



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Estudio de Purificación de Aguas Residuales mediante
Fotodegradación y Adsorción empleando Materiales de Desechos:
Revisión sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Ambiental

AUTORA:

Javier Arce, Nadia Nataly (orcid.org/0000-0003-2827-2887)

ASESOR:

Mg. Ugarte Alván, Carlos Alfredo (orcid.org/0000-0001-6017-1192)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

Dentro mi recorrido por la vida me pude dar cuenta de que hay cosas para las que soy bueno encontré destrezas y habilidades que jamás pensé, desarrollar en mí, sé que se puede obtener mejor resultados con la ayuda y compañía perfecta.

Por esto mismo quiero dedicar esta tesis a mi hija Cataleya, es la persona que motiva mi vida y me enseña mejor cada día.

Agradecimientos

Agradezco a la universidad por haberme dado la oportunidad de lograr un objetivo más en mi vida.

Índice de contenido

Carátula.....	ii
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	17
3.1. Tipo y diseño de investigación	17
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización	17
3.3. Escenario de estudio.....	19
3.4. Participantes	19
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	19
3.6. Procedimiento	19
3.7. Rigor científico	21
3.8. Método de análisis de información	21
3.9. Aspectos éticos.....	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
V. CONCLUSIONES	36
VI. RECOMENDACIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Varios impactos peligrosos de diferentes HM en la salud humana</i>	10
<i>Tabla 2. Matriz de Categorización Apriorística</i>	18
<i>Tabla 3. Eficiencia de fotodegradación y adsorción</i>	23
<i>Tabla 4. Tipos de materiales de desechos competentes con mayor uso</i>	27
<i>Tabla 5. Diferencias entre condiciones de uso en la aplicación de fotodegradación y adsorción</i>	31

Índice de gráficos

<i>Gráfico 1. Procedimiento de selección de artículos</i> -----	20
<i>Gráfico 2. Eficiencia de degradación de contaminantes en aguas residuales por adsorción</i> -----	25
<i>Gráfico 3. Eficiencia de degradación de contaminantes en aguas residuales por fotodegradación</i> -----	25
29	

Índice de figuras

<i>Figura 1. Contaminación del agua por metales pesados</i> -----	10
<i>Figura 2. Materiales funcionales para la purificación de aguas residuales</i> -----	12
<i>Figura 3. Conversión de desechos sólidos en catalizadores heterogéneos mediante diversas tecnologías</i> -----	13
<i>Figura 4. Contaminación del agua por metales pesados</i> -----	14
<i>Figura 5. Catalizadores de un solo átomo derivados de residuos para la fotodegradación de contaminantes</i> -----	15

Resumen

El objetivo del presente trabajo se enfocó en determinar cuál es la importancia de la fotodegradación y adsorción empleando materiales de desechos en la purificación de aguas residuales, para lo cual el tipo de investigación fue básico de diseño narrativo; donde usando diversas técnicas y métodos se obtuvo los siguientes resultados:

La eficiencia de fotodegradación y adsorción de contaminantes en aguas residuales mediante el uso de materiales de desechos presentan una eficiencia de purificación alta; donde sus promedios de eficiencia se encuentran en un promedio del 90 al 100% y del 80 al 90% respectivamente. Los tipos de materiales de desechos competentes con mayor uso son los desechos de biomasa (54%), los desechos industriales (25%), desechos eléctricos (21%). Siendo entre los tres tipos de clases de desechos los de biomasa fueron los más utilizados. Las diferencias en las condiciones usadas para la aplicación de fotodegradación y adsorción de contaminantes en aguas residuales mediante el uso de materiales de desechos se da mediante los parámetros pH, tiempo y Temperatura. Teniendo que el pH óptimo de adsorción es a condiciones ácidas; siendo ello corroborado por 21 de los 24 autores, en condiciones de temperatura ambiente y en tiempos cortos.

Palabras clave: residual, fotodegradación, adsorción, desechos, residuos

Abstract

The objective of this work focused on determining the importance of photodegradation and adsorption using waste materials in the purification of wastewater, for which the type of research was basic narrative design; where using various techniques and methods the following results were obtained:

The efficiency of photodegradation and adsorption of pollutants in wastewater through the use of waste materials has a high purification efficiency, with average efficiencies ranging from 90 to 100% and 80 to 90%, respectively. The types of competent waste materials with the highest use are biomass waste (54%), industrial waste (25%), electrical waste (21%). Among the three types of waste, biomass waste was the most used. The differences in the conditions used for the application of photodegradation and adsorption of pollutants in wastewater through the use of waste materials are given by the parameters pH, time and temperature. The optimum pH for adsorption was found to be at acidic conditions; this was corroborated by 21 of the 24 authors, under ambient temperature conditions and in short times.

Key words: residual, photodegradation, adsorption, waste, residues.

I. INTRODUCCIÓN

Entre todos los recursos naturales, el agua es el recurso más valioso que existe en este planeta (Elisante E. y Muzuka A., 2017, p.2). En el escenario actual, en todo el mundo, más de 780 millones de personas no tienen acceso a agua potable y segura, lo que en última instancia deteriora su salud (Ahamad Arif et al., 2020, p.1).

Todo individuo tiene derecho a disponer de agua libre de contaminación, pero debido a la urbanización desenfrenada, la industrialización y el crecimiento descontrolado de la población, se ha incrementado la presión sobre los recursos hídricos disponibles (Sharma Sonali et al., 2020, p.3). La sobre población afecta los recursos hídricos existentes (aguas superficiales y subterráneas), lo que conduce a la escases de agua limpia (Wang Qiang et al., 2021, p.1).

La contaminación del agua es un problema ambiental global emergente que causa efectos adversos en la salud humana e impactos dañinos en el medio ambiente (Appiah Kengsley et al., 2022, p.2). Encontrándose como principales contaminantes los metales pesados, las moléculas de tinte y los compuestos tóxicos liberados por las aguas residuales industriales (Deka Rahul et al., 2022, p.3).

Ante ello, según el Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo de las Naciones Unidas de 2020, alrededor de 4 000 millones de personas se enfrentan a una grave escasez física de agua durante al menos un mes al año (PlotnTee Guat Teng et al., 2022, p.3). Además, alrededor de 1 millón de especies animales y vegetales están en peligro de extinción, especialmente las especies de agua dulce (Menéndez Daniel et al., 2022, p.2).

Como consecuencia del problema mencionado es que se genera la preocupación global por solucionar la escasez hídrica y la contaminación de esta, ya que, es una preocupación importante para la salud pública y obtener un futuro sostenible (Uddin Md et al., 2021, p.3).

Ante ello, para solucionar el problema de la escasez hídrica y generar a la población un suministro de agua limpia libre de contaminantes, es urgente purificar las aguas residuales con métodos efectivos (Wu Yuanyuan et al., 2022, p.2). Pero la gran mayoría de los métodos existentes emplean materiales costosos, por lo que, los materiales rentables son muy favorables; siendo así como los métodos que empleen

materiales de desechos son de gran importancia (Li Ning et al., 2022, p.3). Estos materiales al ser de desechos son de bajo costo en su mayoría con propiedades físicas y químicas flexibles para la adsorción de diversos contaminantes presentes en las aguas residuales (Liu Lingqin et al., 2019, p.4).

Además, el uso de dichos materiales como los residuos de cosechas o forestales vienen siendo analizados mediante la aplicación de adsorción y degradación fotocatalítica; siendo que, estos métodos pueden convertir con éxito varios desechos sólidos en materiales funcionales para la purificación de aguas residuales (Ahmad T. y Danish M., 2018, p.2).

Por lo tanto, mediante lo expuesto se detalla el planteamiento del problema general del estudio: ¿Cuál es la importancia de la fotodegradación y adsorción empleando materiales de desechos en la purificación de aguas residuales?, mientras que los problemas específicos vienen siendo:

PE1: ¿Cuáles es la eficiencia de fotodegradación y adsorción de contaminantes en aguas residuales mediante el uso de materiales de desechos?

PE2: ¿Cuáles son los tipos de materiales de desechos competentes con mayor uso como adsorbentes para la eliminación de contaminantes en aguas residuales?

PE3: ¿Cuáles son las diferencias en la comparación de las condiciones usadas para la aplicación de fotodegradación y adsorción de contaminantes en aguas residuales mediante el uso de materiales de desechos?

Así mismo, el objetivo del estudio es:

Determinar cuál es la importancia de la fotodegradación y adsorción empleando materiales de desechos en la purificación de aguas residuales. Así mismo, los objetivos específicos se plantearon de la siguiente manera:

OE1: Comparar cuál es la eficiencia de fotodegradación y adsorción de contaminantes en aguas residuales mediante el uso de materiales de desechos

OE2: Clasificar los tipos de materiales de desechos competentes con mayor uso como adsorbentes para la eliminación de contaminantes en aguas residuales

OE3: Identificar cuáles son las diferencias de las condiciones usadas para la aplicación de fotodegradación y adsorción de contaminantes en aguas residuales mediante el uso de materiales de desechos

Debido a la urgencia de revisar exhaustivamente los avances en materiales de bajo costo derivados de desechos para la remediación de aguas residuales; se realizará la búsqueda y recolección de diversos estudios a nivel nacional e internacional sobre la purificación de aguas residuales mediante fotodegradación y adsorción empleando materiales de desechos; por lo que el trabajo de investigación presenta una justificación teórica: teniendo como finalidad buscar desarrollar estrategias eficientes para convertir los desechos sólidos en materiales funcionales con características deseables para la purificación de aguas residuales.

II. MARCO TEÓRICO

Liu Lingqin et al., (2019, p.1); en su estudio “Características y mecanismo de adsorción de Pb(II) por biochares derivados de residuos agrícolas producidos a partir de un sistema de pirólisis a escala piloto”, tiene como objetivo investigar la viabilidad de eliminar Pb²⁺ mediante biocarbón en lecho fluidizado a escala piloto, y luego presentar un progreso de pirólisis en lecho fluidizado a escala industrial de cogeneración de biocarbón y gas a alta temperatura. Para lo cual se repararon biocarbón de tallo de maíz (CSB) a 400–600 °C, en los que la capacidad máxima de adsorción de Pb²⁺ (Q_m) de CSB450 es de 49,70 mg·g⁻¹ en condiciones óptimas. Donde el intercambio iónico, la formación de complejos y la precipitación mineral contribuyeron juntos a la adsorción²⁺Para los CSB de alta temperatura con menos grupos funcionales de oxígeno (OFG) y una aromatización más fuerte, se redujo la adsorción de Pb²⁺por intercambio iónico y la formación de complejos de grupos funcionales. La precipitación mineral se formó durante el proceso de adsorción. Usando el lecho fluidizado a escala piloto en este estudio, el rendimiento de carbono por año alcanzaría las 31,79 t y alrededor de 1,58 t de Pb²⁺se adsorbería de acuerdo con la capacidad de adsorción a la temperatura pirolítica de 450 °C.

Padhi Manas K. et al., (2022, p.1); en su estudio experimental tuvo como objetivo aplicar la arcilla de montmorillonita generada a partir del residuo sólido como sistema fotocatalítico eficiente para la eliminación de contaminantes acuáticos; donde la metodología consistió en activar con ácido y montmorillonita (arcilla M) en diferentes proporciones molares a través del método de impregnación asistida por plantilla y se utilizó para la oxidación fotocatalítica de fenol y la reducción de Cr⁶⁺. De la XRD, la presencia de hematites (Fe₂O₃) y goethita (FeOOH) en lodo rojo activado. Obteniendo que los huecos de electrones tienen una gran importancia en la aplicación fotocatalítica; además, la recolección adecuada de luz, los sitios activos de superficie, la separación de carga fotogenerada y la recombinación reducida de huecos de electrones de RMM11 mejoran la eficiencia de fotooxidación del fenol (95 %) y la fotorreducción de Cr⁶⁺(97%) en comparación con el resto del material sintetizado.

Zeng Qiang et al., (2021, p.1); en su estudio “Lixiviación ecológica de rubidio a partir de minerales que contienen biotita con ácido oxálico y eliminación eficaz de Hg²⁺ de la solución acuosa utilizando los residuos de lixiviación”, se lixivió rubidio de minerales que contenían biotite con ácido oxálico y los residuos de lixiviación se usaron para

eliminar el Hg 2+ de la solución acuosa. Donde, los resultados mostraron que la eficiencia de lixiviación del rubidio fue del 96,54% a 90 °C cuando el ácido oxálico concentración fue de 3 mol/L después de una reacción de 120 min. Más del 75% de hierro se reservó en los residuos de lixiviación, lo que fue favorable para la posterior extracción de rubidio del lixiviado. Se encontró que los residuos de lixiviación podían eliminar eficientemente el Hg 2+, y la eficiencia de eliminación de Hg 2+ alcanzó el 97,59 % a una concentración inicial de 100 mg/L y un pH de 2. La capacidad máxima de eliminación de Hg 2+ de los residuos de lixiviación fue identificado como 357,14 mg/g, y los resultados de la cinética y la termodinámica mostraron que la eliminación de Hg 2+ dependía principalmente de la quimisorción y la adsorción en monocapa.

Zhu Yanchen et al., (2021, p.1); en su estudio “Material de biomasa compuesto similar al coralino derivado de desechos de cría para la eliminación eficiente de iones de metales pesados”, convirtieron los desechos de estiércol de vaca con éxito en el material compuesto de biomasa para la eliminación eficiente de iones de metales pesados. Se descubrió un mecanismo de grabado selectivo de la celulosa en el proceso de tratamiento con LiBr, logrando la preparación a gran escala de material de biomasa porosa similar a la coralina con una superficie específica cien veces mayor. Beneficiándose de la codeposición de polietilimina y Fe₃O₄, el material fabricado mostró una capacidad de adsorción significativamente mayor (183,82 y 231,48 mg·g⁻¹ para Cu²⁺ y Cd²⁺) que la del estiércol crudo de vaca (0,95 y 1,25 mg·g⁻¹ para Cu²⁺ y Cd²⁺). Además, este adsorbente de biomasa compuesta también exhibió un equilibrio de adsorción rápida, capacidad de separación magnética, característica de quimisorción monocapa y uso de reciclaje factible.

Ibrahim Mohamed M. et al., (2021, p.2); en su trabajo “Un adsorbente sencillo y rentable derivado de la escoria industrial de fabricación de hierro para la eliminación de uranio”, el adsorbente sólido Al₂O₃-SiO₂-BFS (AS-BFS) se desarrolló a partir de escoria de alto horno (BFS). La potencialidad del AS-BFS para la remoción de iones de uranio de un medio acuoso, vía el método discontinuo, fue explorada y desaprovechada en términos de propiedades dinámicas e isotérmicas. El adsorbente exhibió una buena reutilización, una alta capacidad para los iones de uranio y una buena área de superficie específica. Los resultados mostraron que el adsorbente evacuó uranio a aproximadamente 88,5 mg/g. Concluyendo que el sorbente

representa un prometedor sustituto derivado de desechos para otros sorbentes para el tratamiento de agua.

Vijayaraghavan K. y Balasubramanian R., (2021, p.2); en su trabajo “Aplicación de biocarbón derivado de residuos de madera de pino para la eliminación de nitrato y fosfato de soluciones simples y binarias”; desarrolló biocarbón por pirólisis de residuos de madera de pino a diferentes temperaturas e investigamos su potencial para formar nitratos y fosfatos a partir de soluciones simples y binarias. Donde, se llevó a cabo una caracterización en profundidad del biocarbón para estudiar sus características físicas, morfológicas superficiales y químicas utilizando análisis de difracción de rayos X, infrarrojos transformados de Fourier y microscopía electrónica de barrido. Se examinó el impacto de las temperaturas de pirólisis (300–600 °C) en el rendimiento del biocarbón, la composición elemental del biocarbón y sus características de adsorción. Los resultados revelaron que el biocarbón derivado de la madera de pino tuvo su máximo rendimiento a pH 2, con consumos de equilibrio previstos de 20,5 y 4,20 mg/g para fosfato y nitrato, respectivamente, en concentraciones iniciales de soluto de 60 mg/L en 360 min. Los experimentos cinéticos de soluto dual mostraron que alrededor del 95 % del fosfato se eliminó en 45 min. mientras que se necesitaron 240 min para lograr una eliminación total de nitrato del 95 % de la mezcla. Por lo tanto, el biocarbón elimina el fosfato preferentemente con alta selectividad en comparación con el nitrato.

Dolatabad A. et al., (2022, p.1); en su artículo utilizó como material a la cáscara de arroz proveniente de desechos para determinar la adsorción de sulfato de una solución acuosa, se ha investigado la adsorción de iones de sulfato en un compuesto novedoso que contiene desechos industriales (lodo rojo) y agrícolas (cáscara de agua), preparado mediante un proceso hidrotermal de un solo paso, en un sistema por lotes mediante el método OFAT. Los procesos de pretratamiento y preparación del compuesto condujeron a una mejora morfológica del adsorbente. Las condiciones óptimas de adsorción se determinaron como tiempo de equilibrio de 90 min, concentración inicial de 100 ppm, pH = 4, temperatura de 65 °C y 7,5 g L⁻¹ dosis del adsorbente. Como resultados, la eficiencia de eliminación de sulfato fue del 93,1% en las condiciones óptimas y el análisis termodinámico de adsorción mostró que el proceso de adsorción a todas las temperaturas analizadas se produjo de forma

espontánea y las partículas compuestas cargadas habían mostrado estabilidad en una amplia gama de pH.

Mukherjee Shraboni et al., (2021, p.2); en su investigación “Optimización de la absorción de fluoruro que influye en los parámetros del carbón activado derivado de residuos de la industria papelera”, enfatiza en la adsorción de fluoruro por residuos de papel industrial (PWA) activados químicamente en medio acuoso. Sorción proceso fue modelado y optimizado utilizando las técnicas a saber; metodología de superficie de respuesta (RSM), red neuronal artificial (ANN) y algoritmo genético (GA). Se evaluaron los efectos paramétricos del pH, la concentración de adsorbato, la duración del contacto, la temperatura y la dosis de PWA sobre el porcentaje de eliminación. Las morfologías estructurales de PWA se analizaron utilizando BET, SEM, EDX y FTIR. Donde los resultados muestran que se observó una remoción máxima de más del 99% a una concentración de adsorbato de 12 mg/L, pH 5, temperatura de 25 °C y dosis de PWA de 0,3 g/L y duración del contacto de 18 h. El proceso de adsorción se ajusta al modelo de isoterma de Langmuir, y el proceso es termodinámicamente factible y de naturaleza espontánea según se obtiene del estudio termodinámico. El PWA es reutilizable y capaz de absorber el 96,7 % del fluoruro total incluso después de cuatro ciclos de uso.

Van Huu Tap et al., (2021, p.1); en su estudio “La mejora de la adsorción de rojo reactivo 24 de una solución acuosa utilizando biocarbón derivado de residuos agrícolas modificado con nanopartículas de ZnO”, se utilizaron dos tipos de desechos agrícolas, bagazo de caña de azúcar (SB) y cáscara de raíz de yuca (CRH), para fabricar biocarbón. Los biochares prístinos derivados de SB y CRH (SBB y CRHB, respectivamente) se modificaron usando nanopartículas de ZnO para generar biochars modificados (SBB-ZnO y CRHB-ZnO, respectivamente) para la eliminación de Reactive Red 24 (RR24) de aguas residuales estimuladas. Donde, los resultados indican que los biocarbón derivados de SB y CRH con una relación de carga de nanopartículas de ZnO del 3 % en peso podrían generar capacidades máximas de adsorción de RR24 gracias al doble crecimiento en la superficie BET de los biocarbón modificados. Las capacidades de adsorción RR24 de CRHB-ZnO₃ y SBB-ZnO₃ alcanzaron 81,04 y 105,24 mg g⁻¹, respectivamente, que fueron mucho más altos que los de CRHB y SBB prístinos (66,19 y 76,14, respectivamente) a una concentración inicial de RR24 de 250 mg L⁻¹, pH 3 y tiempo de contacto de 60 min.

Jung K. et al., (2020, p.2); en su trabajo empleando un compuesto carbonoso poroso elaborado producto de un producto desea determinar su potencial como adsorbente para clorhidrato de tetraciclina antibiótica, donde, recuperaron con éxito H₂BDC de botellas de desecho de tereftalato de polietileno (PET) mediante hidrólisis alcalina catalizada por transferencia de fase asistida por ultrasonido en condiciones suaves. Las condiciones del proceso se optimizaron estadísticamente aplicando la metodología de superficie de respuesta (RSM) basada en el diseño de Box-Behnken. Como resultado, se logró una recuperación de 99,91 a 100 % de H₂BDC en las siguientes condiciones optimizadas: concentración de NaOH = 14,5 %; temperatura = 83,2 °C; y tiempo = 1,5 h. Se utilizó H₂BDC de alta pureza (3C) derivado de MOF a base de hierro, y su utilización como adsorbente para la eliminación de TCH de una solución acuosa fue investigado. Teniendo en cuenta su excelente reutilización y separabilidad magnética, el compuesto -Fe/Fe₃C mostró un inmenso potencial para la remediación de aguas residuales contaminadas con antibióticos.

Chang Shih-Hsien et al., (2022, p.1); en su estudio utilizó residuos de poliestireno para su reutilización como un adsorbente para eliminar el antibiótico fluoroquinolona del agua, el EPS de desecho se modificó con H₂SO₄ / agente quelante biodegradable, [S,S]-etilendiamina- N, N -ácido disuccínico (EDDS), y se usó para la adsorción altamente eficiente del antibiótico fluoroquinolona ciprofloxacina. Cuando se utilizó ciprofloxacina de 25 mg/L, el EPS modificado con H₂SO₄ (EPS_{H₂SO₄}) adsorbieron el 60,5% de la ciprofloxacina. Durante la sulfonación, la adición de una dosis baja de EDDS mejoró notablemente la capacidad de adsorción de EPS_{H₂SO₄+EDDS}. Las condiciones óptimas de modificación fueron 95% H₂SO₄, 0.002 M EDDS, 80 °C y 40 min. El aumento de las dosis de adsorbente mejoró la adsorción. Aproximadamente 0,2 g/L de EPS_{H₂SO₄+EDDS} podrían adsorber eficazmente el 97,8 % de la ciprofloxacina (554,3 mg/g) en 30 min. El EPS_{H₂SO₄+EDDS} regenerado mantuvo una alta capacidad de adsorción (87,2%) después de 10 ciclos de regeneración. Por lo tanto, los resultados indican que el proceso de adsorción-regeneración de EPS_{H₂SO₄ + EDDS} es un enfoque potencial para eliminar la ciprofloxacina del agua.

Después de mostrar los antecedentes más relevantes sobre la purificación de aguas residuales mediante fotodegradación y adsorción empleando materiales de desechos se detalla la problemática del estudio:

El agua es un recurso vital para la supervivencia de especies en la tierra y aunque es tan importante del 100% del agua total en la tierra, el 97% está reservado en el Mar y el Océano, que es salino e inutilizable normalmente (Baggio Guilherme et al., 2021, p.3). Solo el 3% del agua se considera agua dulce, pero de este 2% se almacena como hielo y glaciares que también son agua no disponible (Kibria Mohammad et al., 2021, p.629).

El 1% restante se almacena en lagos, canales y subterráneos, que es la única fuente de consumo. Por lo que, la gestión adecuada y la planificación sostenible son muy necesarias para mantener la vida en la tierra (Akindele Emmanuel O. et al., 2020, p.1). Adicional a la disponibilidad del agua, la preocupación recae en la contaminación del agua, ya que, se genera muchos riesgos para la salud convirtiéndose en una preocupación principal (Antwi Sarpong et al., 2020, p.2). Por lo que, asegurar agua limpia es un tema de alta prioridad en el desarrollo sostenible de nuestra sociedad (Li Xin et al., 2022, p.1).

En la actualidad la rápida industrialización y urbanización han provocado una grave contaminación del agua, lo que ejerce mucha presión sobre el ecosistema y la salud humana (Naderi Mostafa, 2021, p.5). Como ejemplo se muestra que en los últimos años se han detectado en el medio acuático trazas de sustancias químicas orgánicas (TOrc), como productos farmacéuticos, de consumo e industriales (Miklos D. et al., 2018, p.2). Donde, las escorrentías urbanas y agrícolas, los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales se consideran los emisores de TOrc más importantes (Ranjan Amit., 2020, p.3).

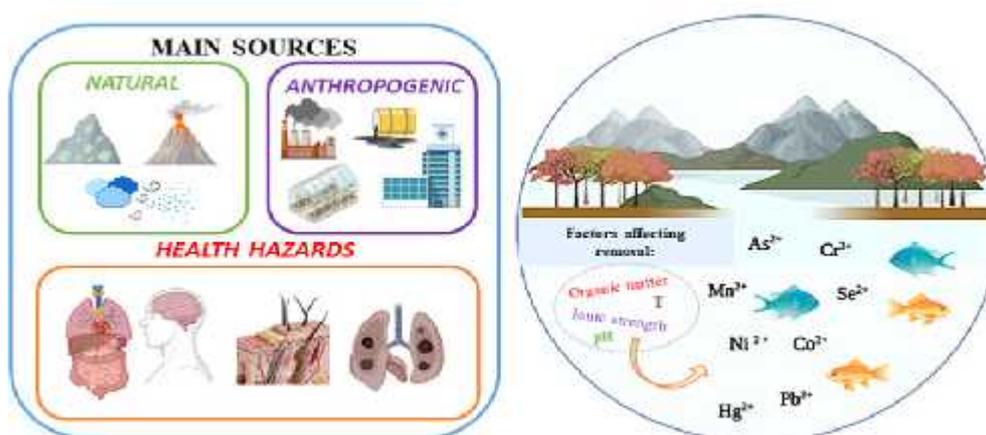
Además, los compuestos orgánicos totales (COT) permanecen en los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales que se vierten en las aguas superficiales, ya que el tratamiento físico y biológico convencional de las aguas residuales solo puede eliminar parcialmente estas sustancias (Sanderson Haley et al., 2019, p.2).

Así también la industria textil libera grandes cantidades de aguas residuales contaminadas por una amplia gama de productos químicos (Zhou H. et al., 2020, p.2). Hay varias unidades (impresoras, máquinas de mercerización, máquinas de acabado, tintorerías) dentro de una tintorería que generan diferentes tipos de efluentes, algunos de los cuales funcionan en modo discontinuo, como resultado, la composición de las

aguas residuales varía significativamente en concentración y tiempo (Pázdziór Katarzyna et al., 2019, p.7).

Otro tipo de contaminante son los metales pesados; considerados tóxicos eminentes del medio ambiente, ya que son muy tóxicos, tenaces y de naturaleza incremental (Haroon Bushra et al., 2019, p.3). Las erupciones de volcanes, la descomposición de rocas que contienen metales y las actividades humanas, como la extracción de minerales, la minería y las prácticas agrícolas, y diversas industrias, son fuentes de entrada de metales pesados al medio ambiente. (Ver figura 1).

Figura n°1. Contaminación del agua por metales pesados



Fuente: Modificado de Zamora Ledezma C. et al., (2021)

Entre estos, las erupciones volcánicas y la meteorización de las rocas son fuentes naturales, mientras que la extracción de minerales, la minería, las industrias, las prácticas agrícolas y otras actividades de desarrollo se consideran entre las actividades antropogénicas y tales actividades desencadenan para el transporte de metales pesados al medio ambiente, lo que perturba aún más ciclos biogeoquímicos (Kapoor D. y Singh M., 2021, p.179).

Es así que, la rápida industrialización, el aumento de la producción de desechos y el aumento de las actividades agrícolas, la minería, el agua de riego contaminada y los efluentes industriales contribuyen a la contaminación de los recursos hídricos debido a la acumulación de metales pesados (Chaoua Sana et al., 2019, p.2).

La contaminación de los ecosistemas acuáticos con algunos contaminantes puede generar problemas ambientales graves y, por lo tanto, efectos adversos para la salud.

(ver tabla 1). Los seres humanos emplean recursos contaminados con HM para producir alimentos, que finalmente se acumulan en la cadena alimentaria.

Tabla n°1. Varios impactos peligrosos de diferentes HM en la salud humana

Metal pesado	Efectos peligrosos relacionados
Cr	Interfiere con funciones celulares clave en el cuerpo humano
cobre	Las lesiones cerebrales y renales, la cirrosis hepática, la inflamación estomacal e intestinal se han relacionado con niveles elevados.
Hg	Ansiedad, trastornos autoinmunes, depresión, problemas de coordinación, agotamiento, pérdida de cabello, insomnio, irritabilidad, úlceras y daño cerebral, renal y pulmonar son solo algunos de los síntomas.
Ni	La picazón de níquel es una dermatitis alérgica; la inhalación puede causar cáncer de pulmón, nariz y senos paranasales; cánceres de garganta y/o estómago. Causa pérdida de cabello por ser hematotóxico, neurotóxico, genotóxico, nefrotóxico y hepatotóxico.
Pb	Su envenenamiento causa retrasos en el desarrollo, disminución de la inteligencia, dificultades de aprendizaje y problemas de equilibrio en los bebés, así como insuficiencia renal y enfermedades cardiovasculares.
zinc	La sobredosis resultará en mareos y agotamiento.

Fuente: modificado de Bhat Shakeek A. et al., (2022)

Además, los metales pesados, como sustancias tóxicas persistentes, se depositan en el ecosistema y posteriormente infectan las cadenas alimentarias (Cornelis Geert et al., 2021, p.1). En la biota del habitante y fragmentos ambientales, se debe medir y examinar la presencia y cantidad de metales pesados y metaloides.

En los últimos años, muchos países desarrollados como EE. UU., Japón y Corea del Sur desarrollaron tecnología eficiente y un plan nacional para garantizar agua potable a sus ciudadanos (Xu Shujie et al., 2022, p.5). Sin embargo, los países en desarrollo y subdesarrollados tienen serios problemas de recursos hídricos debido a la falta de una gestión adecuada de los recursos hídricos y Bangladesh es uno de ellos (Bhardwaj S. y Shukla D., 2020, p.51).

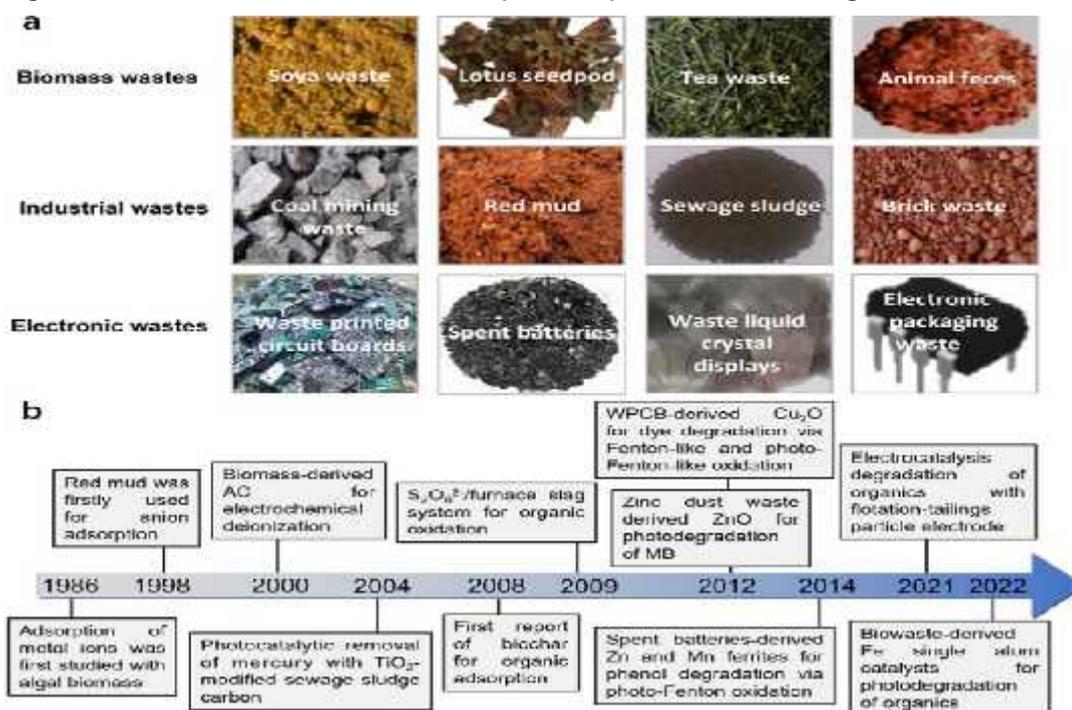
En este contexto, la eliminación de contaminantes peligrosos (p. ej., metales pesados, microplásticos, antibióticos y virus) del agua es de gran urgencia, lo que ha atraído una enorme atención científica (Rathi B. et al., 2021, p.2). Por ello, la descontaminación de este valioso recurso, así como evitar la contaminación adicional, ha sido necesaria durante mucho tiempo para evitar impactos perjudiciales para la salud (Abdelsabir Sabah M. et al., 2020, p.2).

Por lo tanto, se han desarrollado métodos innovadores eficientes para la remediación de aguas residuales, que incluyen adsorción, degradación por fotocatalisis, tratamiento electroquímico y POA (Zheng Renji et al., 2022, p.3). Aunque estos métodos difieren mucho en los mecanismos y procesos de operación, todos ellos requieren micro/nanomateriales funcionales para lograr un buen desempeño en la degradación/remoción de contaminantes (Chen Zhijie et al., 2022, p.4).

Por lo tanto, la creación de materiales funcionales a partir de desechos a través de estrategias efectivas gana cada vez más atención (Baskar Arun V. et al., 2022, p.2). Debido a que numerosos materiales procedentes de residuos de desechos presentan metales de transición y carbono abundantes en la tierra han mostrado un rendimiento satisfactorio en la purificación del agua (Abdelbasir S. et al., 2020, p.2).

En este sentido, los desechos sólidos municipales problemáticos se transforman en materiales favorables para la remediación del agua a través de estrategias factibles (por ej., pirólisis, precipitación y molienda de bolas) (Amusat Sefiu O. et al., 2021, p.2). Como se observa en la figura n°2 donde se muestra los diversos materiales de biomasa de desechos con diversos tamaños, densidades, composiciones químicas, formas y humedades.

Figura n° 2. Materiales funcionales para la purificación de aguas residuales



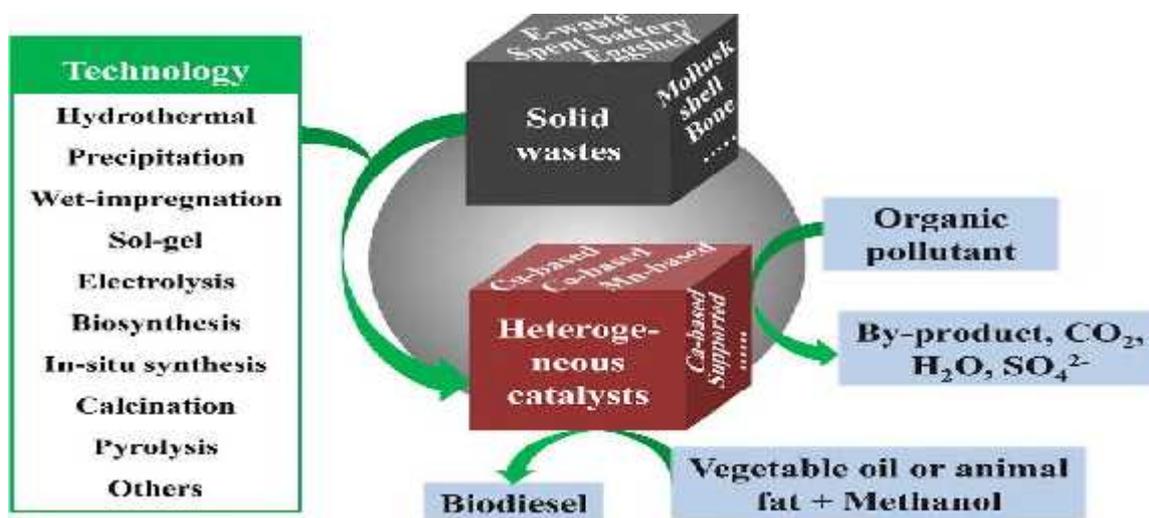
Fuente: Chen Zhijie et al. (2022)

De acuerdo con la figura 2 la fila a muestra los residuos representativos que se han convertido en materiales funcionales para el tratamiento de aguas residuales; la fila b muestra la cronología de hitos de los estudios relacionados con los materiales derivados de desechos para el tratamiento de aguas residuales.

Así mismo, se sabe que brindar un valor a los desechos presenta una gran importancia ambiental y económica porque puede minimizar significativamente el impacto ambiental de los desechos sólidos/líquidos y reducir el costo de fabricación de materiales funcionales (por ejemplo, adsorbentes, catalizadores) (Wang Shuhua et al., 2020, p.2). Además, una estrategia prometedora es la conversión de desechos sólidos en catalizadores heterogéneos para su uso en la remediación ambiental y la producción de energía renovable (Gras Malgirzata et al., 2021, p.1).

Aparte de la adsorción, los materiales funcionales derivados de desechos también se han empleado ampliamente en fotocatalisis, tratamiento electroquímico y AOP para la purificación de agua (Li Xinxin et al., 2021, p.3). Como se puede observar en la figura 3.

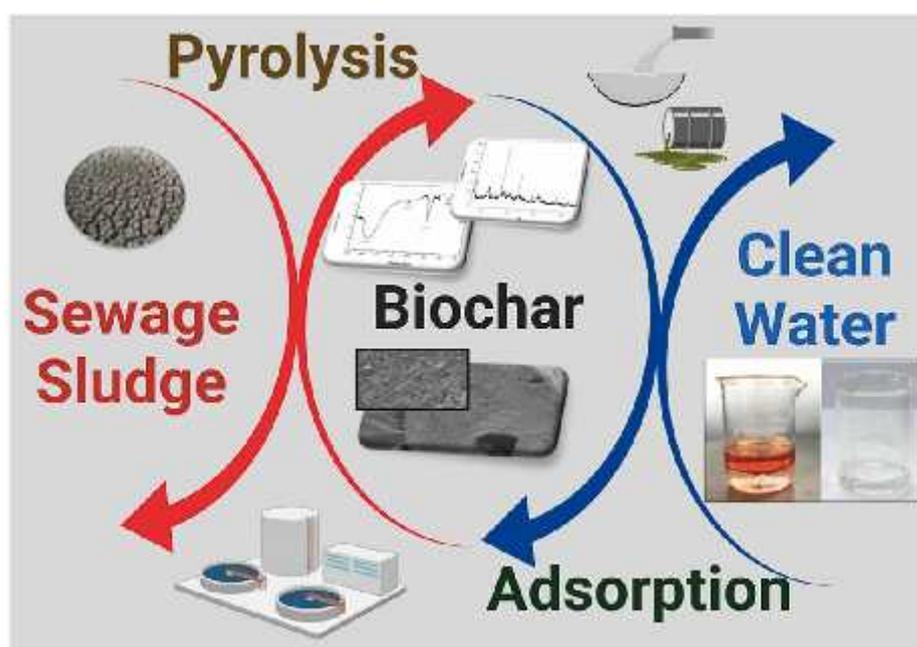
Figura n°3. Conversión de desechos sólidos en catalizadores heterogéneos mediante diversas tecnologías



Ante ello, lo primordial para mejorar el rendimiento de los materiales derivados de desechos es el diseño racional de sus nanoestructuras/componentes, que se puede lograr controlando los precursores y los parámetros experimentales en el proceso de síntesis (Wang Huijie et al., 2022, p.2).

Por lo que, el desarrollar estrategias eficientes para convertir los desechos sólidos en materiales funcionales con características deseables es indispensable, optando por la aplicación de métodos como la pirólisis, combustión, proceso químico húmedo y molienda de bolas (Solangi N. et al., 2021, p.2). Así también estos métodos sofisticados van a depender de las propiedades de los materiales de desechos seleccionados; donde lo demuestra Rangabhashiyam S. et al., (2022, p.2); empleando en su investigación lodos de depuradora para la eliminación por adsorción de contaminantes de aguas residuales, como se observa en la figura 4.

Figura n°4. Producción de biocarbón a partir de la pirólisis de lodos de depuradora



Fuente: Extraído de Rangabhashiyam S. et al., (2022)

Pero también, la fotocatalisis es una estrategia atractiva para explotar la energía solar verde y renovable para la degradación de contaminantes (Heng Zeng Wei et al., 2021, p.1). Durante la última década, la posible aplicación de la fotocatalisis heterogénea para la eliminación de sustancias orgánicas del agua ha sido ampliamente investigada en varios laboratorios (Ayekoe Chia Y. et al., 2017, p.2).

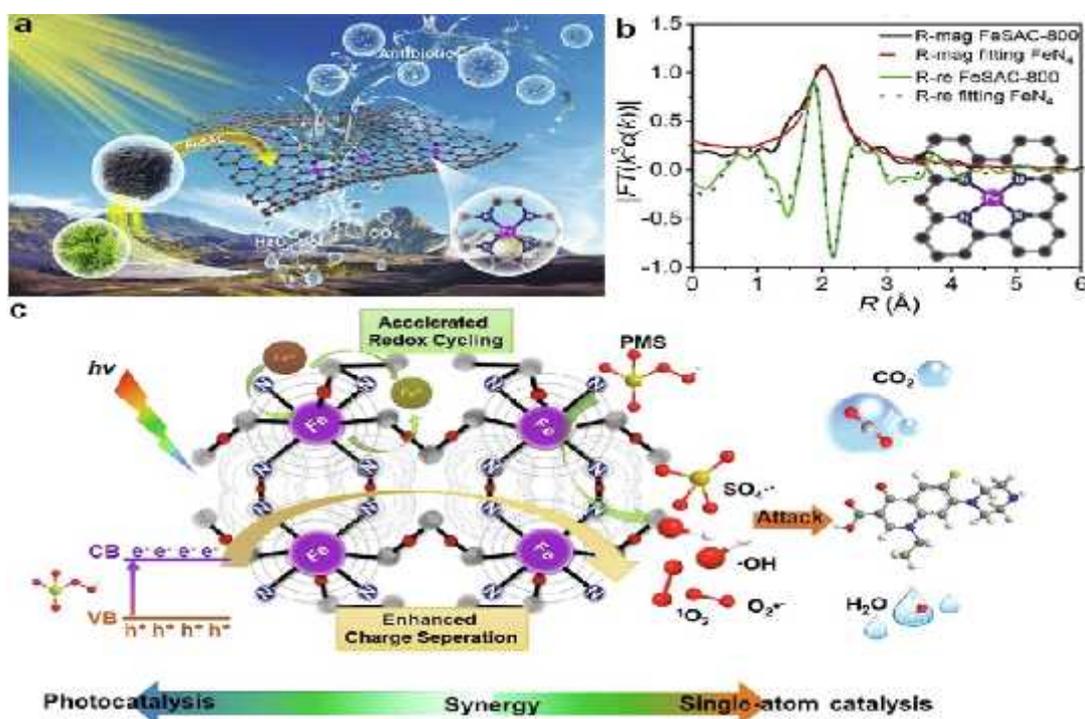
La fotocatalisis se ha aplicado con éxito a la descontaminación del agua, y los fotocatalizadores juegan un papel crucial para lograr un sistema fotocatalítico heterogéneo sostenible (Lincho Joao et al., 2022, p.3). De los fotocatalizadores desarrollados actualmente, el dióxido de titanio (TiO_2) es reconocido como el

catalizador más prometedor y poderoso debido a su no toxicidad, ubicuidad y estabilidad (Anucha C. et al., 2022, p.2).

Otros catalizadores como el ZnO también pueden ser modificados por metales nobles para aumentar su actividad fotocatalítica (Hao Derek et al., 2020, p.2). Pero, la mayoría de los catalizadores se preparan a partir de reactivos químicos disponibles comercialmente, por lo que, es más económico fabricar catalizadores a partir de baterías de desecho considerando que hay una gran cantidad de elementos de Zn, Fe y Mn en las baterías alcalinas de Zn-Mn gastadas (Li Ruimeng et al., 2020, p.2).

Siendo así que, cuando los fotocatalizadores se exponen a la irradiación de luz apropiada, se generarán huecos excitados (h^+) y electrones (e^-) (Abdo Dina M. et al., 2021, p.2). Como se muestra en la figura 5, en la que se muestra la síntesis de un catalizador de un solo átomo de Fe (FeSAC-800) a partir de helecchos residuales de biomasa contaminados de minas de hierro mediante pirólisis fácil.

Figura n°5. Catalizadores de un solo átomo derivados de residuos para la fotodegradación de contaminantes



Fuente: Extraído de Li Xin et al., (2022)

De acuerdo con la figura 5 el cuadrante a muestra la utilización de helecchos de desecho de biomasa para la degradación fotocatalítica de antibióticos; el cuadrante b, la curva de ajuste de espacio R de estructura fina de absorción de rayos X

extendida de FeSAC-800 y el cuadrante c el mecanismo de mineralización fotocatalítica de NOR por FeSAC-800 derivado de desechos.

Es así que, el h^+ fotogenerado con una fuerte capacidad de oxidación puede oxidar los contaminantes directamente, y varios radicales libres importantes (p. ej., $\cdot OH$) generados por la reacción de h^+ y e^- con OH^- , H_2O y O_2 también pueden degradar los contaminantes en pequeños compuestos no tóxicos o menos tóxicos (p. ej., CO_2 , H_2O) (Liu Xiaoqing et al., 2021, p.3).

Además, los desechos de biomasa contaminados con metales son precursores atractivos para la preparación de catalizadores emergentes de un solo átomo (SAC) baratos y fotoactivos para la remediación de aguas residuales (Yan Kai, 2022, p.3). De modo que, el mecanismo de la fotodegradación es a través de un proceso de oxidación similar al de Fenton, mientras que las especies reactivas de oxígeno juegan un papel clave (Sekar Sankar et al., 2022, p.1).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación que se utilizó fue aplicada; siendo que la ciencia aplicada tiene como objetivo resolver determinados problemas técnicos, normalmente relacionados directamente con los intereses materiales de la sociedad (Castro M., 2019, p.50).

Además, también tiene como objetivo obtener nuevos conocimientos y habilidades para el desarrollo de productos, procedimientos o servicios nuevos o sustancialmente mejorados (Fukuda K., 2019, p.2). Siendo así elegido para el desarrollo del presente trabajo; debido a que, se ha buscado obtener conocimientos nuevos de estudios experimentales existentes que traten sobre la aplicación de la fotodegradación y adsorción empleando materiales de desechos y en base a estos conocimientos esclarecer una nueva forma de purificación de las aguas residuales.

Por otro lado, el diseño aplicado fue narrativo de tópico; ya que, este hace referencia a cualquier tipo de trabajo que haga uso de materiales narrativos, de donde se extraiga los pasajes de vida de los investigadores, así como las características específicas, para poder comprender el problema mediante las historias de relatadas. Ante ello, se eligió el tipo tópico, debido a que nos centramos en un tipo de fenómeno, siendo la purificación de aguas residuales aplicando dos tipos de técnicas.

3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización

De acuerdo con la investigación aplicada, las tres categorías abordadas de manera general son eficiencia de fotodegradación y adsorción, tipos de materiales de desechos y diferencias en la comparación de las condiciones usadas; donde se generaron las sub categorías para brindar un orden a las categorías brindando características parecidas y teniendo un eje central, los cuales son los objetivos y problemas específicos planteados; como se muestra en la tabla 2.

Tabla n° 2. Matriz de Categorización Apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2
Comparar cuál es la eficiencia de fotodegradación y adsorción de contaminantes en aguas residuales mediante el uso de materiales de desechos	¿Cuáles es la eficiencia de fotodegradación y adsorción de contaminantes en aguas residuales mediante el uso de materiales de desechos?	Eficiencia de fotodegradación y adsorción Gras Malgirzata et al., (2021, p.1)	Porcentaje de degradación Cantidad de adsorción Baskar Arun V. et al., (2022)	De acuerdo a la comparación de la eficiencia de fotodegradación y adsorción	De acuerdo al porcentaje de degradación
Clasificar cuáles son los tipos de materiales de desechos competentes con mayor uso como adsorbentes para la eliminación de contaminantes en aguas residuales	¿Cuáles son los tipos de materiales de desechos competentes con mayor uso como adsorbentes para la eliminación de contaminantes en aguas residuales?	Tipos de materiales de desechos Wang Huijie et al., (2022, p.2)	Materiales vegetales Residuos de lixiviación Residuos forestales Lincho Joao et al., (2022, p.3).	De acuerdo al porcentaje de estudios aplicados	De acuerdo al tipo de contaminante
Identificar cuáles son las diferencias de las condiciones usadas para la aplicación de fotodegradación y adsorción de contaminantes en aguas residuales mediante el uso de materiales de desechos	¿Cuáles son las diferencias de las condiciones usadas para la aplicación de fotodegradación y adsorción de contaminantes en aguas residuales mediante el uso de materiales de desechos?	Diferencias en la comparación de las condiciones usadas Rangabhashiyam S. et al., (2022, p.2)	Tiempo pH Temperatura Solangi N. et al., (2021, p.2)	De acuerdo a los parámetros	De acuerdo al estudio de fotodegradación y adsorción empleado

Elaboración propia

3.3. Escenario de estudio

Los escenarios de estudio son todos aquellos entornos físicos en los que se lleva a cabo estudios experimentales; por lo cual, al ser este un trabajo de tipo aplicada se consideró más de un escenario, donde alguno de ellos son los lugares usados por las diversas literaturas seleccionadas.

3.4. Participantes

Los participantes fueron las siguientes plataformas virtuales: Sciencedirect, PubMed y Scopus. Donde cada una de ellas son portales web indizadas que permitieron la búsqueda, selección y uso de documentos como artículos científicos a nivel mundial que tratan de sobre la purificación de aguas residuales mediante fotodegradación y adsorción empleando materiales de desechos.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica usada fue el método de análisis documental, mientras que el instrumento de recolección de datos usado fue la ficha de análisis de contenido.

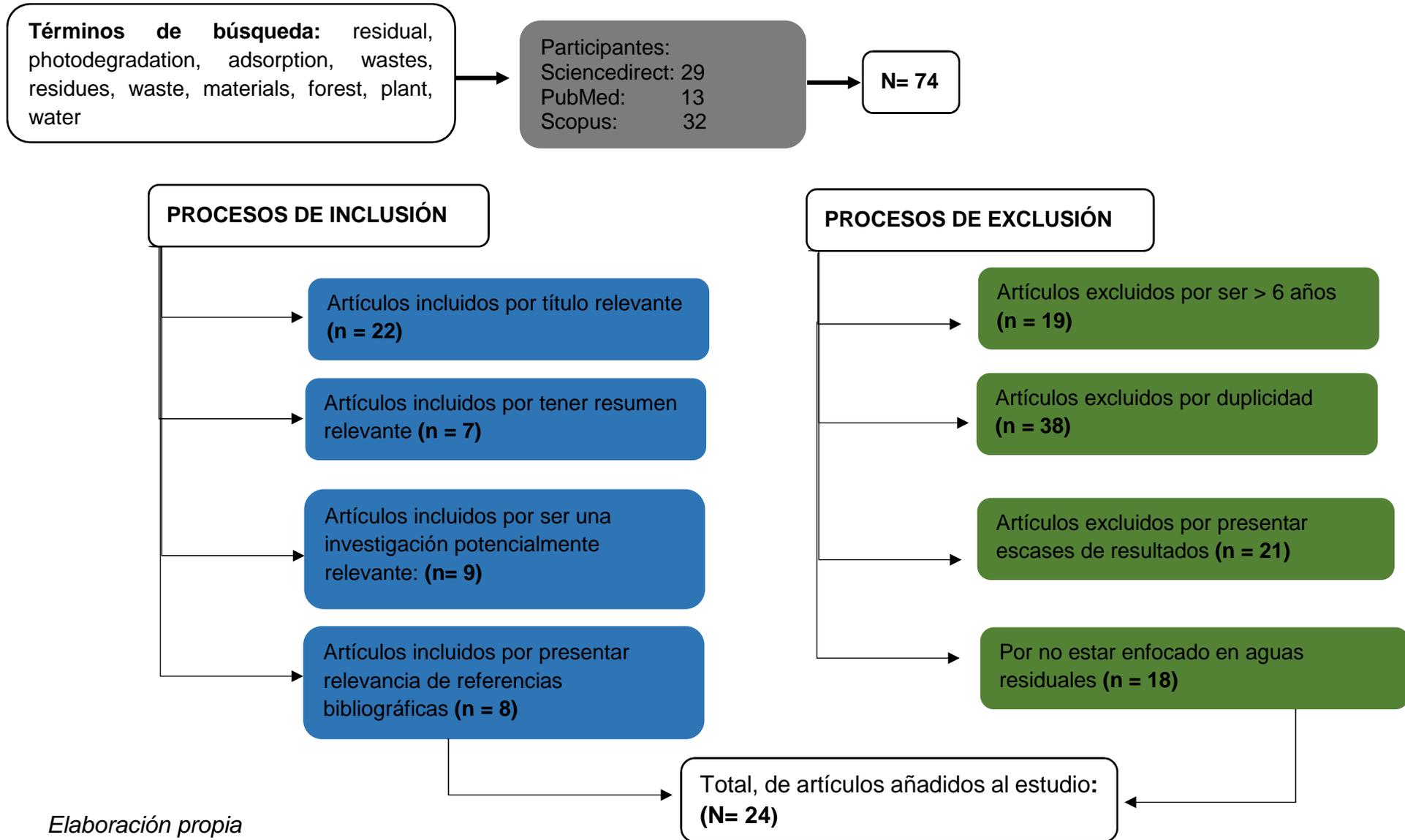
Siendo la técnica de análisis documental aquella que emplea un proceso en el que se recolecta, analiza y evalúa documentos electrónicos y físicos para interpretarlos, comprender y resolver su dignificado.

Por lo cual, se utilizó dicha técnica para estudiar los documentos recolectados entre los últimos 6 años a nivel mundial sobre la fotodegradación y adsorción utilizando materiales de desechos y extrayendo la información más importante que permita su fácil entendimiento. Para ello, la ficha de análisis se aplicó, permitiendo que se exponga datos como título de estudio, nombre del autor, tipo de investigación, palabras simples y compuestas usadas para búsqueda del documento, metodología, resultados y conclusión del estudio.

3.6. Procedimiento

El procedimiento empleado manejó 4 etapas para cada proceso, de inclusión y exclusión; en el que se utilizaron palabras clave teniendo en cuenta los portales Sciencedirect, PubMed y Scopus como se observa en el gráfico 1.

Gráfico n° 1. Procedimiento de selección de artículos



Elaboración propia

3.7. Rigor científico

El rigor científico cumplido para reconocer la calidad del estudio cumplió con 4 criterios; credibilidad, transferibilidad, confiabilidad y confirmabilidad, descritos por Hernández et al., (2014, p.456), como:

CRITERIO DE CREDIBILIDAD: Los criterios de credibilidad tienen el trabajo de confirmar los hallazgos encontrados; para lo cual regresan a los datos presentados volviéndolos a revisar para tener la certeza que la información recolectada es verdadera. Siendo así que en el presente estudio se aplicó dicho criterio empelando técnicas como el análisis documental, que permitieron poder revisar y analizar más de una vez el estudio plasmando el contenido relevante en la ficha de análisis.

CRITERIO DE TRANSFERIBILIDAD: Es el criterio que permite transferir un estudio en otro utilizando otro contexto; donde, para lograrlo se debe utilizar métodos iguales brindar diversas experiencias que permitan que el lector pueda construir una comprensión que le permita saber si se puede aplicar a la práctica o no. Ante ello, este criterio fue cumplido dejando detallada la metodología usada en el presente trabajo, para que de esta forma los futuros investigadores o lectores que deseen aplicar el trabajo en otro estudio puedan realizarlo siguiendo los métodos aplicados.

CRITERIO DE CONFIABILIDAD: Realiza una repetición paso a paso del estudio para identificar similitudes en los resultados o para mejorar los hallazgos, además, debe presentar concordancia a la hora de la interpretación realizada por diversos lectores. Siendo así que este criterio se cumplió comparando resultados de diversos artículos que aplicaron la fotodegradación y adsorción en la purificación de aguas residuales.

CRITERIO DE CONFIRMABILIDAD: La investigación cualitativa debe ser reflexiva, manteniendo un sentido de conciencia y apertura al estudio y los resultados; ante ello, el criterio de confirmabilidad se cumple aplicando un punto autocrítico de la información usada de cada estudio, para que sus ideas no influyan en la investigación. Siendo así que este criterio se cumplió utilizando la información únicamente de los resultados experimentales y que se encuentran comprobados, más no tomando en cuenta los sentimientos personales, sesgos y puntos de vista del autor.

3.8. Método de análisis de información

El método utilizado fue la triangulación, el cual se encuentra dentro de los métodos que emplea varias formas de recolectar información que permitan una proximidad del contenido del estudio que permita medir una misma variable; siendo así que entre dichas técnicas se utilizó la matriz apriorística, en la que se buscó mediante las sub categorías y categorías llegar a obtener medidas de un mismo fenómeno; siendo detallados a continuación:

- Categoría 1: Eficiencia de fotodegradación y adsorción
 - Sub categoría 1: Porcentaje de degradación, Cantidad de adsorción
- Categoría 2: Tipos de materiales de desechos
 - Sub categoría 2: Materiales vegetales, Residuos de lixiviación, Residuos forestales
- Categoría 3: Diferencias en la comparación de las condiciones usadas
 - Sub categoría 3: Tiempo, pH, Temperatura

3.9. Aspectos éticos

Los aspectos éticos que se deben cumplir al realizar un estudio de investigación en el que interviene el ser humano son tres: El respeto a la autoría; en el que se demuestra el respeto a la persona de quien se toma el trabajo de investigación para compararlos con otros, ello mediante la norma ISO 690-2; así también la búsqueda del bien, donde se busca cumplir con la ética de minimizar daños o injusticias, para lo cual se siguió con los parámetros y lineamientos establecidos por la Universidad Cesar Vallejo, siguiendo la Guía de productos observables, por último, la honestidad; siendo corroborado mediante el programa turnitin, en el cual se puede observar la veracidad del documento realizado.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La importancia de la fotodegradación y adsorción empleando materiales de desechos en la purificación de aguas residuales se determinaron comparando la eficiencia de fotodegradación y adsorción de contaminantes en aguas residuales, clasificando los tipos de materiales de desechos competentes con mayor uso como adsorbentes e identificando las diferencias en la comparación de las condiciones usadas para la aplicación de fotodegradación y adsorción de contaminantes en aguas residuales mediante el uso de materiales de desechos.

Ante ello, la tabla 3 muestra la comparación de 24 artículos científicos de los últimos 6 años, teniendo como criterio la comparación realizada a la eficiencia de fotodegradación y adsorción así como el porcentaje de degradación.

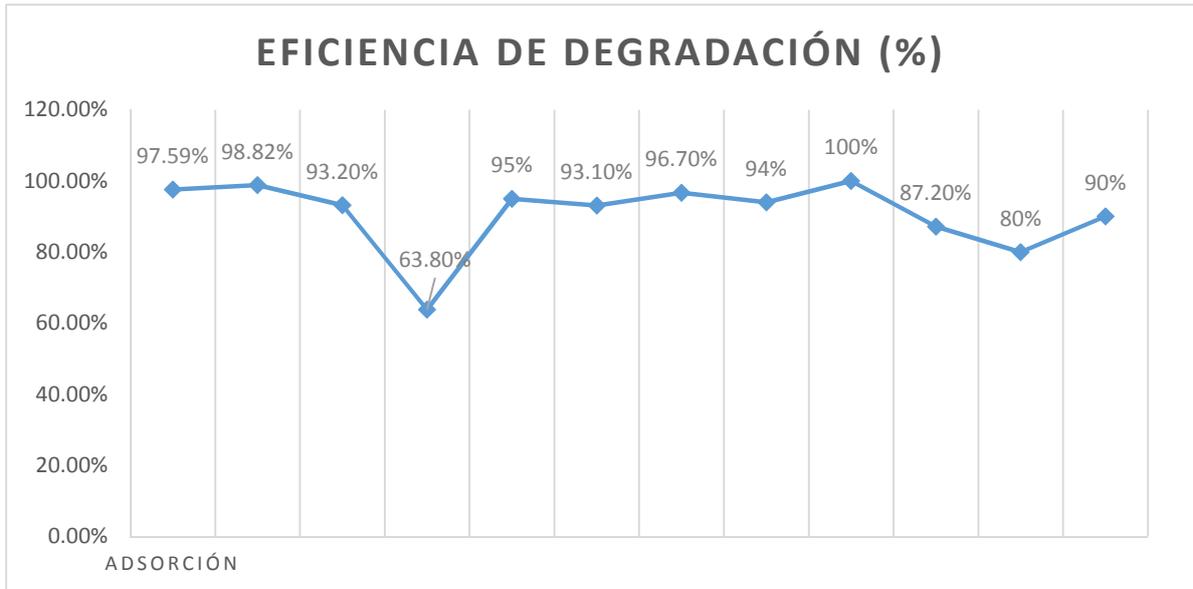
Tabla n° 3. Eficiencia de fotodegradación y adsorción

Adsorbente	Contaminante	Cantidad de adsorción (mg/g)	Fuente
ADSORCIÓN			
Biocarbón derivado de tallos de maíz	Pb(II)	49.7	Liu Lingqin et al., 2019
Residuos de lixiviación de minerales de biotita	Hg(II)	355.23 (97, 59%)	Zeng Qiang et al., 2021, p.1
AC derivado de raíz de sorgo	Pb(II)	197.6 (98,82%)	Zeng Qiang et al., 2021, p.1
Compuesto derivado de desechos de estiércol de vaca (PEI-Fe ₃ O ₄ @CDB)	Cu(II)	183.82	Zhu Yan Chen et al., 2021, p.1
	CD(II)	231.48	
Escoria de alto horno derivada de Al ₂ O ₃ -SiO ₂ -BFS	U(VI)	88.5 (93.2%)	Ibrahim Mohamed M. et al., 2021, p.2
Biocarbón derivado de madera de pino	NO ₃ ⁻	4.2 (63,8 %)	Vijayaraghavan K. y Balasubramanian R., 2021, p.2
	PO ₄ ³⁻	20.5 (95%)	
Compuesto de lodo rojo/cáscara de arroz tratado con base	SO ₄ ²⁻	12.41 (93,1%)	Dolatabad A. et al., 2022, p.1

AC derivado de residuos de papel	F ⁻	39.76 (96,7 %)	Mukherjee Shraboni et al., 2021, p.2
<i>Acidosasa edulis</i> brote biocarbón derivado de concha	ReO ₄ ⁻	4.42 (94 %)	Hu Hui et al., 2016, p.2
Biocarbón derivado del bagazo de caña de azúcar/ZnO	Rojo reactivo 24	105.24	Van Huu Tap et al., 2021, p.1
CA derivada de lodos de depuradora	Amoxicilina	27	Gupta A. y Garg A., 2016, p.1
Tereftalato de polietileno derivado de residuos - Fe/Fe ₃ C	Clorhidrato de tetraciclina	652.08 (100 %)	Jung K. et al., 2020, p.2
Poliestireno expandido de desecho modificado	Fluoroquinolona	554.3 (87,2%)	Chang Shih-Hsien et al., 2022, p.1
CA derivado de cáscara de nuez	SMX	93.5 (80%)	Teixeira Salomé et al., 2019, p.1
	metronidazol	(90%)	
fotocatalizador	Contaminante	Eficiencia de degradación (%)	Fuente
FOTODEGRADACIÓN			
Microtubo de carbono derivado de residuos de algodón	BPA	~95%	Shirvanimoghaddam K. et al., 2019, p.1
TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ derivado de residuos industriales	Azul de metilo	100%	Boruah Purna K. et al., 2020, p.1
	RhB	93%	
	Rojo congo	99%	
Tóner residual derivado de polvo gC ₃ N ₄ -Fe ₂ O ₃	MO	99%	Babar Santosh et al., 2019, p.2
Compuesto de cobre/óxido de grafeno derivado de baterías usadas	MB	90%	Zhang Wenxuan et al., 2018, p.1
Fotocatalizadores multifásicos derivados de residuos industriales	Ritonavir	95%	Hojamberdiev M. et al., 2022, p.2
	Lopinavir	95%	
ZnO inmovilizado en AC derivado de residuos de madera	MB	100%	Loke J. et al., 2022, p.1
Adsorbente gastado cargado con Cd ²⁺	MB	97.41%	Umejuru E. et al., 2020, p.1
Adsorbente gastado cargado con Pb ²⁺	Paracetamol	93%	Umejuru E. et al., 2021, p.1

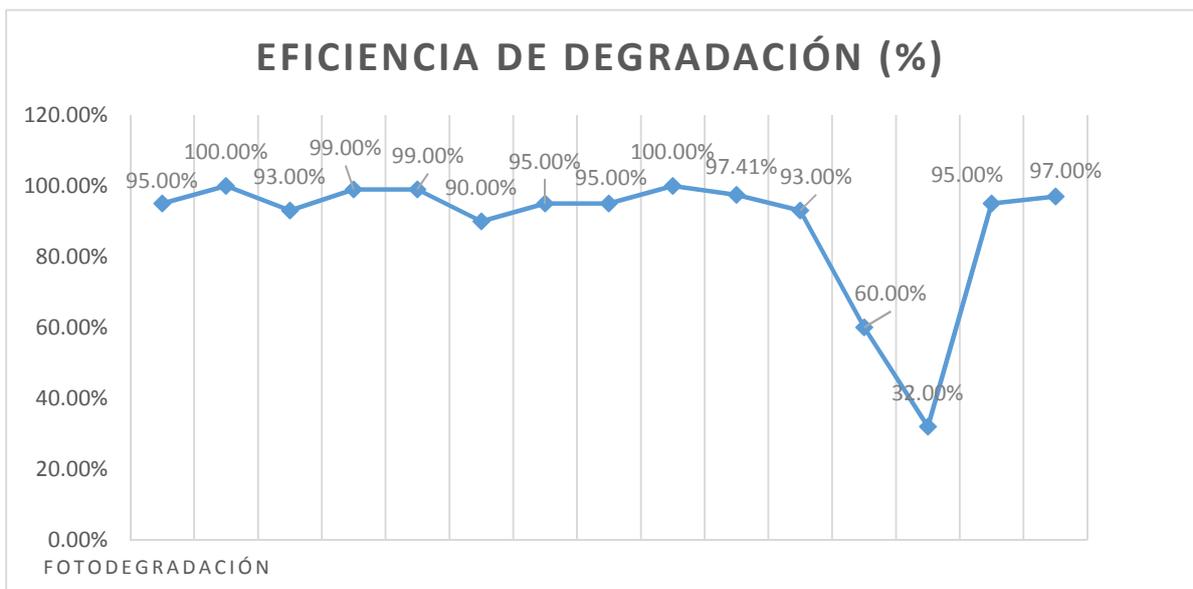
Residuos de poliestireno soportados Ag-TiO ₂	de MB	60%	Altin í. y Sokmen M., 2016, p.1
	Cr(VI)	32%	
Montmorillonita modificada con barro rojo	Fenol	95%	Padhi Manas K. et al., 2022, p.1
	Cr(VI)	97%	

Gráfico n° 2. Eficiencia de degradación de contaminantes en aguas residuales por adsorción



Elaboración propia

Gráfico n° 3. Eficiencia de degradación de contaminantes en aguas residuales por fotodegradación



Elaboración propia

De acuerdo con el gráfico 2 y 3 respecto a la tabla 1, se tiene que realizando la comparación de estudios que aplicaron la fotodegradación y adsorción de diversos contaminantes en aguas residuales con materiales de desechos la fotodegradación y adsorción presentan una eficiencia de purificación alta de aguas residuales; donde sus promedios de eficiencia se encuentran en un promedio del 90 al 100% y del 80 al 90% respectivamente.

Así Kirankumar V. y Sumathi S., (2020, p.1), menciona que la eficiencia de la fotodegradación de contaminantes es ventajosa sobre las técnicas convencionales de tratamiento de aguas residuales como la adsorción, desalinización y la ósmosis inversa. Siendo ello corroborado por Shirvanimoghaddam K. et al., (2019, p.1), Babar Santosh et al., (2019, p.2), Hojamberdiev M. et al., (2022, p.2), Loke J. et al., (2022, p.1), Umejuru E. et al., (2020, p.1), quienes fueron alguno de los autores que presentó porcentajes altos de 95%, 99%, 95%, 100% y 97.41%.

Y es que, además de una alta eficiencia, para Boruah Purna K. et al., (2020, p.1), los catalizadores derivados de desechos pueden ofrecer considerables ahorros en los costos de fabricación y así reducir los costos de eliminación. Demostrándolo así en su artículo en el que usó la fotodegradación con materiales de desecho industriales para desarrollar nanopulvos de óxido de hierro residual con un 7,6 % en peso de dióxido de titanio (IOW-9 h), en donde, el nanopulvo IOW-9 h se utilizó para la degradación fotocatalítica de moléculas de tinte modelo, la inactivación de células bacterianas y la decoloración de aguas residuales de curtiduría bajo irradiación solar; demostrando una capacidad reciclable del 78 % hasta 10 ciclos a través de la degradación del colorante fotocatalítico.

Lo que es apoyado también por Babar Santosh et al., (2020, p.1); quien menciona que la actividad fotocatalítica del $gC_3N_4-Fe_2O_3$ se evaluó mediante la degradación de Naranja de Metilo (MO) y Efluentes Textiles (TE) bajo luz solar y el $gC_3N_4-Fe_2O_3$ resultante exhibió una mejor actividad fotocatalítica que el Fe_2O_3 y el gC_3N_4 ; debido a la excelente estabilidad y capacidad de separación magnética, el compuesto $gC_3N_4-Fe_2O_3$ mostró una excelente reciclabilidad sin pérdida de actividad fotocatalítica significativa hasta cinco ciclos repetidos y, lo que es más importante, puede recuperarse magnéticamente.

Por otro lado, también se pudo observar que la adsorción utilizando diversos adsorbentes es rentable con respecto a la eliminación de contaminantes del agua, así como en el aprovechamiento de productos de desechos. Siendo ello corroborado por Chang Shih-Hsien et al., (2022, p.1); afirmando que la capacidad de adsorción de EPS H₂SO₄+EDDS (q máx = 1250 mg/g) fue 32 veces mayor que la de EPS H₂SO₄ (q máx = 38,6 mg/g). Un total de HCl 1 M regeneró eficazmente el adsorbente agotado. La relación sólido/líquido y el tiempo óptimos fueron 0,08 g/20 mL y 60 min, respectivamente. El EPS H₂SO₄+EDDS regenerado mantuvo una alta capacidad de adsorción (87,2%) después de 10 ciclos de regeneración. Por lo tanto, los resultados indican que el proceso de adsorción-regeneración de EPS H₂SO₄ + EDDS es un enfoque potencial para eliminar la ciprofloxacina del agua.

Así también, Jung K. et al., (2020, p.1); quien recuperó el ácido tereftálico (H₂BDC) de botellas de desecho de tereftalato de polietileno (PET), logrando su recuperación en un 99,91 a 100 % de H₂BDC. Demostrando que el compuesto -Fe/Fe 3C mostró un inmenso potencial para la remediación de aguas residuales contaminadas con antibióticos, teniendo así en cuenta su excelente reutilización y separabilidad magnética.

Además, para Cossu R., et al., (2018, p.575); la eficiencia del proceso de adsorción depende en gran medida de las propiedades químicas y físicas de las sustancias solubles y la superficie sólida; pudiendo ser utilizadas la zeolitas, carbón activado, alúmina activada, coque de lignito y bentonita, entre otros como materiales de adsorción comunes. Mientras que por su parte Hojamberdiev M. et al., (2022, p.1); menciona la fotodegradación se considera uno de los procesos más efectivos para degradar fármacos antivirales.

Por otro lado, los tipos de materiales de desechos competentes con mayor uso como adsorbentes para la eliminación de contaminantes en aguas residuales fueron mostrados en la tabla 4 donde se detalla el tipo de contaminante y el promedio de estudios para su tratamiento.

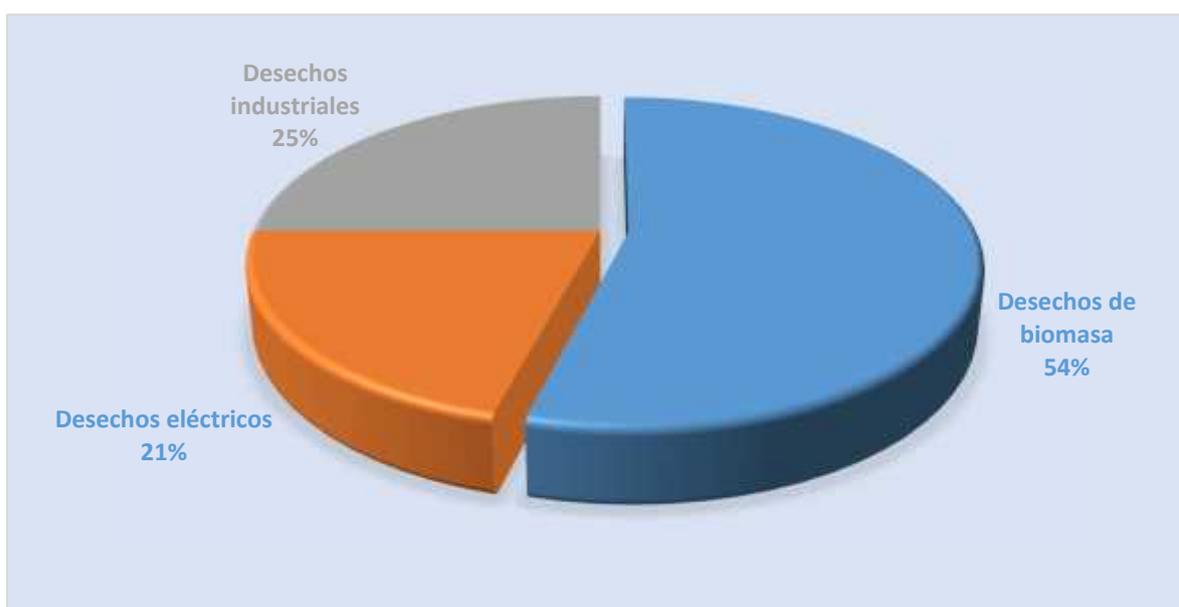
Tabla n° 4. Tipos de materiales de desechos competentes con mayor uso

Adsorbente	Tipos de desechos	Contaminante	Fuente
Biocarbón derivado de tallos de maíz	Desechos de biomasa	Pb(II)	Liu Lingqin et al., 2019, p.1

Residuos de lixiviación de minerales de biotita	Desechos de biomasa	Hg(II)	Zeng Qiang et al., 2021, p.1
AC derivado de raíz de sorgo	Desechos de biomasa	Pb(II)	Zeng Qiang et al., 2021, p.1
Compuesto derivado de desechos de estiércol de vaca (PEI-Fe ₃ O ₄ @CDB)	Desechos de biomasa	Cu(II) CD(II)	Zhu Yanchen et al., 2021, p.1
Escoria de alto horno derivada de Al ₂ O ₃ -SiO ₂ -BFS	Desechos industriales	U(VI)	Ibrahim Mohamed M. et al., 2021, p.2
Biocarbón derivado de madera de pino	Desechos de biomasa	NO ₃ ⁻ PO ₄ ³⁻	Vijayaraghavan K. y Balasubramanian R., 2021, p.2
Compuesto de Iodo rojo/cáscara de arroz tratado con base	Desechos de biomasa	SO ₄ ²⁻	Dolatabad A. et al., 2022, p.1
Carbón activado derivado de residuos de papel	Desechos de biomasa	F ⁻	Mukherjee Shraboni et al., 2021, p.2
<i>Acidosasa edulis</i> brote biocarbón derivado de concha	Desechos de biomasa	ReO ₄ ⁻	Hu Hui et al., 2016, p.2
Biocarbón derivado del bagazo de caña de azúcar/ZnO	Desechos de biomasa	Rojo reactivo 24	Van Hoo Tap et al., 2021, p.1
Carbón activado derivada de lodos de depuradora	Desechos de biomasa	Amoxicilina	Gupta A. y Garg A., 2016, p.1
Tereftalato de polietileno derivado de residuos -Fe/Fe ₃ C	Desechos industriales	Clorhidrato de tetraciclina	Jung K. et al., 2020, p.2
Poliestireno expandido de desecho modificado	Desechos industriales	Fluoroquinolona	Chang Shih-Hsien et al., 2022, p.1
Carbón activado derivado de cáscara de nuez	Desechos de biomasa	SMX Metronidazol	Teixeira Salomé et al., 2019, p.1
Fotocatalizador	Tipos de desechos	Contaminante	Fuente
Microtubo de carbono derivado de residuos de algodón	Desechos de biomasa	BPA	Shirvanimoghaddam K. et al., 2019, p.1
TiO ₂ /Fe ₂ O ₃	Desechos eléctricos	Azul de metilo RhB Rojo congo	Boruah Purna K. et al., 2020, p.1
Tóner residual derivado de polvo gC ₃ N ₄ -Fe ₂ O ₃	Desechos eléctricos	MO	Babar Santosh et al., 2019, p.2
Compuesto de cobre/óxido de grafeno	Desechos eléctricos	MB	Zhang Wenxuan et al., 2018, p.1

derivado de baterías usadas			
Fotocatalizadores multifásicos	Desechos industriales	Ritonavir Lopinavir	Hojamberdiev M. et al., 2022, p.2
ZnO inmovilizado en carbón activado derivado de residuos de madera	Desechos de biomasa	MB	Loke J. et al., 2022, p.1
Adsorbente gastado cargado con Cd ²⁺	Desechos eléctricos	MB	Umejuru E. et al., 2020, p.1
Adsorbente gastado cargado con Pb ²⁺	Desechos eléctricos	Paracetamol	Umejuru E. et al., 2021, p.1
Residuos de poliestireno soportados Ag-TiO ₂	Desechos industriales	MB Cr(VI)	Altin í. y Sokmen M., 2016, p.1
Montmorillonita modificada con barro rojo	Desechos industriales	Fenol Cr(VI)	Padhi Manas K. et al., 2022, p.1

Gráfico n°4. Porcentaje de materiales de desechos más usados como adsorbentes



Elaboración propia

De acuerdo con el gráfico 4 respecto a la tabla 4 los materiales de desechos con mayor uso como adsorbentes para la eliminación de contaminantes en aguas residuales son los desechos de biomasa (54%), los desechos industriales (25%), desechos eléctricos (21%).

Siendo entre los tres tipos de clases de desechos los de biomasa fueron los más utilizados; como lo menciona Para Shojaei S. y Shojaei S., (2021, p.381), que, entre

los adsorbentes de biomasa, el carbón activado que está hecho de adsorbentes naturales se usa ampliamente debido a su superficie y alta capacidad de adsorción.

Así mismo, fue corroborado en la tabla 4, mediante los autores Liu Lingqin et al., (2019, p.1), Vijayaraghavan K. y Balasubramanian R., (2021, p.2), Hu Hui et al., (2016, p.2), Van Huu Tap et al., (2021, p.1), Teixeira Salomé et al., (2019 p.1), Shirvanimoghaddam K. et al., (2019, p.1), Loke J. et al., (2022, p.1), Mukherjee Shraboni et al., (2021, p.2), Gupta A. y Garg A., (2016, p.1), quienes utilizaron desechos de biomasa como Biocarbón derivado de tallos de maíz, Biocarbón derivado de madera de pino, *Acidosasa edulis* brote biocarbón derivado de concha, Biocarbón derivado del bagazo de caña de azúcar/ZnO, Carbón activado derivado de cáscara de nuez, Microtubo de carbono derivado de residuos de algodón, ZnO inmovilizado en carbón activado derivado de residuos de madera, Carbón activado derivado de residuos de papel y Carbón activado derivada de lodos de depuradora.

Además, la razón por la que los residuos provenientes de biomasa son los más utilizados es debido a que ellos presentan una composición que incluyen celulosa, lignina y quitina, que son sostenibles, biodegradables y no tóxicos (Han Bing et al., 2022, p.421).

Pese a lo señalado, Hossain N. et al., (2020, p.4), menciona en las conclusiones de su estudio de investigación que, aunque existen ciertos trabajos que intentan estudiar el potencial de los materiales de desecho para tratar las aguas residuales y generar subproductos valiosos a partir de los adsorbentes de desechos, aún existe escasez de su aplicación más aun a escala de laboratorio y aún menos se aplica a escala de planta y a gran escala. Pero, después de tratar las aguas residuales con materiales de desecho, los adsorbentes de desecho se desechan comúnmente en vertederos lo que generaría una contaminación ambiental peligrosa debido a la presencia de inorgánicos dentro de los adsorbentes Alagarsamy y Phanikumar, (2011), Nasruddin et al., (2018) como se citó en Hossain N. et al., (2020, p.4).

Hojamberdiev M. et al., (2022, p.2), menciona que los desechos industriales como fotocatalizadores multifásicos exhiben una eficiencia del 95% en la eliminación fotocatalítica de ritonavir dentro de los 15 de irradiación de luz visible. Concluyendo que los fotocatalizadores multifásicos sintetizados se pueden probar y aplicar para la

degradación eficiente de otros medicamentos antivirales contra el SARS-CoV-2 en las aguas residuales en el futuro.

Por otro lado, se identificó las diferencias en las condiciones usadas para la aplicación de fotodegradación y adsorción de contaminantes en aguas residuales mediante el uso de materiales de desechos mediante la tabla 5.

Tabla n°5. Diferencias entre condiciones de uso en la aplicación de fotodegradación y adsorción

	Adsorbente	Dosis (g/L)	Condiciones de adsorción			Fuente
			Tiempo (h)	pH	Tc (°C)	
ADSORCIÓN	Biocarbón derivado de tallos de maíz	2	12	5.5	25	Liu Lingqin et al., 2019, p.1
	Residuos de lixiviación de minerales de biotita	–	2	2	25	Zeng Qiang et al., 2021, p.1
	AC derivado de raíz de sorgo	0.2	1	–	–	Zeng Qiang et al., 2021, p.1
	Compuesto derivado de desechos de estiércol de vaca (PEI-Fe ₃ O ₄ @CDB)	5	3	7	25	Zhu Yanchen et al., 2021, p.1
		5	3	7	25	
	Escoria de alto horno derivada de Al ₂ O ₃ -SiO ₂ -BFS	0.5	5	6	25	Ibrahim Mohamed M. et al., 2021, p.2
	Biocarbón derivado de madera de pino	2.5	6	2	22 ± 1	Vijayaraghavan K. y Balasubramanian R., 2021, p.2
		2.5	6	2	22 ± 1	
	Compuesto de lodo rojo/cáscara de arroz tratado con base	7.5	1 hora y 30 min.	4	65	Dolatabad A. et al., 2022, p.1
AC derivado de residuos de papel	0.3	18	5	25	Mukherjee Shraboni et al., 2021, p.2	

	<i>Acidosasa edulis</i> brote biocarbón derivado de concha	3	8	1	~22	Hu Hui et al., 2016, p.2
	Biocarbón derivado del bagazo de caña de azúcar/ZnO	1	1	3	25	Van Hui Tap et al., 2021, p.1
	CA derivada de lodos de depuradora	2.5	–	6	–	Gupta A. y Garg A., 2016, p.1
	Tereftalato de polietileno derivado de residuos - Fe/Fe ₃ C	0.25	1.5	6	25	Jung K. et al., 2020, p.2
	Poliestireno expandido de desecho modificado	0.2	0.5	6	–	Chang Shih-Hsien et al., 2022, p.1
	CA derivado de cáscara de nuez	0.01	48	5.5	30	Teixeira Salomé et al., 2019, p.1
		0.01	48	8	30	
FOTO DEGRADACIÓN	fotocatalizador	Dosis (g/L)	Condiciones de fotodegradación			Fuente
			Irradiación	Tiempo (h)	pH	
	Microtubo de carbono derivado de residuos de algodón	0.5	Luz visible	2	-	Shirvanimoghaddam K. et al., 2019, p.1
	TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ derivado de residuos industriales	1	Luz solar natural	2	5	Boruah Purna K. et al., 2020, p.1
		1	Luz solar natural	2	5	
		1	Luz solar natural	2	5	
Tóner residual derivado de polvo gC ₃ N ₄ -Fe ₂ O ₃	1	Luz solar natural	1.5	25	Babar Santosh et al., 2019, p.2	

	Compuesto de cobre/óxido de grafeno derivado de baterías usadas	0.5	luz ultravioleta	3	-	Zhang Wenxuan et al., 2018, p.1
	Fotocatalizadores multifásicos derivados de residuos industriales	0.4	Luz visible	0.25	-	Hojamberdiev M. et al., 2022, p.2
		0.4	Luz visible	1	-	
	ZnO inmovilizado en AC derivado de residuos de madera	3	Luz visible	3	8	Loke J. et al., 2022, p.1
	Adsorbente gastado cargado con Cd ²⁺	0.4	Luz visible	0.33	-	Umejuru E. et al., 2020, p.1
	Adsorbente gastado cargado con Pb ²⁺	0.2	Luz visible	3	7	Umejuru E. et al., 2021, p.1
	Residuos de poliestireno soportados Ag-TiO ₂	6.7	Luz ultravioleta	2.5	6	Altin Í. y Sokmen M., 2016, p.1
		6.7	Luz ultravioleta	2.5	2	
	Montmorillonita modificada con barro rojo	1	Luz visible	1	6	Padhi Manas K. et al., 2022, p.1
		1	Luz visible	2	4	

De acuerdo con la tabla 5 las diferencias en las condiciones usadas para la aplicación de fotodegradación y adsorción se da mediante los parámetros pH, tiempo y Temperatura.

Teniendo que el pH óptimo de adsorción es a condiciones ácidas; siendo ello corroborado por 21 de los 24 autores en la tabla 5 lo confirman, en temperaturas de adsorción menores a 25 °C empleando la adsorción y menores a 8 °C en condiciones de fotodegradación. Así se demuestra mostrando algunos del total de los 21 estudios con: (Liu Lingqin et al., 2019, p.1), (Zeng Qiang et al., 2021, p.1), (Ibrahim Mohamed M. et al., 2021, p.2), (Vijayaraghavan K. y Balasubramanian R., 2021, p.2), (Dolatabad A. et al., 2022, p.1), (Mukherjee Shraboni et al., 2021, p.2), (Boruah Purna K. et al., 2020, p.1), (Jung K. et al., 2020, p.2); con un pH de 5.5, 2, 6, 2, 4, 5, 5, 6.

Siendo ello corroborado por Qiu Ruifang et al., (2018, p.1), quien manifiesta en los resultados que los parámetros que tienen un efecto notable en el rendimiento de adsorción son la dosis de adsorbente, el pH de la solución, la temperatura, además del tiempo de contacto y la concentración inicial; presentando un efecto notable en el rendimiento de adsorción de HM-CFB-FA. En las condiciones óptimas, la capacidad máxima de adsorción de Cd 2+ por HM-CFB-FA alcanzó 183,7 mg/g.

Dolatabad A. et al., (2022, p.1), menciona en su trabajo que las condiciones óptimas de adsorción se determinaron con un tiempo de equilibrio de 90 min, un pH = 4, temperatura de 65 °C y una dosis de adsorbente de 7,5 g L⁻¹ dosis se logró una eficiencia de eliminación del sulfato en un 93,1% en las condiciones óptimas.

Pero presentando oposición a lo mencionado, Zeng Qiang et al., (2021, p.1); señala que la eficiencia de lixiviación del rubidio fue del 96,54% a 90 °C cuando el ácido oxálico concentración fue de 3 mol/L después de una reacción de 120 min. Pero en el caso de la condición óptima del pH, corroboró lo señalado mencionando que la eficiencia de eliminación de Hg 2+ alcanzó el 97,59 % a una concentración inicial de 100 mg/L y un pH ácido de 2.

Mientras que rechazando lo mencionado, Zhou wei et al., (2021, p.1), obtuvo que las condiciones eficientes para la eliminación de contaminantes orgánicos se dan con un tiempo de 2 horas a pH neutro de 7. Ello es debido a que, el biocarbón dopado con O aumentó aún más el rendimiento de H₂O₂ a 18,3 mg/l en condiciones de un pH

neutro a 50 min. y un proceso EF neutral libre de Fe habilitado por el cátodo GBSS es efectivo para la eliminación de varios contaminantes orgánicos modelo (azul reactivo 19, naranja II, 4-nitrofenol) en 120 minutos y para su mineralización parcial (48.4-63.5%).

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a la búsqueda del desarrollar del objetivo de estudio se determinó la importancia de la fotodegradación y adsorción empleando materiales de desechos en la purificación de aguas residuales; consiguiendo concluir que este tipo de metodología no solo es eficiente, sino que, aporta reducción de la contaminación por residuos que son considerados desechos, brindando un método amigable con el ambiente y económicamente viable para su aplicación. Además, en base a los tres objetivos específicos se pudo llegar a las conclusiones mencionadas en los siguientes puntos:

- La eficiencia de fotodegradación y adsorción de contaminantes en aguas residuales mediante el uso de materiales de desechos presentan una eficiencia de purificación alta; donde sus promedios de eficiencia se encuentran en un promedio del 90 al 100% y del 80 al 90% respectivamente. Y es que, además de una alta eficiencia, los catalizadores derivados de desechos pueden ofrecer considerables ahorros en los costos de fabricación y así reducir los costos de eliminación.
- Los tipos de materiales de desechos competentes con mayor uso como adsorbentes para la eliminación de contaminantes en aguas residuales son los desechos de biomasa (54%), los desechos industriales (25%), desechos eléctricos (21%). Siendo entre los tres tipos de clases de desechos los de biomasa fueron los más utilizados
- Las diferencias en la comparación de las condiciones usadas para la aplicación de fotodegradación y adsorción de contaminantes en aguas residuales mediante el uso de materiales de desechos se da mediante los parámetros pH, tiempo y Temperatura. Teniendo que el pH óptimo de adsorción es a condiciones ácidas; siendo ello corroborado por 21 de los 24 autores, en condiciones de temperatura ambiente y en tiempos cortos.

VI. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los estudios analizados se puede recomendar en primera instancia a los futuros investigadores interesados en el tema ampliar en estudios que aparte de ayudar a remediar la contaminación existente en cualquier tipo de recurso, buscar aplicar técnicas o métodos que reduzcan la contaminación y obtengan provecho de materiales con poco valor, como los residuos de desechos. Así mismo, especificando el punto mencionado se realiza las siguientes recomendaciones:

Realizar mayores estudios aplicando no solo los métodos a nivel de laboratorio, si no, a nivel industrial o a gran escala; ya que, existen notables diferencias en los resultados que se realizan en laboratorio, por ser algunos parámetros variables fuera de él.

Se recomienda a los futuros investigadores aplicar tecnologías integradas, para evaluar la eficiencia de la aplicación o si se pueden reducir costos combinando técnicas.

Por último, se sugiere realizar un estudio de comparación para evaluar de qué manera cambia la aplicación de los materiales de desecho en otros tipos de medios contaminados, y aplicando la combinación de varios.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABDELBASIR, Sabah M., et al. Waste-derived nanoparticles: synthesis approaches, environmental applications, and sustainability considerations. *Frontiers in Chemistry*, 2020, vol. 8, p. 782. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00782>
2. ABDO, Dina Magdy, et al. Recovery of Tin as Tin oxide nanoparticles from waste printed circuit boards for photocatalytic dye degradation. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 2021, vol. 38, no 9, p. 1934-1945. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11814-021-0838-9>
3. AHAMAD, Arif, et al. Types of water pollutants: Conventional and emerging. En *Sensors in water pollutants monitoring: Role of material*. Springer, Singapore, 2020. p. 21-41. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-15-0671-0_3
4. AHMAD, Tanweer; DANISH, Mohammed. Prospects of banana waste utilization in wastewater treatment: A review. *Journal of environmental management*, 2018, vol. 206, p. 330-348. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.061>
5. AKINDELE, Emmanuel O., et al. Heavy metal toxicity in the water column and benthic sediments of a degraded tropical stream. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2020, vol. 190, p. 110153. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110153>
6. ALTIN, Iknur; SÖKMEN, Münevver. Photocatalytic properties of silver incorporated titania nanoparticles immobilized on waste-derived polystyrene. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2016, vol. 225, no 1, p. 1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11270-013-1786-8>
7. AMUSAT, Sefiu Olaitan, et al. Ball-milling synthesis of biochar and biochar-based nanocomposites and prospects for removal of emerging contaminants: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 2021, vol. 41, p. 101993. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.101993>

8. ANTWI, Sarpong Hammond, et al. Communicating water availability to improve awareness and implementation of water conservation: A study of the 2018 and 2020 drought events in the Republic of Ireland. *Science of The Total Environment*, 2022, vol. 807, p. 150865. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150865>
9. ANUCHA, Chukwuka Bethel, et al. Titanium Dioxide (TiO₂)-Based Photocatalyst Materials Activity Enhancement for Contaminants of Emerging Concern (CECs) Degradation: In the Light of Modification Strategies. *Chemical Engineering Journal Advances*, 2022, p. 100262. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ceja.2022.100262>
10. APPIAH, Kingsley, et al. The causal nexus between trade openness and environmental pollution in selected emerging economies. *Ecological Indicators*, 2022, vol. 138, p. 108872. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108872>
11. AYEKOE, Chia Yvette Prisca; ROBERT, Didier; LANCINÉ, Droh Gone. Combination of coagulation-flocculation and heterogeneous photocatalysis for improving the removal of humic substances in real treated water from Agbô River (Ivory-Coast). *Catalysis Today*, 2017, vol. 281, p. 2-13. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2016.09.024>
12. BABAR, Santosh, et al. An innovative transformation of waste toner powder into magnetic g-C₃N₄-Fe₂O₃ photocatalyst: sustainable e-waste management. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2019, vol. 7, no 2, p. 103041. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103041>
13. BAGGIO, Guilherme; QADIR, Manzoor; SMAKHTIN, Vladimir. Freshwater availability status across countries for human and ecosystem needs. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 792, p. 148230. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148230>
14. BASKAR, Arun V., et al. Recovery, regeneration and sustainable management of spent adsorbents from wastewater treatment streams: A review. *Science of the Total Environment*, 2022, p. 153555. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153555>

15. BHARDWAJ, Shefali; SHUKLA, Dericks Praise. Policy and regulatory framework for inorganic contaminants. En *Inorganic Pollutants in Water*. Elsevier, 2020. p. 51-71. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818965-8.00004-4>
16. BHAT, Shakeel Ahmad, et al. Phytoremediation of heavy metals in soil and water: An eco-friendly, sustainable and multidisciplinary approach. *Chemosphere*, 2022, vol. 303, p. 134788. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134788>
17. BORUAH, Purna K.; YADAV, Archana; DAS, Manash R. Magnetic mixed metal oxide nanomaterials derived from industrial waste and its photocatalytic applications in environmental remediation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2020, vol. 8, no 5, p. 104297. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104297>
18. CASTRO, M. Biostatistics applied in clinical research: basic concepts. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 2019, vol. 30, no 1, p. 50-65. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2018.12.002>
19. CHANG, Shih-Hsien, et al. Waste expanded polystyrene modified with H₂SO₄/biodegradable chelating agent for reuse: As a highly efficient adsorbent to remove fluoroquinolone antibiotic from water. *Chemosphere*, 2022, vol. 288, p. 132619. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132619>
20. CHAOUA, Sana, et al. Impact of irrigation with wastewater on accumulation of heavy metals in soil and crops in the region of Marrakech in Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 2019, vol. 18, no 4, p. 429-436. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.02.003>
21. CHEN, Zhijie, et al. Eco-designed electrocatalysts for water splitting: A path toward carbon neutrality. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.03.046>
22. CHEN, Zhijie, et al. Integrating electrodeposition with electrolysis for closed-loop resource utilization of battery industrial wastewater. *Green Chemistry*,

2022, vol. 24, no 8, p. 3208-3217. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/D1GC04891K>

23. CORNELIS, Geert, et al. Challenges and current approaches toward environmental monitoring of nanomaterials. *Monitoring Environmental Contaminants*, 2021, p. 73-108. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64335-3.00003-7>
24. Cossu Raffaello, Ehrig Hans-Jürgen, Muntoni Aldo. Chapter 10.4 - Physical–Chemical Leachate Treatment. *Solid Waste Landfilling*, 2018, Pages 575-632. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407721-8.00028-0>
25. DEKA, Rahul, et al. A techno-economic approach for eliminating dye pollutants from industrial effluent employing microalgae through microbial fuel cells: Barriers and perspectives. *Environmental Research*, 2022, p. 113454. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113454>
26. DOLATABAD, Alireza Arhami; GANJIDOUST, Hossein; AYATI, Bitia. Application of Waste-Derived Activated Red Mud/Base Treated Rice Husk Composite in Sulfate Adsorption from Aqueous Solution. *International Journal of Environmental Research*, 2022, vol. 16, no 1, p. 1-16. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s41742-021-00381-7>
27. ELISANTE, Eliapenda; MUZUKA, Alfred NN. Occurrence of nitrate in Tanzanian groundwater aquifers: a review. *Applied Water Science*, 2017, vol. 7, no 1, p. 71-87. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0269-z>
28. FUKUDA, Katsufumi. Effects of trade liberalization on growth and welfare through basic and applied researches. *Journal of Macroeconomics*, 2019, vol. 62, p. 103058. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2018.08.011>
29. GRA, Małgorzata, et al. Partial inhibition of borohydride hydrolysis using porous activated carbon as an effective method to improve the electrocatalytic activity of the DBFC anode. *Sustainable Energy & Fuels*, 2021, vol. 5, no 17, p. 4401-4413. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/D1SE00999K>
30. GUPTA, Anirudh; GARG, Anurag. Utilisation of sewage sludge derived adsorbents for the removal of recalcitrant compounds from wastewater:

mechanistic aspects, isotherms, kinetics and thermodynamics. *Bioresource technology*, 2016, vol. 194, p. 214-224. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.07.005>

31. HAN, Bing, et al. Modification of naturally abundant resources for remediation of potentially toxic elements: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 2022, vol. 421, p. 126755. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126755>
32. HAO, Derek, et al. Surface defect-abundant one-dimensional graphitic carbon nitride nanorods boost photocatalytic nitrogen fixation. *New Journal of Chemistry*, 2020, vol. 44, no 47, p. 20651-20658. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/D0NJ04068A>
33. HAROON, Bushra, et al. Characterization of heavy metal in soils as affected by long-term irrigation with industrial wastewater. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 2019, vol. 9, no 1, p. 47-56. Disponible en: <https://doi.org/10.2166/wrd.2018.008>
34. HENG, Zeng Wei, et al. Photocatalytic degradation of organic pollutants using green oil palm frond-derived carbon quantum dots/titanium dioxide as multifunctional photocatalysts under visible light radiation. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2021.10.021>
35. HOJAMBERDIEV, Mirabbos, et al. Detoxifying SARS-CoV-2 antiviral drugs from model and real wastewaters by industrial waste-derived multiphase photocatalysts. *Journal of hazardous materials*, 2022, vol. 429, p. 128300. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128300>
36. HOSSAIN, Nazia, et al. Waste materials for wastewater treatment and waste adsorbents for biofuel and cement supplement applications: a critical review. *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 255, p. 120261. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120261>
37. HU, Hui, et al. Adsorption of perrhenate ion by bio-char produced from *Acidosasa edulis* shoot shell in aqueous solution. *RSC advances*, 2016, vol. 5,

no 127, p. 104769-104778. Disponible en:
<https://doi.org/10.1039/C5RA20235C>

38. IBRAHIM, Mohamed M., et al. A facile and cost-effective adsorbent derived from industrial iron-making slag for uranium removal. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2021, vol. 329, no 3, p. 1291-1300. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10967-021-07914-6>
39. JUNG, Kyung-Won; KIM, Jun-Ho; CHOI, Jae-Woo. Synthesis of magnetic porous carbon composite derived from metal-organic framework using recovered terephthalic acid from polyethylene terephthalate (PET) waste bottles as organic ligand and its potential as adsorbent for antibiotic tetracycline hydrochloride. *Composites Part B: Engineering*, 2020, vol. 187, p. 107867. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.107867>
40. KAPOOR, Dhriti; SINGH, Mahendra P. Heavy metal contamination in water and its possible sources. En *Heavy metals in the environment*. Elsevier, 2021. p. 179-189. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821656-9.00010-9>
41. KIBRIA, Mohammad Golam, et al. Citizen sciences for smart water solution in South-western part of Bangladesh. En *Disaster Resilience and Sustainability*. Elsevier, 2021. p. 629-649. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85195-4.00025-1>
42. KIRANKUMAR, V. S.; SUMATHI, S. A review on photodegradation of organic pollutants using spinel oxide. *Materials Today Chemistry*, 2020, vol. 18, p. 100355. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2020.100355>
43. LI, Ning, et al. Municipal solid waste derived biochars for wastewater treatment: Production, properties and applications. *Resources, Conservation and Recycling*, 2022, vol. 177, p. 106003. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106003>
44. LI, Ruimeng, et al. Persulfate enhanced photocatalytic degradation of bisphenol A over wasted batteries-derived ZnFe₂O₄ under visible light. *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 276, p. 124246. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124246>

45. LI, Xin, et al. Upcycling biomass waste into Fe single atom catalysts for pollutant control. *Journal of Energy Chemistry*, 2022, vol. 69, p. 282-291. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2022.01.044>
46. LI, Xinxin, et al. Production of an electro-biological particle electrode (EBPE) from lithium slag and its removal performance to salicylic acid in a three-dimensional electrocatalytic biological coupling reactor (3D-EBCR). *Chemosphere*, 2021, vol. 282, p. 131020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131020>
47. LINCHO, João, et al. Nanostructured photocatalysts for the abatement of contaminants by photocatalysis and photocatalytic ozonation: An overview. *Science of The Total Environment*, 2022, p. 155776. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155776>
48. LIU, Lingqin, et al. Adsorption characteristics and mechanism of Pb (II) by agricultural waste-derived biochars produced from a pilot-scale pyrolysis system. *Waste Management*, 2019, vol. 100, p. 287-295. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.08.021>
49. LIU, Xiaoqing, et al. Fe³⁺ promoted the photocatalytic defluorination of perfluorooctanoic acid (PFOA) over In₂O₃. *ACS ES&T Water*, 2021, vol. 1, no 11, p. 2431-2439. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acsestwater.1c00275>
50. LOKE, J. Y.; ZAKI, RS Mohd; SETIABUDI, H. D. Photocatalytic degradation of methylene blue using ZnO supported on wood waste-derived activated carbon (ZnO/AC). *Materials Today: Proceedings*, 2022, vol. 57, p. 1315-1321. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.535>
51. MENÉNDEZ, Daniel, et al. Microplastics across biomes in diadromous species. Insights from the critically endangered *Anguilla anguilla*. *Environmental Pollution*, 2022, vol. 305, p. 119277. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119277>
52. 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>

53. MUKHERJEE, Shraboni, et al. Optimizing fluoride uptake influencing parameters of paper industry waste derived activated carbon. *Microchemical Journal*, 2021, vol. 160, p. 105643. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105643>
54. NADERI, Mostafa. Assessing level of water resources management based on water supply and availability concepts. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 305, p. 127086. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127086>
55. NG, Casey Keat-Chuan; ONG, Robert Cyril. A review of anthropogenic interaction and impact characteristics of the Sundaic mangroves in Southeast Asia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2022, p. 107759. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.107759>
56. PADHI, Manas Kumar, et al. Solid waste derived montmorillonite clay as efficient photocatalytic system for removal of aquatic pollutants. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 2022, vol. 17, p. 100630. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100630>
57. PA DZIOR, Katarzyna; BILI SKA, Lucyna; LEDAKOWICZ, Stanisław. A review of the existing and emerging technologies in the combination of AOPs and biological processes in industrial textile wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 2019, vol. 376, p. 120597. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.12.057>
58. QIU, Ruifang; CHENG, Fangqin; HUANG, Haiming. Removal of Cd²⁺ from aqueous solution using hydrothermally modified circulating fluidized bed fly ash resulting from coal gangue power plant. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 172, p. 1918-1927. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.236>
59. RANGABHASHIYAM, S., et al. Sewage sludge-derived biochar for the adsorptive removal of wastewater pollutants: A critical review. *Environmental Pollution*, 2022, vol. 293, p. 118581. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118581>

60. RANJAN, Amit. Water issues in Bangladesh: growing pollution and mismanagement. *Asian Affairs*, 2020, vol. 51, no 2, p. 328-346. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/03068374.2020.1749456>
61. RATHI, B. Senthil; KUMAR, P. Senthil; VO, Dai-Viet N. Critical review on hazardous pollutants in water environment: Occurrence, monitoring, fate, removal technologies and risk assessment. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 797, p. 149134. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149134>
62. SANDERSON, Haley, et al. Antimicrobial resistant genes and organisms as environmental contaminants of emerging concern: addressing global public health risks. En *Management of emerging public health issues and risks*. Academic Press, 2019. p. 147-187. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813290-6.00007-X>
63. SEKAR, Sankar, et al. Graphitic carbon-encapsulated V₂O₅ nanocomposites as a superb photocatalyst for crystal violet degradation. *Environmental Research*, 2022, vol. 205, p. 112201. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112201>
64. SHOJAEI, Saeed; SHOJAEI, Siroos. Optimization of process conditions in wastewater degradation process. En *Soft Computing Techniques in Solid Waste and Wastewater Management*. Elsevier, 2021. p. 381-392. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824463-0.00010-0>
65. SHIRVANIMOGHADDAM, Kamyar, et al. The light enhanced removal of Bisphenol A from wastewater using cotton waste derived carbon microtubes. *Journal of colloid and interface science*, 2019, vol. 539, p. 425-432. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.12.090>
66. SOLANGI, Nadeem Hussain, et al. Development of fruit waste derived bio-adsorbents for wastewater treatment: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, vol. 416, p. 125848. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125848>

67. TEIXEIRA, Salomé; DELERUE-MATOS, Cristina; SANTOS, L. Application of experimental design methodology to optimize antibiotics removal by walnut shell based activated carbon. *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 646, p. 168-176. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.204>
68. UMEJURU, Emmanuel Christopher; PRABAKARAN, Eswaran; PILLAY, Kriveshini. Coal fly ash coated with carbon hybrid nanocomposite for remediation of cadmium (II) and photocatalytic application of the spent adsorbent for reuse. *Results in Materials*, 2020, vol. 7, p. 100117. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2020.100117>
69. UMEJURU, Emmanuel Christopher; PRABAKARAN, Eswaran; PILLAY, Kriveshini. Coal Fly Ash Decorated with Graphene Oxide–Tungsten Oxide Nanocomposite for Rapid Removal of Pb²⁺ Ions and Reuse of Spent Adsorbent for Photocatalytic Degradation of Acetaminophen. *ACS omega*, 2021, vol. 6, no 17, p. 11155-11172. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04194>
70. WANG, Shuhua; YAN, Weifu; ZHAO, Feng. Recovery of solid waste as functional heterogeneous catalysts for organic pollutant removal and biodiesel production. *Chemical Engineering Journal*, 2020, vol. 401, p. 126104. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126104>
71. TEE, Guat Teng; GOK, Xie Yuen; YONG, Wai Fen. Adsorption of pollutants in wastewater via biosorbents, nanoparticles and magnetic biosorbents: A review. *Environmental Research*, 2022, vol. 212, p. 113248. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113248>
72. UDDIN, Md Jamal; JEONG, Yeon-Koo. Urban river pollution in Bangladesh during last 40 years: potential public health and ecological risk, present policy, and future prospects toward smart water management. *Heliyon*, 2021, vol. 7, no 2, p. e06107. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06107>
73. VAN, Huu Tap, et al. The enhancement of reactive red 24 adsorption from aqueous solution using agricultural waste-derived biochar modified with ZnO nanoparticles. *RSC advances*, 2021, vol. 11, no 10, p. 5801-5814. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/D0RA09974K>

74. VIJAYARAGHAVAN, Kuppusamy; BALASUBRAMANIAN, Rajasekhar. Application of pinewood waste-derived biochar for the removal of nitrate and phosphate from single and binary solutions. *Chemosphere*, 2021, vol. 278, p. 130361. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130361>
75. WANG, Huijie, et al. A review on heterogeneous photocatalysis for environmental remediation: From semiconductors to modification strategies. *Chinese Journal of Catalysis*, 2022, vol. 43, no 2, p. 178-214. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(21\)63910-4](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(21)63910-4)
76. WANG, Qiang, et al. Urbanization and water consumption at national-and subnational-scale: The roles of structural changes in economy, population, and resources. *Sustainable Cities and Society*, 2021, vol. 75, p. 103272. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103272>
77. WU, Yuanyuan, et al. A photothermal system for wastewater disposal and co-generation of clean water and electricity. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2022, vol. 10, no 1, p. 107124. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.107124>
78. XU, Shujie, et al. Assessing progress towards sustainable development in Shenzhen 2005–2019. *Journal of Cleaner Production*, 2022, vol. 349, p. 131496. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131496>
79. YAN, Kai. Biomass Resources Utilization. *Frontiers in Chemistry*, 2022, p. 686. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.948565>
80. ZAMORA-LEDEZMA, Camilo, et al. Heavy metal water pollution: A fresh look about hazards, novel and conventional remediation methods. *Environmental Technology & Innovation*, 2021, vol. 22, p. 101504. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101504>
81. ZENG, Qiang, et al. Eco-friendly leaching of rubidium from biotite-containing minerals with oxalic acid and effective removal of Hg²⁺ from aqueous solution using the leaching residues. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 306, p. 127167. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127167>

82. ZHANG, Wenxuan, et al. Preparing graphene oxide–copper composite material from spent lithium ion batteries and catalytic performance analysis. *Research on Chemical Intermediates*, 2018, vol. 44, no 9, p. 5075-5089. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11164-018-3410-4>
83. ZHENG, Renji, et al. Enhanced Cr (VI) reduction on natural chalcopyrite mineral modulated by degradation intermediates of RhB. *Journal of Hazardous Materials*, 2022, vol. 423, p. 127206. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127206>
84. ZHOU, Hongjie; ZHOU, Lyu; MA, Keke. Microfiber from textile dyeing and printing wastewater of a typical industrial park in China: Occurrence, removal and release. *Science of the Total Environment*, 2020, vol. 739, p. 140329. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140329>
85. ZHOU, Wei, et al. O-doped graphitic granular biochar enables pollutants removal via simultaneous H₂O₂ generation and activation in neutral Fe-free electro-Fenton process. *Separation and purification technology*, 2021, vol. 262, p. 118327. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.118327>
86. ZHU, Yanchen, et al. Husbandry waste derived coralline-like composite biomass material for efficient heavy metal ions removal. *Bioresource Technology*, 2021, vol. 337, p. 125408. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125408>

ANEXOS

 Universidad César Vallejo	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
TÍTULO DE INVESTIGACIÓN:	
DATOS DEL AUTOR:	
TIPO DE INVESTIGACION:	
CÓDIGO:	
PALABRAS CLAVES :	
METODOLOGÍAS DE INVESTIGACIÓN:	
EFICIENCIA DE FOTODEGRADACIÓN Y ADSORCIÓN:	
TIPOS DE MATERIALES DE DESECHOS:	
RESULTADOS :	
CONCLUSIONES:	



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "

Estudio de Purificación de Aguas Residuales mediante Fotodegradación y Adsorción empleando Materiales de Desechos: Revisión Sistemática.", cuyo autor es JAVIER ARCE NADIA NATALY, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 12.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

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

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

LIMA, 15 de Noviembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO DNI: 10473562 ORCID: 0000-0001-6017-1192	Firmado electrónicamente por: CUGARTEA el 28-11- 2022 10:46:43

Código documento Trilce: TRI - 0441201