



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Técnicas de remoción de fenoles en aguas residuales
industriales

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORES:

Fabian Vasquez, Claudia Xiomara (orcid.org/0000-0002-6845-6309)

Isuiza Tamayo, Ayli Ruth Daniza (orcid.org/0000-0001-6253-9843)

ASESOR:

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

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

Dedicatoria

A mi madre por ser la motivación que necesito para seguir adelante, a pesar de los altos y bajos que se presenta en esta vida.

Claudia Xiomara Fabian Vásquez

A mis padres por brindarme su apoyo incondicional en todos estos años y no dejar que me rinda ante las adversidades.

Ayli Ruth Daniza Isuiza Tamayo

Agradecimiento

Quiero utilizar estas líneas para agradecer a todas las personas que han contribuido para el desarrollo de este trabajo.

Claudia Xiomara Fabian Vásquez.

A todas las personas que me apoyaron e hicieron posible que este trabajo se realice con éxito

Ayli Ruth Daniza Isuiza Tamayo

Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	3
III. METODOLOGÍA.....	8
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	8
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización.....	8
3.3. Escenario de estudio.....	8
3.4. Participantes.....	8
3.6. Procedimientos.....	9
3.7. Rigor científico.....	11
3.8. Método de análisis de la información.....	11
3.9. Aspectos éticos.....	12
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
V. CONCLUSIONES.....	21
VI. RECOMENDACIONES.....	22
REFERENCIAS.....	23
ANEXOS.....	33

Índice de tablas

Tabla 1.	Palabras claves para la plataforma de búsqueda.....	10
Tabla 2.	Criterios de inclusión para la selección de artículos	10
Tabla 3.	Compuestos fenólicos según el tipo de agua industrial.....	13
Tabla 4.	Porcentaje de remoción de fenolica según el tipo de técnica.....	15
Tabla 5.	Técnica más eficiente según el tipo de agua industrial	18

Índice de figuras

Figura 1. Procedimiento.....	9
Figura 2. Técnicas más eficientes según el tipo de agua industrial.....	19

Resumen

Se han desarrollado distintas técnicas para remover los fenoles en aguas residuales industriales, siendo algunas de ellas más eficiente que otras esto depende de diferentes factores como el tipo de agua industrial, el compuesto fenólico y los parámetros; es por ello que se propuso evaluar las técnicas más eficientes para la remoción fenólica en diferentes tipos de aguas residuales. La metodología empleada fue la revisión sistemática consultando en diferentes bases de datos como Scindirect, Google académico, Springer Link, Scopus; los artículos seleccionados fueron 35 aplicando los criterios de inclusión. Los resultados mostraron la presencia de diferentes compuestos fenólicos, así mismo mencionar que la técnica de adsorción fue la más utilizada alcanzando valores de remoción alrededor de 95%, 96%, 99% en aguas residuales de carbón, agrícolas y farmacéuticas. Asimismo que las técnicas de biorreactor anaeróbico de membrana, catálisis, oxidación obtuvieron remociones de 99 %,100% ,99 % respectivamente. Se concluye que las técnicas más eficientes para remover compuestos fenólicos en diferentes aguas residuales industriales son la adsorción y oxidación avanzada.

Palabras clave: Adsorción, compuestos fenólicos, aguas residuales, técnicas.

Abstract

Different techniques have been developed to remove phenols in industrial wastewater, some of them being more efficient than others. This depends on different factors such as the type of industrial water, the phenolic compound and the parameters; That is why it was proposed to evaluate the most efficient techniques for phenolic removal in different types of wastewater. The methodology used was the systematic review consulting different databases such as Scindirect, Google academic, Springer Link, Scopus; the selected articles were 35 chosen applying the inclusion criteria. The results showed the presence of different phenolic compounds, as well as mentioning that the adsorption technique was the most used, reaching removal values around 95%, 96%, 99% in coal, agricultural and pharmaceutical wastewater. Likewise, the anaerobic membrane bioreactor, catalysis, and oxidation techniques obtained removals of 99%, 100%, 99%, respectively. It is concluded that the most efficient techniques to remove phenolic compounds in different industrial wastewaters are adsorption and advanced oxidation.

Keywords: Adsorption, phenolic compounds, wastewater, techniques.

I. INTRODUCCIÓN

Tras el crecimiento poblacional, la contaminación de los medios naturales de aguas superficiales y subterráneas se ha ido incrementando debido a las actividades poblacionales (Alami et al., 2020, p.3). Todos los procesos que se dan en las industrias utilizan el agua de distintas maneras y para distintos procesos, creando así diversos efluentes de aguas residuales los cuales contienen gran cantidad de sustancias sean inorgánicas u orgánicas (Dargari et al., 2017, p.3). Entre éstos encontramos los llamados fenoles que son sustancias comunes en la industria petroquímica, agrícola, maderera, de explosivos, farmacéutica, fabricación de pinturas, caucho, textiles, curtidoras, papeleras (Careghini et al., 2015, p.1). Existe la necesidad de llevar un control de los contaminantes existentes en los cuerpos de agua, ya que la presencia de sustancias nocivas perjudica a los beneficiarios de dichos recursos (Kariim et al., 2020). El fenol y sus derivados, son contaminantes tóxicos incluso en bajas concentraciones (Mu'azu et al., 2017, p.2). Debido a su alta solubilidad, su exposición por la vía oral, nasal, ocular o cutánea puede generar problemas de salud; para los organismos acuáticos son también sustancias nocivas, provocando efectos negativos de distinta magnitud en función al tiempo y la concentración al que estén expuestos (Lakshmi, 2016, p.7).

Muchas técnicas son utilizadas para hacer frente al agua contaminada con fenol y sus derivados. Cada una poseen sus ventajas y desventajas es por eso que al ser aplicadas debemos tomar en cuenta los diferentes parámetros para lograr una remoción óptima. (Said et al., 2021, p.286). Hay muchas ventajas en muchos de estos procesos, el carbón activado como adsorbente también es eficaz, pero está en evaluación debido a su elevado costo (Shokoohi et al., 2017, p.6). La adsorción está considerada como un método eficaz, para eliminar los contaminantes orgánicos del agua, ya que es simple y no genera muchos costos. Por otra parte, el uso de métodos enzimáticos tiene mayores grados de eficiencia y menores costos que los métodos químicos tradicionales (Dahili y Feczko, 2015, p.7). Algunas técnicas de remoción tienen desventajas como alto costo, baja eficiencia, largo tiempo de proceso, producción de contaminantes secundarios, entre otros. La ventaja que tienen las técnicas

biológicas, es que son ambientalmente amigables y genera ahorro energético, pero no funcionan adecuadamente en altas concentraciones de contaminantes (Orozco et al., 2016, p.7). Todas las técnicas tienen ciertos problemas, ya sea en términos de económicos o eliminación, sin embargo, es necesario implementar estas técnicas para eliminar los contaminantes tóxicos y así para garantizar la remoción de fenoles en aguas industriales (Bhatnagar et al., 2018, p.5).

En base a la problemática observada, se planteó conocer la técnica de remoción fenólica más eficaz considerando el bajo costo y la generación de menos impacto en el ambiente. Por consiguiente, tenemos cómo formulación de problema ¿Cuáles son las técnicas más eficientes para la remoción de fenoles en aguas residuales industriales?

Se propuso como objetivo general evaluar la efectividad de las técnicas de remoción de fenoles en aguas residuales industriales, asimismo, como objetivos específicos establecer los tipos de compuestos fenólicos presentes en aguas residuales según el tipo de industria, evaluar la remoción de fenol según el tipo de técnica a aplicar en las aguas residuales industriales y evaluar las técnicas más efectivas según el tipo de agua residual industrial.

La investigación se justifica en lo importante que es aplicar técnicas para la remoción de fenoles en aguas residuales, dichos compuestos generan un impacto negativo al ser vertidos en cualquier medio acuoso, generando no solo daños a los seres que habitan el medio sino también en la salud de las personas, ya sea por el consumo o la exposición a estas sustancias orgánicas. Desde el punto de vista ambiental esta investigación ofrece técnicas para eliminar la cantidad de fenol presente en aguas residuales industriales, estos efluentes serán vertidos en cualquier ecosistema generando menos impacto y buscando así la protección del medio para su adecuado desarrollo. Desde el punto de vista social, al remover los fenoles la población podrá desarrollar actividades que contribuirán con su calidad de vida, reutilizar el agua ya sea para riego agrícola, labores domésticas, entre otras actividades. Metodológicamente la investigación aporta con el análisis de información buscando un objetivo esencial, de esta manera se contará con información relevante que contribuya con otras investigaciones.

II. MARCO TEÓRICO

Kariim et al. (2020) en su artículo “Development of MWCNTs/TiO₂ nanoadsorbent for simultaneous removal of phenol and cyanide from refinery wastewater”, tuvo como objetivo desarrollar un nanoadsorbente para la eliminación de fenol y cianuro, dichos nanoabsorbentes se caracterizaron por sus características. Se realizó el proceso de adsorción por lotes revelando la máxima eliminación del fenol y cianuro a los 70 min, 0,3 g y 40 °C de tiempo de contacto, dosis de adsorbente y temperatura respectivamente. Demostrando así que el nanoadsorbente MWCNTs/TiO₂ desarrollado es un material excelente para el secuestro de fenol y cianuro de las aguas residuales de refinería.

Además, Chen et al. (2018) en su artículo “Performance and characteristics of pilot-scale methane fermentation anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) for treatment of pharmaceutical wastewater containing m-cresol (MC) and isopropyl alcohol (IPA)”, se desarrolló un biorreactor de membrana anaeróbica durante 80 días para tratar aguas residuales farmacéuticas las cuales contenían m-cresol. La eficiencia de remoción fue de 95% durante los 80 días, lo que dio a conocer que el sistema de membrana funcionó adecuadamente dando buenos resultados.

Ni Chen et al. (2019) en su artículo titulado “Quantification of the removal pathway and evaluation of the co-metabolic mechanism of alkylphenols from synthetic wastewater by phenolic root exudates in the rhizosphere of phragmites australis”, tuvo como objetivo usar plantas para la eliminación de alquifenoles en aguas residuales sintéticas. Los resultados mostraron que la adsorción del suelo (31–37 %), la degradación microbiana (27–37 %) y la absorción por las plantas (16–41 %) son las principales vías de eliminación de PTBP. Concluyendo que este estudio será útil para la eliminación de compuestos aromáticos.

Según Guo et al. (2019) en su artículo "Development of synergistic extraction process for highly efficient removal of phenols from coal gasification wastewater", tuvo como fin la eliminación de fenoles mediante el solvente metilisobutilcetona (MIBK) y n-pentanol 6: 4. La eficiencia de eliminación de los fenoles totales puede alcanzar el 97,0% después de la extracción en dos etapas, y la concentración de los fenoles totales se pueden reducir de 6273 mg/L a 190 mg/L. Dadas las eficiencias de remoción y la mezcla de solventes (60 % MIBK, 40 % n-pentanol), el proceso de extracción es muy prometedor para la eliminación de fenoles.

Según Centeno et al. (2020) tuvo como objetivo la eliminación del fenol utilizando la oxidación avanzada solar y el lodo rojo como catalizador, este mostró excelentes resultados alcanzando una disminución de 99,7 % de concentración de fenólica, lo cual pone en evidencia que los procesos de oxidación de tipo fotoquímico y fotocátalisis a partir de un desecho metalúrgico activado es capaz de generar la suficiente producción de radicales hidroxilo en sinergia con el peróxido de hidrógeno para generar la degradación y mineralización del compuesto modelo. Demostrando que el lodo rojo cumplido con la función de disminuir la concentración del fenol y la DQO.

R. Sridara et al. (2018) en su artículo titulado "ZnO nanoparticles: synthesis, characterization and their application for the elimination of phenols from the wastewater of the pharmaceutical and synthetic industries", tuvo como fin emplear las nanopartículas de óxido de zinc para eliminar fenoles. Teniendo como parámetros Ph, la dosis del material, el tiempo, concentración inicial logrando una remoción de 82%. Esta investigación concluye que las nanopartículas sintetizadas se pueden utilizar eficientemente para la eliminación fenólica.

Según Martínez et al. (2017), en su artículo, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del Biochar en atmósfera controlada para la retención de fenoles en medio acuoso y así determinar la eficacia de la eliminación de fenoles de los medios filtrantes; ya que los fenoles y sus derivados se absorben rápidamente

por la inhalación del vapor, así mismo si llega a tener contacto con el ser humano produciendo daño en el mismo y también en el ambiente

Según García et al. (2019), en su artículo “Extracción de fenol de aguas de residuo utilizando aceite de canola como disolvente orgánico en un proceso de membrana líquida”, menciona que para la extracción de fenoles se utilizó una emulsión de membrana líquida (EML) y un diseño factorial para encontrar las mejores condiciones de una operación, así mismo, los compuestos aromáticos como fenol y el clorofenol forman uno de los residuos más comunes en las aguas residuales industriales y para lograr la remoción de fenoles de aguas residuales da la posibilidad de emplear diversos métodos convencionales en mayor o a una menos medidas ya que pueden ser eficientes para algunas tecnologías.

Finalmente tenemos a Osamah et al. (2020) en su artículo “Synthesis of carbón nanotubes grafted with PEG and its efficiency for the removal of phenol from industrial wastewater”, tuvo como conocer el rendimiento de un adsorbente híbrido oxidando nanotubos de carbono (CNT) e injertado con polietilenglicol (PEG) para determinar la eliminación de fenol. La adsorción de fenol por CNT / PEG fue pH-dependiente y en condiciones óptimas, se logró una alta eficiencia de adsorción ($\approx 100\%$) en un tiempo de contacto de 30 min. El material híbrido preparado (CNT / PEG) demostró ser un adsorbente para la eliminación de fenol del agua, así como para la eliminación simultánea de fenol con contaminantes de aguas residuales industriales

Por consiguiente, para esta investigación se consideraron los siguientes términos.

Los fenoles, son compuestos aromáticos caracterizados por tener uno o varios grupos de hidroxilos, siendo contaminantes tóxicos estos generan diversos impactos negativos en cualquier medio u organismo (Martínez, 2015, p.28). Su existencia en el medio acuáticos es de dos fuentes, de manera natural (animales y plantas muertas) o por actividades antropogénicas industriales (residuos industriales, agrícolas, domésticos, entre otros) (Anku, 2017, p.9).

Los compuestos fenólicos se encuentran en gran parte en aguas residuales industriales. Entre los tipos de fenoles que encontramos están los cresoles, clorofenoles, nitrofenoles, alquilfenoles, estos son usados en diferentes industrias ya sea para desinfectantes, preservantes de madera, tintes, herbicidas, explosivos, plásticos, fotografías, medicinas, etc (Espinoza, 2017, p.19).

Existen una gran cantidad de clorofenoles (PC) en los efluentes de industrias químicas, especialmente en refinerías de petróleo y campos de pesticidas (Younis et al. (2020). Debido a su persistencia y su alta toxicidad los clorofenoles son catalogados como uno de los contaminantes prioritarios estos pueden causar diferentes daños inflamación en el sistema digestivo y aumento de la presión arterial (Tri et al., 2020, p.1). Para la eliminación de PC la técnica de oxidación es considerado como una buena opción.

Los nitrofenoles (NP) se usan ampliamente en la síntesis de colorantes, plastificantes, pesticidas, herbicidas, pinturas, productos farmacéuticos, explosivos y conservantes de madera o cuero (Xiong et al., 2016, p.138). Debido a su toxicidad el NP puede causar daños en el sistema nervioso central, el sistema sanguíneo y los órganos primarios. (Xiong et al., 2019, p.13).

Las aguas residuales industriales son generadas por procesos de las actividades industriales. La diversidad de procesos hace que se generen una gran variedad de contaminantes (Kinidi et al., 2018, p.6). La creciente cantidad de aguas residuales industriales, junto con sus complicados contaminantes han llevado a la rápida investigación y desarrollo en el campo del "tratamiento de aguas residuales industriales". La gran cantidad de estudios requiere conocimientos profundos sobre la distribución de tecnologías, tecnologías centrales o direcciones de investigación (Udaiyappan et al., 2017, p.8).

Existen varias técnicas de remoción para los fenoles en aguas residuales, estos se clasifican en términos generales como físicos, químicos y biológicos. Algunos métodos químicos son la foto degradación, oxidación, electrocoagulación, el proceso electro-Fenton. Métodos físicos como

separación de membranas, extracción por solvente, adsorción, filtración, coagulación y los métodos biológicos (Villegas et al., 2016, p.4).

Es necesario buscar técnicas para la eliminación de dichos compuestos entre ellas tenemos: adsorción, considerada la técnica más adecuada para la eliminación de fenoles porque es fácil de diseñar y operar, también porque no produce desechos tóxicos (Anwar, 2021, p.6). Tenemos también la eliminación de fenoles mediante procesos de membranas, están son fiables, económicas y tienen ventajas como bajo consumo de energía, efluente de alta calidad, tamaño reducido. Las tecnologías más utilizadas son biorreactores de membrana, foto reactores de membrana catalítica, membrana de alta presión, osmosis inversa (RO) y nanofiltración (NF) la Ro es utilizada para la desmineralización basada en membranas que buscan separar solidos disueltos, mientras que NF es usado para eliminar contaminantes como sales inorgánicas, color y dureza de soluciones acuosas (Mohammadi, 2015, p.6). Mencionar también a la oxidación química, oxidación electroquímica, oxidación avanzada, siendo estos tratamientos destructivos que generan más gastos en energía y costos de equipos. Sin olvidar a la técnica de fenton y fenton-like extracción por solvente, filtración, coagulación, degradación asintomática, degradación de membrana, etc. (Villegas et al., 2016, p.8).

Cada técnica tiene parámetros los cuales van a ser considerados para evaluar la eficacia de la remoción, parámetros como el tamaño partícula biomasa (mm), concentración inicial de los compuestos fenólicos mg/L, Ph (rango), Temperatura (°C), cantidad de biomasa (g/L), Tiempo (min) (Alvis, 2020, p.32). Estos deben ser tomados en cuenta antes de que las aguas sean vertidas y generen impactos negativos.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación.

La investigación desarrollada fue de tipo básico por que busca proporcionar información teórica que va contribuir con el conocimiento del tema de investigación, por lo cual corresponde a una revisión sistemática sin meta análisis.

El diseño utilizado fue no experimental, por cuanto en la investigación no se manipularon variables.

3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización.

Se considero como categorías a los compuestas fenólicos, técnicas físicas, técnicas químicas, técnicas biológicas, tipos de industrias; asimismo como subcategorías respectivamente. Toda la información fue resumida en una matriz de categorización mostrando así de manera más explícita lo que se quiere lograr en la investigación. Se detalla en el Anexo N°1.

3.3. Escenario de estudio

La investigación tuvo como escenario de estudio las bases de datos, siendo un estudio de tipo revisión sistemática, que refirieron artículos científicos de revistas indexadas, que tratan el tema de investigación, base de datos tales como: Science Direct, Google académico, Scopus, SpringerLink, encontrando información de calidad.

3.4. Participantes

Estuvo conformado por los artículos científicos de revisas indexadas encontrados en las diferentes bases de datos, dichos artículos escogidos en función a las técnicas de remoción fenólica, compuestos fenólicos, aguas residuales; siendo seleccionados utilizando los criterios de inclusión.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Se utilizó la técnica de análisis documental y de contenido, en efecto la recopilación, análisis y síntesis del documento, el cual va permitir adquirir conocimientos referentes al tema. El instrumento utilizado según la técnica fue la ficha de recolección de datos el cual permite adquirir la información más importante.

3.6. Procedimientos

La investigación se realizó por medio de una revisión sistemática de literatura científica, esta consta de 5 etapas.

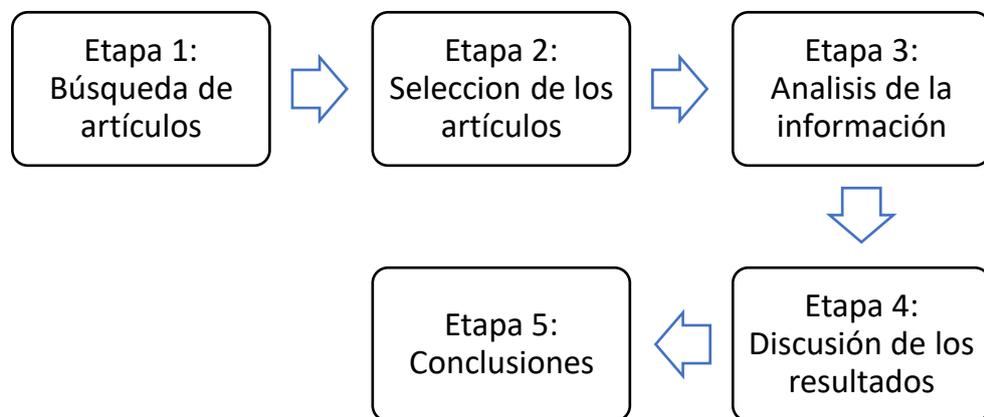


Figura 1. Procedimiento

Etapa 1: Se realizó la búsqueda de los artículos en las diferentes bases de datos, utilizando palabras claves referidos al tema de investigación. Tabla N.1.

Tabla 1. Palabras claves para la plataforma de búsqueda

N.º	Palabras claves	Base de datos
1	“removal of phenols in wastewater” AND “types of phenols” AND “removal of chlorophenols in industrial wastewater” AND “removal of cresols in industrial wastewater”	Science Direct
2	“remoción de fenoles” AND “remoción de fenoles en refinerías de petróleo”	Google Académico
3	“removal of phenols in wastewater” AND “types of phenols”	SpringerLink
4	“removal of phenols in wastewater” AND “coagulation for the removal of phenols in industrial wastewater” AND “membrane degradation for the removal of phenols in industrial wastewater”	Scopus

Fuente: Elaboración propia

Etapa 2: Se realizó la selección de los artículos encontrados utilizando los criterios de inclusión.

Tabla 2. Criterios de inclusión para la selección de artículos

Criterio	Descripción
Idioma	Ingles
Año de publicación	2017-2022
Tipo de acceso	Acceso Abierto
Tipo de documento	Artículo científico

Fuente: Elaboración propia

De esa manera se determinaron 35 artículos que fueron analizados.

Etapa 3: Tras obtener 35 artículos, esta etapa consto del análisis de cada artículo en la tabla de Microsoft Excel teniendo como fin dar respuesta a los objetivos. Asimismo, se tomó en cuenta los diferentes parámetros que dieron como resultado el porcentaje de remoción de las técnicas.

Etapa 4: Se describió los resultados obtenidos de cada objetivo respectivamente, de acuerdo a estos se procedió a discutir con otros autores que corroboraron lo encontrado.

Etapa 5: Para finalizar se concluyó dando respuesta a los objetivos planteados gracias a la revisión sistemática.

3.7. Rigor científico

Se garantizo debido a que la revisión sistemática la cual cuenta con artículos de bases indexadas, dichos artículos cuentan con alta veracidad ya que son analizadas por especialistas. Gracias a esto se tuvo información confiable y verídica en cuanto a los resultados de la investigación.

Por ende, dichos artículos analizados permitieron entender el procedimiento e instrumentos usados para garantizar los principios éticos corroborando la calidad de la información.

3.8. Método de análisis de la información

Se utilizo como método la ficha de recolección de datos, además se llevó a cabo una revisión anticipada donde se rescató la información más relevante teniendo en cuenta los criterios de selección. También se utilizó una tabla en Microsoft Excel donde se hizo una selección y análisis de todos los participantes que fueron encontrados para facilitar la información que estos contienen.

3.9. Aspectos éticos

Se cumplió con los procedimientos de investigación en el cual se obtuvo información veraz y de calidad, garantizando que toda la información seleccionada fue contundente, se respetó la información y los derechos de cada autor de los artículos seleccionados, estos serán usadas en la investigación buscando la calidad.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los artículos utilizados fueron seleccionados de acuerdo al criterio de inclusión. Se tuvo como primer objetivo establecer los compuestos fenólicos presentes según el tipo de agua residual industrial. Se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3. Compuestos fenólicos según el tipo de agua residual industrial.

Autores	Tipo de industria	Tipo de fenol	Compuesto fenólico
Tri et al. (2020)	Química	Fenol	Fenol
Tri et al. (2020)	Química	Clorofenol	2- clorofenol
Zhao, et al. (2022)	Química	Clorofenol	4- clorofenol
Tri et al. (2020)	Química	Nitrofenol	2-nitrofenol
Xiang et al. (2019)	Química	Nitrofenol	P-nitrofenol
Adebayo et al. (2021)	Farmacéutica	Fenol	Fenol
Adebayo et al. (2021)	Farmacéutica	Nitrofenol	4-nitrofenol
Wang et al. (2021)	Farmacéutica	Nitrofenol	P-nitrofenol
Al-Ghouti et al. (2022)	Petroquímica	Fenol	Fenol
Al-Obaidia et al. (2019)	Petroquímica	Clorofenol	clorofenol
Rea et al. (2022)	Petroquímica	Cresol	cresol
Btatia et al. (2019)	Petroquímica	Nitrofenol	4-nitrofenol
Yasin, et al. (2022)	Agrícola	Fenol	fenol
Shim et al. (2019)	Agropecuaria	Cresol	p-cresol

Zhen, et al. (2020)	Agropecuaria	Clorofenol	clorofenol
Shuai lin et al. (2020)	Refinería petróleo	Fenol	Fenol
Wang et al, (2022)	Refinería petróleo	Clorofenol	4 clorofenol
Li et al. (2019)	Siderúrgica	Fenol	Fenol
Jagniyant et al. (2022)	Carbón	Fenol	fenol

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto a la Tabla 3. Podemos dar respuesta sobre los diferentes tipos de compuestos fenólicos encontrados, mostrando que los compuestos con mayor presencia son los nitrofenoles, clorenoles y fenoles. Xiong et al. (2019), menciona que la presencia de los nitrofenoles y sus compuestos se encuentran en aguas residuales farmacéuticas, explosivos y conservantes de madera o cuero. Así mismo, Mohammada et al. (2020) menciona que los clorofenoles altamente tóxicos son encontrados específicamente en los efluentes de industrias petroquímicas, refinerías y farmacéuticas. Además, se mostró la presencia de los derivados del clorofenol tales como 4-clorofenol (MCP), 2,4-diclorofenol (DCP) y 2,4,6-triclorofenol (TCP) presente en efluentes de industrias petroquímicas Younis et al. (2020). Ghobashy et al. (2018) corrobora que los efluentes de aguas residuales de las industrias petroquímicas y petroleras refinerías es la principal fuente de contaminantes de fenol y clorofenol en el ambiente acuático, estos son utilizados ampliamente como productos intermedios en cuero y textiles, producción de plásticos, caucho, pintura, conversión de carbón Peng et al. (2017). Finalmente tenemos a Osamah (2020), en su investigación menciona que las fuentes naturales de agua accesible están siendo amenazadas por fenoles estos son liberados debido a diversos eventos industriales. Es por eso que de acuerdo a la

investigación desarrollada podemos afirmar la presencia de los compuestos fenólicos diferentes efluentes, los cuales deben ser eliminados antes de ser entregados a cualquier ecosistema generando así menos impacto.

Para el análisis del segundo objetivo se tomó en cuenta el porcentaje de remoción fenólica según el tipo de técnica empleada. Se detalla en la Tabla 4

Tabla 4. Porcentaje de remoción fenólica según el tipo de técnica.

Autores	Técnica	Tipo de industria	Remoción (%)
Tri et al. (2020)	Adsorción	Químicas	62
Oliveira et al. (2020)	Adsorción	Químicas	75
Tri et al. (2020)	Adsorción	Químicas	70
Tri et al. (2020)	Adsorción	Químicas	82
Adebayo et al. (2021)	Adsorción	Farmacéutica	83
Mandal et al. (2020)	Adsorción	Farmacéutica	97
Mareai et al. (2020)	Adsorción	Farmacéutica	83
Adebayo et al. (2021)	Adsorción	Farmacéutica	91
Wang et al. (2021)	Adsorción	Farmacéutica	99
Bin-Dahman et al. (2020)	Adsorción	Petroquímicas	100
Al-Ghouti et al. (2022)	Adsorción	Petroquímicas	95
Btatia et al. (2019)	Adsorción	Petroquímicas	100

Franco et al. (2021)	Adsorción	Agrícola	95
Shim et al. (2019)	Adsorción	Agropecuaria	98
Shuai lin et al. (2020)	Adsorción	Refinería petróleo	92
Shing et al. (2021)	Adsorción	Refinería petróleo	95
Mandal et al. (2019)	Adsorción	Siderúrgica	63
Jagniyant et al. (2022)	Adsorción	Carbón	96
Rea et al. (2022)	Biorreactores anaeróbicos de membranas	Petroquímicas	100
Tian et al. (2022)	Biorreactor aireado por membrana	Petroquímicas	95
Xiang et al. (2019)	Biorreactor aireado por membrana	Química	95
Khoshtinat et al. (2021)	Catálisis	Química	99
Yasin, et al. (2022)	Coagulación	Agrícola	57
Li et al. (2019)	Degradación mejorada	Siderúrgica	90
Zhangab et al. (2020)	Electroquímica	Química	87
Ma et al. (2019)	Electroquímica	Carbón	86
Zhao, et al. (2022)	Electro oxidación	Química	97
Huang et al. (2020)	Foto / fenton	Petroquímicas	98
Hernández-Francisco et al. (2017)	Foto/fenton	Refinería petróleo	50
Kusworo et al. (2021)	Membrana	Refinería petróleo	99

Muhammah et al. (2021)	Oxidación Photo-fenton	Química	98
Al-Obaidia et al. (2019)	Osmosis Inversa	Petroquímicas	98
Zhen, et al. (2020)	Oxidación fotocatalítica	Agropecuaria	99
Wang et al. (2022)	Oxidación	Refinería petróleo	80
Hassan et al. (2022)	Oxidación	Refinería petróleo	99

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4. Se da respuesta al porcentaje de remoción fenólica según la técnica aplicada, siendo la adsorción la técnica más empleada y logrando remociones de 63%, 95%, 96%, 99% ,100%. Corroborando tenemos Dalanta y Kusworo (2022), que señala que la técnica de adsorción se ha aplicado para la remover de varios contaminantes en aguas residuales logrando tener un buen porcentaje de remoción de esa manera ganándose así consideración debido a su simplicidad, baja toxicidad, rentabilidad y facilidad para combinarse con otros métodos. Por otro lado, las técnicas de oxidación logran remociones de 96%, 99%, esto pone en evidencia que los procesos de oxidación de tipo fotoquímico como la foto Fenton-like es capaz de lograr la degradación de compuestos contaminantes y a la inhibición de organismos patógenos, asimismo, la técnica de oxidación avanzada muestra excelentes resultados logrando un 99.7 % de remoción fenólica Centeno et al. (2020). De igual importancia la técnica de biorreactores anaeróbicos de membranas los que lograron remociones entre 95%,99%,100%, Hu et al. (2021), establece que se fabricaron reactores de membranas los cuales son prometedores ya que se considera como sistemas efectivos, estables y sencillos para la degradación de fenoles que podrían usarse en el tratamiento de diversas aguas residuales.

Así mismo, se tiene como otro objetivo las técnicas eficientes para cada tipo de agua industrial. Se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5. Técnica más eficiente según el tipo de agua industrial

Autores	Tipo de industria	Técnica	Compuestos fenólicos	Remoción (%)
Khoshtinat et al. (2021)	Química	Catálisis	fenol	99
Wang et al. (2021)	Farmacéuticas	Adsorción	P-nitrofenol	99
Rea et al. (2022)	Petroquímicas	Biorreactores anaeróbicos de membranas	cresol	100
Xiang et al. 2(019)	Química	Biorreactor aireado por membrana	P-nitrofenol	95
Franco et al. (2021)	Agrícola	Adsorción	Fenol	95
Zhen, et al. (2020)	Agropecuaria	Oxidación foto catalítica	clorofenol	99
Hassan et al. (2022)	Refinería petróleo	Oxidación	Fenol	99
Li et al. (2019)	Siderúrgica	Degradación mejorada	Fenol	90
Jagniyant et al. (2022)	Carbón	Adsorción	fenol	96

Fuente: Elaboración propia

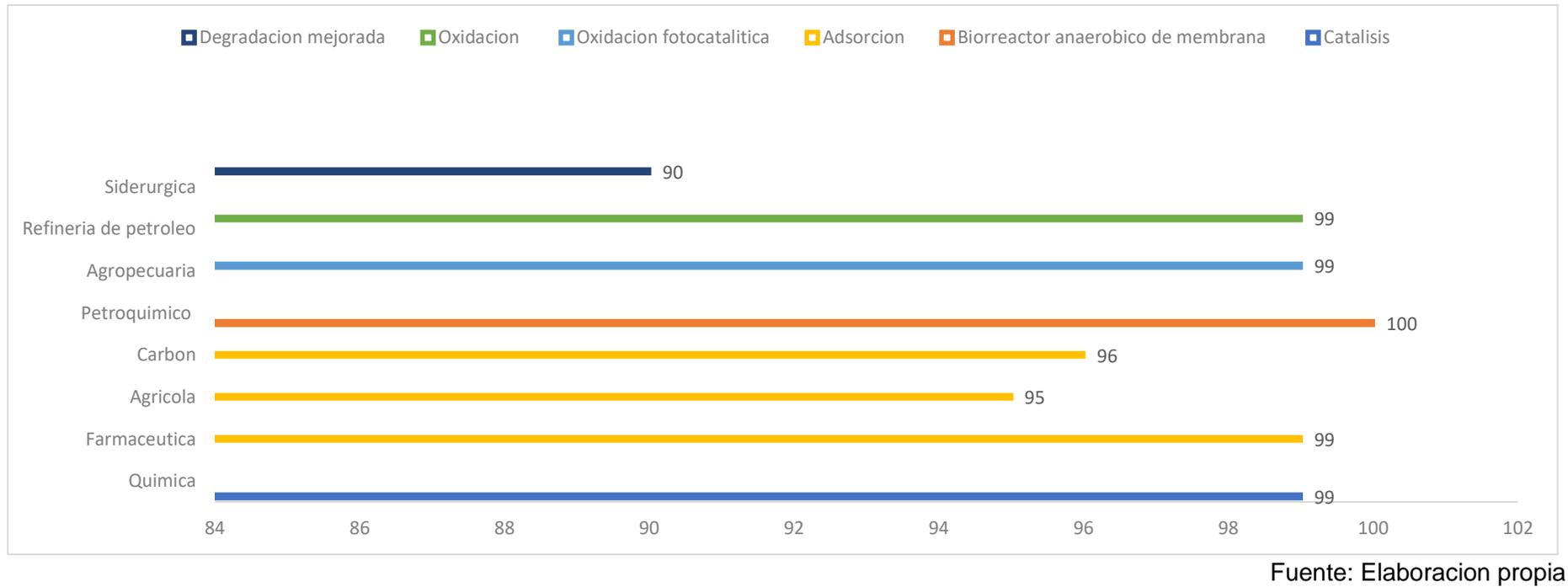


Figura 2. Técnicas más eficientes según el tipo de agua industrial

En la tabla 5. Se dio como respuesta al tercer objetivo las técnicas más eficientes según el tipo de agua industrial. Dado que las técnicas para la remoción de fenoles como la catálisis 99%, adsorción 99%, 95%, 96%, biorreactores anaeróbicos de membrana

100%, biorreactor de aireado por membrana 95%, oxidación foto catalítica 99%, oxidación 99%, degradación mejorada 90%. Corroborando esta información, Abdulrahman et al. (2021), menciona en su investigación que se logró la remoción fenólica de un 95% utilizando la técnica de adsorción ya que es considerada la más efectiva para la remoción de fenoles, ya sea en bajas concentraciones. Así mismo, en la tabla N°5 de resultados menciona la oxidación dando un resultado de 99% de remoción de fenólica en aguas de refinerías y agropecuarias. Así mismo Kuan Huan et al. (2022), en efecto la oxidación de fenoles se utiliza a más de 540 reacciones, ya que cubren los mecanismos de reacción más comunes, por lo tanto, la oxidación se encuentra entre las técnicas de tratamientos de agua más importantes para la eliminación de los contaminantes fenólicos en aguas residuales industriales. Kuan et al. (2017), menciona que la catálisis es una técnica eficaz para la eliminación de fenoles dando como resultado de un 100%. De tal manera tenemos la técnica de biorreactores anaeróbicos de membrana que tiene el 100% de remoción fenólica, contando con una alta transferencia de oxígeno, eficiencia, nitrificación y desnitrificación contribuyendo con la biodegradación de los P-nitrofenoles, cresoles.

V. CONCLUSIONES

Se ha identificado la presencia de los clorofenoles (2- clorofenol, 4- clorofenol), nitrofenoles (4- nitrofenol, p-nitrofenol, 2 nitrofenol), cresoles y fenoles. En las aguas residuales químicas, farmacéuticas, petroquímicas, agrícolas respectivamente.

Las técnicas que muestran mayor eficacia en la remoción de fenoles son la adsorción, biorreactor anaeróbico de membranas, catálisis, oxidación fotocatalítica que logran valores máximos alrededor de 99% y 100%.

La adsorción fue la técnica más utilizada para eliminar fenoles de los efluentes de industrias farmacéuticas, agrícolas y de carbón teniendo un porcentaje de remoción 99%,95%, 96% respectivamente. Sin dejar de lado la técnica de biorreactor anaeróbico de membrana aplicado en los efluentes de industrias petroquímicas obteniendo un 100% de remoción. Así mismo técnicas como la oxidación en refinería de petróleo con 99% y para aguas residuales agropecuarias la técnica de catálisis con un 99%.

VI. RECOMENDACIONES

Conocer la importancia de la remoción de los compuestos fenólicos presentes en las aguas residuales ya que estos no solo afectan al cuerpo de agua en el cual son vertidos, sino también, a las personas que consumen o dan otro uso a estas aguas contaminadas.

Considerar el uso de la técnica de adsorción, ya que tiene un buen porcentaje de remoción en diferentes tipos de aguas industriales, considerar que es una técnica económica y eco amigable.

Realizar estudios prácticos sobre los tratamientos de aguas residuales industriales, basadas al tipo de industria más utilizada, y que de tal manera sea económica. Así mismo crear conciencia a las empresas industriales, farmacéuticas, petroquímicas, agrícola, siderúrgica, etc.; que tomen la iniciativa de poder mejorar para así evitar las consecuencias que afectan a todo ser vivo, dar mejores alternativas para poder generar menores daños al medio ambiente.

REFERENCIAS

ABDULRAHMAN, et al. Removal of phenols and dyes from aqueous solutions by adsorption of graphene and graphene compounds: a review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. [en línea]. Volume 9. 2021. p 105858. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105858>. ISSN 2213-3437

ADEBAYO, et al. Removal of phenol and 4-nitrophenol from wastewater using a composite prepared from clay and Cocos nucifera shell: kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *Resources, Environment and Sustainability*. [en línea]. vol. 3, 2021, p. 100020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100020>. ISSN 2666-9161.

AL BSOUL, Abeer, et al. Efficient removal of phenol compounds from water environment using Ziziphus leaves adsorbent. *Science of The Total Environment*. [en línea]. vol. 761. 2021. p. 143229. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143229>. ISSN 0048-9697,

ALAMI, Abdul Hai, et al. Materials and logistics for carbon dioxide capture, storage and utilization. *Science of the Total Environment*, [en línea]. 2020, vol. 717, p. 137221. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137221>. ISSN: 0048-9697.

ALVIS Hernández, Yesica. Aplicación de las algas marinas para la bioadsorción de compuestos fenólicos en aguas residuales: Revisión sistemática, 2020. Tesis (Ingeniera Ambiental). Universidad Cesar Vallejo, 2020. 24-39pp.

AL-GHOUTI, Mohammad A., et al. Effective removal of phenol from wastewater using a hybrid process of graphene oxide adsorption and UV-irradiation. *Environmental Technology & Innovation*. [en línea]. vol. 27. 2022. p. 102525. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102525>. ISSN 2352-1864.

ANKU, William, et al. Phenolic compounds in water: sources, reactivity, toxicity and treatment methods. *Phenolic compounds-natural sources, importance and applications* [en línea]. p. 419-443. 2017, Disponible en: <https://www.intechopen.com/chapters/53973>

AL-OBAIDI, M. A.; et al. Economic removal of chlorophenol from wastewater using multi-stage spiral-wound reverse osmosis process: Simulation and

optimisation. *Journal of Water Process Engineering*. [en línea]. vol. 31. 2019. p. 100829. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100829>. ISSN 2214-7144.

A.S. Oliveira, et al. Aqueous phase reforming coupled to catalytic wet air oxidation for the removal and valorisation of phenolic compounds in wastewater. *Journal of Environmental Management*. [en línea]. Vol. 274. 2020. P.111199. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111199> .ISSN 0301-4797.

BHATIA, Pooja; NATH, Mala. Green synthesis of p-NiO/n-ZnO nanocomposites: Excellent adsorbent for removal of congo red and efficient catalyst for reduction of 4-nitrophenol present in wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 2020, vol. 33, p. 101017. *Journal of Water Process Engineering*, Volume 33, 2020, 101017, ISSN 2214-7144, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714419310207>)

BHATNAGAR, Amit; SILLANPÄÄ, Mika; WITEK-KROWIAK, Anna. Agricultural waste peels as versatile biomass for water purification—A review. *Chemical Engineering Journal*, [en línea]2015, vol. 270, p. 244-271. ISSN: 1385-8947. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.01.135>.

BHATIA, Pooja; NATH, Mala. Green synthesis of p-NiO/n-ZnO nanocomposites: Excellent adsorbent for removal of congo red and efficient catalyst for reduction of 4-nitrophenol present in wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 2020, vol. 33, p. 101017. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101017>

BIN-DAHMAN, Osamah A.; SALEH, Tawfik A. Synthesis of carbon nanotubes grafted with PEG and its efficiency for the removal of phenol from industrial wastewater. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 2020, vol. 13, p. 100286 ISSN: 2215-1532. .Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100286>.

BRANDÃO, Yana B., et al. Unconventional advanced oxidation technique: Evaporation liquid rate and phenolic compounds degradation evaluation and modelling/optimization process with CFD, RSM and ANNs. *Fuel*, 2021, vol. 300, p. 120967. ISSN 0016-2361 Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120967>

CAREGHINI, Alessandro, et al. Bisphenol A, nonylphenols, benzophenones, and benzotriazoles in soils, groundwater, surface water, sediments, and food: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, [en línea].2015, vol. 22, no 8, p. 5711-5741. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3974-5>

CENTENO, Guillermo, et al. Degradación de fenol e identificación por HPLC de los productos generados utilizando lodo rojo como catalizador en procesos de oxidación avanzada solar. *Revista INGENIERÍA UC*, [en línea]. 2020, vol. 27, no 2, p. 150-164. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/707/70764230004/70764230004.pdf> ISSN: 1316-6832

CHEN, Zhaobo, et al. Performance and methane fermentation characteristics of a pilot scale anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) for treating pharmaceutical wastewater containing m-cresol (MC) and iso-propyl alcohol (IPA). *Chemosphere*, 2018, vol. 206, p. 750-758. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653518308506>

DAHILI, Laura Amina; FECZKÓ, Tivadar. Cross-linking of horseradish peroxidase enzyme to fine particles generated by nano spray dryer B-90. *PERIODICA POLYTECHNICA-CHEMICAL ENGINEERING* [en línea]. 2015, vol. 59, no 3, p. 209-214. Disponible en: http://real.mtak.hu/30857/1/7590_13797_2_PB_u.pdf

DALANTA, Febio; KUSWORO, Tutuk Djoko. Synergistic adsorption and photocatalytic properties of AC/TiO₂/CeO₂ composite for phenol and ammonia-nitrogen compound degradations from petroleum refinery wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 2022, vol. 434, p. 134687. ISSN: 1385-8947. Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.134687>

DARGAHI, Abdollah, et al. Phenol removal from oil refinery wastewater using anaerobic stabilization pond modeling and process optimization using response surface methodology (RSM). *Desalination Water Treat*, [en línea]. 2017, vol. 87, p. 199-208. ISSN: 1944-3994

ESPINOZA, Andrea. Diseño y desarrollo de un sistema electroquímico para la eliminación de fenol de aguas residuales mediante la oxidación anódica. *Tesis (Ingeniero Químico)*. Universidad Politécnica Madrid, 2017. 41-65pp. Disponible en: <https://oa.upm.es/45199/>

FRANCO, Dison SP, et al. Highly effective adsorption of synthetic phenol effluent by a novel activated carbon prepared from fruit wastes of the *Ceiba speciosa* forest species. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, vol. 9, no 5, p. 105927. Volume 9, Issue 5, 2021, 105927, ISSN 2213-3437, Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343721009040>

GARCÍA, Eddy Gabriel Jirón, et al. Extracción de fenol de aguas de residuo utilizando aceite de canola como disolvente orgánico en un proceso de membrana

líquida. Ingeniería. *Revista de la Universidad de Costa Rica*, [en línea], 2019, vol. 29, no 1, p. 93-111. ISSN: 2215-2652.. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/34165> .

GHOBASHY, Mohamed M., et al. Radiation induced in-situ cationic polymerization of polystyrene organogel for selective absorption of chlorophenols from petrochemical wastewater. *Journal of environmental management*, 2018, vol. 210, p. 307-315. Mohamed M. Ghobashy, Sherif A. Younis, Mohamed A. Elhady, Philippe Serp. ISSN 0301-4797. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718300173>

GUO, Chao, et al. Development of synergistic extraction process for highly efficient removal of phenols from coal gasification wastewater. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. 2019, vol. 211, p. 380-386.

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618336308>. ISSN: 0959-6526.

HAMAD, Huda T. Removal of phenol and inorganic metals from wastewater using activated ceramic. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 2021, vol. 33, no 4, p. 221-226. Huda T. Hamad, *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, Volume 33, Issue 4, 2021, Pages 221-226, Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018363920302257>. ISSN 1018-3639,

HERNÁNDEZ-FRANCISCO, E.; PERAL, José; BLANCO-JEREZ, L. M. Removal of phenolic compounds from oil refinery wastewater by electrocoagulation and Fenton/photo-Fenton processes. *Journal of Water Process Engineering*, 2017, vol. 19, p. 96-100. Volume 19, 2017, Pages 96-100. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714417301447>. ISSN: 0959-6526.

HASSAN, Ahmed A., et al. Aromatic free Fenton process for rapid removal of phenol from refinery wastewater in an oscillatory baffled reactor. *Arabian Journal of Chemistry*, 2022, vol. 15, no 5, p. 103635. Volume 15, Issue 5, 2022, 103635. Disponible en: (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187853522100650X>.. ISSN 1878-5352.

HUANG, Tao, et al. Synthesis of novel CdSe QDs/BiFeO₃ composite catalysts and its application for the photo-Fenton catalytic degradation of phenol. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2020, vol. 8, no 5, p. 104384. Volume 8, Issue 5, 2020, 104384. Disponible en: (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343720307338>. ISSN 2213-3437.

HU, Chechia, et al. MIL-88B (Fe)-coated photocatalytic membrane reactor with highly stable flux and phenol removal efficiency. *Chemical Engineering Journal*, 2021, vol. 418, p. 12946. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894721010561>. ISSN 1385-8947

KARIIM, I.; ABDULKAREEM, A. S.; ABUBAKRE, O. K. Development and characterization of MWCNTs from activated carbon as adsorbent for metronidazole and levofloxacin sorption from pharmaceutical wastewater: kinetics, isotherms and thermodynamic studies. *Scientific African*, 2020, vol. 7, p. e00242. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00242>

KINIDI, Lennevey, et al. Recent development in ammonia stripping process for industrial wastewater treatment. *International Journal of Chemical Engineering*, [en línea]. 2018, vol. 2018. ISSN: 3181087. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/ijce/2018/3181087/>

KHOSHTINAT, Feyzollah, et al. Phenol removal kinetics from synthetic wastewater by activation of persulfate using a catalyst generated from shipping ports sludge. *Chemosphere*, 2021, vol. 283, p. 131265. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653521017379>. ISSN 0045-6535.

KUSWORO, Tutuk et al., Phenol and ammonia removal in petroleum refinery wastewater using a poly (vinyl) alcohol coated polysulfone nanohybrid membrane. *Journal of Water Process Engineering*, 2021, vol. 39, p. 101718. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714420305961>. ISSN 2214-7144.

KUAN LUN Pan et al., Removal of phenol from gas streams via combined plasma catalysis, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Volume 52, 2017, Pages 108-120. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226086X1730148X>. , ISSN 1226-086.

Kuan Huang, Huichun Zhang, A comprehensive kinetic model for phenol oxidation in seven advanced oxidation processes and considering the effects of halides and carbonate, *Water Research X*, Volume 14, 2022, 100129. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589914721000426>. ISSN 2589-9147.

LAKSHMI, S., et al. Studies on different methods for removal of phenol in waste water-Review. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research* [en línea].2016, vol. 5, no 7, p. 2488 2496.Disponible en: <https://docplayer.net/81078873-Studies-on-different-methods-for-removal-of-phenol-in-waste-water-review.html>

LUNAGARIYA, Jagniyant, et al. Application of Taguchi Method in Activated Carbon Adsorption Process of Phenol Removal from Ceramic Gasifier Wastewater. *Environmental Challenges*, 2022, p. 100450. Volume 6, 2022, 100450, Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667010022000105> .ISSN 2667-0100.

MA, Weiwei, et al. The mechanism of synergistic effect between iron-carbon microelectrolysis and biodegradation for strengthening phenols removal in coal gasification wastewater treatment. *Bioresource technology*, 2019, vol. 271, p. 84-90. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852418313373>

MANDAL, et al. Phenol removal from wastewater using low-cost natural bioadsorbent neem (*Azadirachta indica*) leaves: adsorption study and MLR modeling. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 2020, vol. 17, p. 100308. Volume 17, 2020, 100308,ISSN 2352-5541, Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352554120303223>

MATTHEW A. Adebayo, Felicia I. Areo, Removal of phenol and 4-nitrophenol from wastewater using a composite prepared from clay and *Cocos nucifera* shell: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies, *Resources, Environment and Sustainability*, Volume 3, 2021, 100020, ISSN 2666-9161, Disponible en:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666916121000074>

MAREAI, Basim M., et al. Performance comparison of phenol removal in pharmaceutical wastewater by activated sludge and extended aeration augmented with activated carbon. *Alexandria Engineering Journal*, 2020, vol. 59, no 6, p. 5187-5196. Volume 59, Issue 6, 2020, Pages 5187-5196, ISSN 1110-0168, Disponible en: (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016820305056>).

MOHAMMAD A. Al-Ghouti, Jannatul Sayma, Nazmin Munira, Dalia Mohamed, Dana A. Da'na, Hazim Qiblawey, Abedalkader Alkhouzaam, Effective removal of phenol from wastewater using a hybrid process of graphene oxide adsorption and UV-irradiation, *Environmental Technology & Innovation*, Volume 27, 2022, 102525,

ISSN 2352-1864, Disponible en:
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186422001304>)

MOHAMMADI, Shohreh, et al. Phenol removal from industrial wastewaters: a short review. *Desalination and Water Treatment* [en línea]. 2015, vol. 53, no 8, p. 2215-2234. Disponible en:
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19443994.2014.883327>

MEI, Xiang, et al. Simultaneous p-nitrophenol and nitrogen removal in PNP wastewater treatment: comparison of two integrated membrane-aerated bioreactor systems. *Journal of hazardous materials*, 2019, vol. 363, p. 99-108. Volume 363, 2019, Pages 99-108, ISSN 0304-3894, Disponible en :
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389418308665>)

MU'AZU, Nuhu Dalhat, et al. Removal of phenolic compounds from water using sewage sludge-based activated carbon adsorption: a review. *International Journal of Environmental* [en línea]. 2017, vol. 14, no 10, p. 1094. Disponible en:
<https://www.mdpi.com/1660-4601/14/10/1094>

NGUYEN LE, Minh, et al. Removal of phenolic compounds from wastewaters by using synthesized Fe-nano zeolite. *Journal of Water Process Engineering*, [en línea]. 2020, vol. 33, p. 101070. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714419316563>. ISSN: 2214-7144.

OLIVEIRA, A. S., et al. Aqueous phase reforming coupled to catalytic wet air oxidation for the removal and valorisation of phenolic compounds in wastewater. *Journal of Environmental Management*, 2020, vol. 274, p. 111199. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720311245>

OROZCO, Ferro, et al. Biodegradation of bisphenol A and its metabolic intermediates by activated sludge: stoichiometry and kinetics analysis. *International Biodeterioration & Biodegradation*, [en línea]. 2016, vol. 106, p. 1-9. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964830515301025>

OSAMAH A. Bin-Dahman, Tawfik A. Saleh, Synthesis of carbon nanotubes grafted with PEG and its efficiency for the removal of phenol from industrial wastewater, *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, Volume 13, 2020, 100286. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215153219303083>, ISSN 2215-1532.

OZAY, Yasin; DIZGE, Nadir. The effect of pre-treatment methods on membrane flux, COD, and total phenol removal efficiencies for membrane treatment of pistachio wastewater. *Journal of Environmental Management*, [en línea]. 2022, vol. 310, p. 114762. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722003358> . , ISSN 0301 4797.

Raghuvir Singh, R.K. Dutta, Desavath V. Naik, Anjan Ray, Pankaj K. Kanaujia, High surface area Eucalyptus wood biochar for the removal of phenol from petroleum refinery wastewater, *Environmental Challenges*, Volume 5, 2021, 100353. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667010021003279> . , ISSN 2667-0100.

REA, Victor S. Garcia, et al. Degradation of p-cresol, resorcinol, and phenol in anaerobic membrane bioreactors under saline conditions. *Chemical Engineering Journal*, 2022, vol. 430, p. 132672. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894721042509>. ISSN 1385-8947.

SAID, Khairul Anwar Mohamad, et al. A review of technologies for the phenolic compounds recovery and phenol removal from wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*, 2021, vol. 151, p. 257-289. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.05.015>

SINGH, Raghuvir, et al. High surface area Eucalyptus wood biochar for the removal of phenol from petroleum refinery wastewater. *Environmental Challenges*, 2021, vol. 5, p. 100353. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667010021003279>

SHIM, Jaehong, et al. Removal of p-cresol and tylosin from water using a novel composite of alginate, recycled MnO₂ and activated carbon. *Journal of hazardous materials*, 2019, vol. 364, p. 419-428. Volume 364, 2019, Pages 419-428. Disponible en: (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389418308598>). ISSN 0304-3894.

SHOKOOHI, Reza, et al. Survey on efficiency of BF/AS integrated biological system in phenol removal of wastewater. *Desalination and Water Treatment*, [en línea].

2017, vol. 82, p. 315-321. Disponible en línea: https://www.deswater.com/DWT_articles/vol_82_papers/82_2017_315.pdf ISSN: 1944-3986.

UDAIYAPPAN, Ainil Farhan Mohd, et al. A review of the potentials, challenges and current status of microalgae biomass applications in industrial wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*, [en línea] .2017, vol. 20, p. 8-21. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714417303549> ISSN: 2214-7144.

VILLEGAS, Laura G. Cordova, et al. A short review of techniques for phenol removal from wastewater. *Current Pollution Reports*, [en línea]. 2016, vol. 2, no 3, p. 157-167. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s40726-016-0035-3.pdf>

WANG, Guifang, et al. Simultaneous removal of Zn²⁺ and p-nitrophenol from wastewater using nanocomposites of montmorillonite with alkyl-ammonium and complexant. *Environmental Research*, 2021, vol. 201, p. 111496. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935121007908>

WU, Haixia, et al. Removal of ammonia nitrogen and phenol by pulsed discharge plasma combined with modified zeolite catalyst. *Journal of Environmental Management*, 2021, vol. 299, p. 113590. ISSN 0301-4797, Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721016522>

XIONG, Zhaokun, et al. Removal of nitrophenols and their derivatives by chemical redox: A review. *Chemical Engineering Journal*, 2019, vol. 359, p. 13-31. ISSN: 1385-8947. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894718323453>

XIONG, Zhaokun et al. Degradation of p-nitrophenol (PNP) in aqueous solution by a micro-size Fe⁰/O₃ process (mFe⁰/O₃): Optimization, kinetic, performance and mechanism. *Chemical Engineering Journal*. 2016. Volume 302.p. 137-145. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.05.052> ., ISSN 1385-8947.

YOUNIS, Sherif A., et al. A strategy for the efficient removal of chlorophenols in petrochemical wastewater by organophilic and aminated silica@ alginate microbeads: Taguchi optimization and isotherm modeling based on partition coefficient. *Journal of hazardous materials*, 2020, vol. 397, p. 122792. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389420307810> . . ISSN 0304-3894.

YANGUI, Asma; ABDERRABBA, Manef; SAYARI, Abdelhamid. Amine-modified mesoporous silica for quantitative adsorption and release of hydroxytyrosol and other phenolic compounds from olive mill wastewater. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2017, vol. 70, p. 111-118. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S187610701630445X>. ISSN 1876-1070,

ZHANG, Meng, et al. Ultrasound-assisted electrochemical treatment for phenolic wastewater. *Ultrasonics sonochemistry*, [en línea]. 2020, vol. 65, p. 105058 Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350417719317493>. ISSN: 1350-4177.

ANEXOS

Anexo N.º 1. Matriz apriorística- Técnicas de remoción de fenoles

ÁMBITO TEMÁTICO	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVO ESPECÍFICO	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA
Técnicas de remoción de fenoles en aguas residuales industriales	¿Cuáles son las técnicas mas efectivas para la remoción de fenoles en aguas residuales industriales?	Evaluar las técnicas de remoción de fenoles en aguas residuales que muestren la mejor efectividad	Establecer los tipos de compuestos fenólicos en aguas residuales industriales	Tipos de compuestos fenólicos	<ul style="list-style-type: none"> - Fenol - Cresoles - Clorofenoles - Nitrofenoles
			Evaluar la remoción de fenol según el tipo de técnica a aplicar en las aguas residuales industriales	Físico	<ul style="list-style-type: none"> -Adsorción - Filtración - Coagulación
				Químico	<ul style="list-style-type: none"> - Foto degradación - Oxidación - Electrocoagulación - Electro-Fenton.
				Biológico	<ul style="list-style-type: none"> -Degradación Ezintomatica - Degradación De Membrana,
Evaluar las técnicas mas efectivas según el tipo de agua residual industrial	Tipos de industrias	<ul style="list-style-type: none"> - Refinerías de petróleo - Petroquímico - Agropecuaria - Siderurgica - Industrias Farmacéuticas 			

Fuente: Elaboración propia

Anexo N.º 2: Ficha de recolección de datos

N.º	Autores	Tipo de industria	Método	Técnica	Compuesto fenólico	Dosis del material (g/L)	Concentración (mg/L)	Ph	Tiempo (min)	Temperatura (C)	Remoción (%)

Fuente: elaboración propia