3, p. 89-95. Disponible en: <https://doi.org/10.12691/jephh-6-3-2>
28. LI, Guiliang, et al. Amide-based covalent organic frameworks materials for efficient and recyclable removal of heavy metal lead (II). *Chemical Engineering Journal*, 2019, vol. 370, p. 822-830. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.03.260>
29. LI, Wei-Tao, et al. A three-dimensional porous organic framework for highly selective capture of mercury and copper ions. *ACS Applied Polymer Materials*, 2019, vol. 1, no 10, p. 2797-2806. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acsapm.9b00804>
30. LI, Xing, et al. Solvent-and catalyst-free synthesis of an azine-linked covalent organic framework and the induced tautomerization in the adsorption of U (VI) and Hg (II). *Green Chemistry*, 2019, vol. 21, no 3, p. 649-657. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C8GC03295E>
31. LI, Yang; YANG, Cheng-Xiong; YAN, Xiu-Ping. Controllable preparation of core–shell magnetic covalent-organic framework nanospheres for efficient adsorption and removal of bisphenols in aqueous solution. *Chemical*

- communications, 2017, vol. 53, no 16, p. 2511-2514. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C6CC10188G>
- 32.LI, Yanjie, et al. Fabrication of a New Corrole-Based Covalent Organic Framework as a Highly Efficient and Selective Chemosensor for Heavy Metal Ions. *Chemistry of Materials*, 2020, vol. 32, no 6, p. 2532-2540. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.9b05234>
- 33.LI, Yifan, et al. Novel thiol-functionalized covalent organic framework as adsorbent for simultaneous removal of BTEX and mercury (II) from water. *Chemical Engineering Journal*, 2020, vol. 398, p. 125566. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125566>
- 34.LI, Zehao, et al. Removal and adsorption mechanism of tetracycline and cefotaxime contaminants in water by NiFe₂O₄-COF-chitosan-terephthalaldehyde nanocomposites film. *Chemical Engineering Journal*, 2020, vol. 382, p. 123008. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123008>
- 35.LIAO, Qing, et al. Highly efficient capture of Eu (III), La (III), Nd (III), Th (IV) from aqueous solutions using g-C₃N₄ nanosheets. *Journal of Molecular Liquids*, 2018, vol. 252, p. 351-361. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.12.145>
- 36.LIMMER, Matt; BURKEN, Joel. Phytovolatilization of organic contaminants. *Environmental science & technology*, 2016, vol. 50, no 13, p. 6632-6643. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04113>
- 37.LIU, Na, et al. A heteropore covalent organic framework for adsorptive removal of Cd (II) from aqueous solutions with high efficiency. *Chinese Chemical Letters*, 2020, vol. 31, no 2, p. 386-390. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ccllet.2019.06.050>
- 38.LU, Feng; ASTRUC, Didier. Nanocatalysts and other nanomaterials for water remediation from organic pollutants. *Coordination Chemistry Reviews*, 2020, vol. 408, p. 213180. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2020.213180>
- 39.LU, Xiao-Fan, et al. Preparation of carboxy-functionalized covalent organic framework for efficient removal of Hg²⁺ and Pb²⁺ from water. *Industrial &*

Engineering Chemistry Research, 2019, vol. 58, no 38, p. 17660-17667.
Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b03138>

40. MASINDI, Vhahangwele; MUEDI, Khathutshelo L. Environmental contamination by heavy metals. Heavy metals, 2018, vol. 10, p. 115-132.
Disponible en: <https://books.google.es/books?id=dnuQDwAAQBAJ&lpg=PA115&ots=UXpoTqbTnW&dq=environmental%20contamination%20&lr&hl=es&pg=PA115#v=onepage&q=environmental%20contamination&f=false>
41. MEI, Weiping, et al. Interactions between microplastics and organic compounds in aquatic environments: A mini review. Science of the Total Environment, 2020, vol. 736, p. 139472. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139472>
42. MIKLOS, David B., et al. Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment—A critical review. Water research, 2018, vol. 139, p. 118-131. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.042>
43. MERÍ-BOFÍ, Laura, et al. Thiol grafted imine-based covalent organic frameworks for water remediation through selective removal of Hg (II). Journal of Materials Chemistry A, 2017, vol. 5, no 34, p. 17973-17981. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C7TA05588A>
44. MODAK, Arindam, et al. Functionalized porous organic materials as efficient media for the adsorptive removal of Hg (II) ions. Environmental Science: Nano, 2020, vol. 7, no 10, p. 2887-2923. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/D0EN00714E>
45. MONDAL, Sujan, et al. Thioether-functionalized covalent triazine nanospheres: a robust adsorbent for mercury removal. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2019, vol. 7, no 7, p. 7353-7361. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b00567>
46. MERÍ-BOFÍ, Laura, et al. Thiol grafted imine-based covalent organic frameworks for water remediation through selective removal of Hg (II). Journal of Materials Chemistry A, 2017, vol. 5, no 34, p. 17973-17981. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C7TA05588A>

47. Noshin Masood, Shehla, Batool, Abida Farooqi. Chapter 22 - Groundwater pollution in Pakistan. Source, Scarcity, Sustainability, Security, and Solutions. 2021, Pages 309-322. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818172-0.00022-0>
48. ONDIEKI, Christopher Misati. Aspects of water quality and water pollution control in vulnerable environments. Journal of Geography and Earth Sciences, 2015, vol. 3, no 2, p. 83-93. Disponible en: <https://doi.org/10.15640/jges.v3n2a5>
49. P. SenthilKumar, G.Prasannamedha. Modern Treatment Strategies for Marine Pollution. 2021, Pages 11-27. Chapter two - Biological and chemical impacts on marine biology. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822279-9.00006-3>
50. PRASETYA, Nicholaus, et al. A review on emerging organic-containing microporous material membranes for carbon capture and separation. Chemical Engineering Journal, 2020, vol. 391, p. 123575. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123575>
51. PYLES, David A., et al. Synthesis of benzobisoxazole-linked two-dimensional covalent organic frameworks and their carbon dioxide capture properties. ACS Macro Letters, 2016, vol. 5, no 9, p. 1055-1058. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acsmacrolett.6b00486>
52. SAHA, D.; GRAPPE, H. A. Adsorption properties of activated carbon fibers. En Activated Carbon Fiber and Textiles. Woodhead Publishing, 2017. p. 143-165. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100660-3.00005-5>
53. ROJAS, Sara; HORCAJADA, Patricia. Metal–organic frameworks for the removal of emerging organic contaminants in water. Chemical reviews, 2020, vol. 120, no 16, p. 8378-8415. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00797>
54. SALONEN, Laura M., et al. Adsorption of marine phycotoxin okadaic acid on a covalent organic framework. Journal of Chromatography A, 2017, vol. 1525, p. 17-22. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2017.10.017>


55. SARKAR, Biplab; ISLAM, Aznarul; DAS, Balai Chandra. Role of declining discharge and water pollution on habitat suitability of fish community in the Mathabhangra-Churni River, India. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 326, p. 129426. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129426>
56. SHAHZADI, Iqra, et al. Heavy metal and organic pollutants removal from water using bilayered polydopamine composite of sandwiched graphene Nanosheets: One solution for two obstacles. *Separation and Purification Technology*, 2022, vol. 280, p. 119711. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119711>
57. Sharma, C., & Negi, Y. S. (2020). Methods of inorganic pollutants detection in water. *Inorganic Pollutants in Water*, 115–134. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818965-8.00007-x>
58. SKAAR, Jøran Solnes, et al. Elucidation of contamination sources for poly-and perfluoroalkyl substances (PFASs) on Svalbard (Norwegian Arctic). *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, vol. 26, no 8, p. 7356-7363. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2162-4>
59. Speight, J. G. (2017). Sources and Types of Organic Pollutants. *Environmental Organic Chemistry for Engineers*, 153–201. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804492-6.00004-6>
60. SUN, Qi, et al. Postsynthetically modified covalent organic frameworks for efficient and effective mercury removal. *Journal of the American Chemical Society*, 2017, vol. 139, no 7, p. 2786-2793. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/jacs.6b12885>
61. TAO, Yuan, et al. High-performance removal of mercury ions (II) and mercury vapor by SO₃-anchored covalent organic framework. *Journal of Solid State Chemistry*, 2020, vol. 282, p. 121126. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2019.121126>
62. Tsang, D. C. W., Yu, I. K. M., & Xiong, X. (2019). Novel Application of Biochar in Stormwater Harvesting. *Biochar from Biomass and Waste*, 319–347. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811729-3.00018-2>

63. United Nations Report, Water quality and wastewater (2017).
64. VECCHIATO, Marco, et al. Fragrances and PAHs in snow and seawater of Ny-Ålesund (Svalbard): Local and long-range contamination. *Environmental Pollution*, 2018, vol. 242, p. 1740-1747. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.095>
65. WALLER, Peter J.; GÁNDARA, Felipe; YAGHI, Omar M. Chemistry of covalent organic frameworks. *Accounts of chemical research*, 2015, vol. 48, no 12, p. 3053-3063. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.5b00369>
66. WANG, Longlong, et al. Utilization of Ag nanoparticles anchored in covalent organic frameworks for mercury removal from acidic waste water. *Journal of hazardous materials*, 2020, vol. 389, p. 121824. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121824>
67. WANG, Yi-Xuan, et al. Synthesis of reusable and renewable microporous organic networks for the removal of halogenated contaminants. *Journal of Hazardous Materials*, 2022, vol. 424, p. 127485. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127485>
68. WEI, Dongli, et al. Understanding bisphenol-A adsorption in magnetic modified covalent organic frameworks: Experiments coupled with DFT calculations. *Journal of Molecular Liquids*, 2020, vol. 301, p. 112431. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.112431>
69. WU, Ming-Xue; YANG, Ying-Wei. Applications of covalent organic frameworks (COFs): From gas storage and separation to drug delivery. *Chinese Chemical Letters*, 2017, vol. 28, no 6, p. 1135-1143. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ccllet.2017.03.026>
70. YANG, Zhiyuan, et al. Adsorption separation of CH₄/N₂ on modified coal-based carbon molecular sieve. *Separation and Purification Technology*, 2019, vol. 218, p. 130-137. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.02.048>
71. YU, Fei, et al. Adsorptive removal of antibiotics from aqueous solution using carbon materials. *Chemosphere*, 2016, vol. 153, p. 365-385. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.083>

72. ZARE, Ehsan Nazarzadeh, et al. An overview on non-spherical semiconductors for heterogeneous photocatalytic degradation of organic water contaminants. *Chemosphere*, 2021, p. 130907. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130907>
73. ZHANG, Jihua, et al. Monitoring water-immiscible organic liquid contaminations on water via stable sensing silicone rubber composites. *Materials Letters*, 2021, vol. 305, p. 130827. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2021.130827>
74. ZHOU, Zhifang, et al. Does the " 10-Point Water Plan" reduce the intensity of industrial water pollution? Quasi-experimental evidence from China. *Journal of Environmental Management*, 2021, vol. 295, p. 113048. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113048>
75. ZHU, Donghai, et al. Highly efficient and selective removal of Cr (VI) by covalent organic frameworks: Structure, performance and mechanism. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2020, vol. 600, p. 124910. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.124910>
76. ZHUANG, Shuting; LIU, Yong; WANG, Jianlong. Covalent organic frameworks as efficient adsorbent for sulfamerazine removal from aqueous solution. *Journal of hazardous materials*, 2020, vol. 383, p. 121126. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121126>
77. ZHUANG, Shuting, et al. Magnetic COFs for the adsorptive removal of diclofenac and sulfamethazine from aqueous solution: Adsorption kinetics, isotherms study and DFT calculation. *Journal of hazardous materials*, 2020, vol. 385, p. 121596. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121596>

ANEXOS

ANEXOS N° 1. Ficha de Análisis de Contenido

	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
AUTOR:	
OBJETIVOS:	
RENDIMIENTO DE ADSORCIÓN:	
MECANISMO DE ADSORCIÓN:	
CINÉTICA DE ADSORCIÓN:	
RESULTADOS :	
CONCLUSIONES:	

Elaboración propia