



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Compuestos Porosos de Sílice-Grafeno (SG) para la Eliminación de
Contaminantes Tóxicos de los Cuerpos de Agua: Revisión
sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Bejarano Gonzales, Josua Levi (ORCID: 0000-0001-5210-6489)

ASESOR:

Mg. Honores Balcazar, Cesar Francisco (ORCID: 0000-0003-3202-1327)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres Manuel y Nelly quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre. A mis 5 hermanos por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas. Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias hermanos, siempre los llevo en mi corazón.”

AGRADECIMIENTO

“Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades de la Universidad César Vallejo, por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento educativo.

De igual manera, mis agradecimientos a mi alma mater, a toda la Facultad de Ingeniería Ambiental, a mi asesor y al Dr. Ronald Espinoza quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Mg. Cesar Honores, principal colaborador e impulsor durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.”

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Índice de gráficos	vii
Índice de abreviaturas	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	15
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
V. CONCLUSIONES	37
VI. RECOMENDACIONES	38
REFERENCIAS.....	39
ANEXOS.....	50

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Rendimiento de los compuestos SG</i>	21
<i>Tabla 2. Contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua más tratados</i>	29
<i>Tabla 3. Materiales de SG utilizados para la eliminación de contaminantes tóxicos</i>	32

Índice de figuras

<i>Figura 1. Distribución y contaminación en las matrices ambientales debido a diversas prácticas industriales y aportes antropogénicos</i>	7
<i>Figura 2. Materiales, estructura y aplicaciones de los compuestos porosos de sílice-grafeno (SG)</i>	9
<i>Figura 3. Compuestos porosos de sílice-grafeno (SG) como adsorbente</i>	10

Índice de gráficos

<i>Gráfico 1. Tipos de contaminación en el agua</i> -----	5
<i>Gráfico 2. Clasificación de los tipos de contaminantes del agua</i> -----	6
<i>Gráfico 3. Procedimiento de estudio</i> -----	18
<i>Gráfico 4. Porcentaje de la clasificación de contaminantes tóxicos presentes en los cuerpos de agua</i> -----	31

Índice de abreviaturas

SG	: sílice-grafeno
GO	: óxido de grafeno
HAP	: hidrocarburos aromáticos policíclicos
VSM	: magnetometría de muestras vibrantes
SEM	: microscopía electrónica de barrido
FHA	: aerogel híbrido fluorado
ROS	: especies reactivas de oxígeno

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue definir los aspectos más relevantes de la aplicación de compuestos porosos de sílice-grafeno (SG) para la eliminación de contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua. La metodología usada fue de tipo aplicada con un diseño sistemático, donde utilizando las plataformas sciencedirect, scielo, scopus y Proquest; con el método de análisis documentos se recolectaron 31 estudios.

El resultado se tuvo el rendimiento de los compuestos SG es alto, de acuerdo a los porcentajes de eliminación y eficiencia de remoción de los diversos contaminantes tóxicos. Además, los parámetros que influyen dependen de las características fisicoquímicas del sorbente, como el área superficial específica, la propiedad de los poros y los grupos funcionales de la superficie, además, también depende de las propiedades del adsorbato, como la estructura molecular, la polaridad y los parámetros físicos. Los contaminantes tóxicos son los iones metales pesados, los colorantes y pesticidas con un 36% para cada uno, mientras que los contaminantes orgánicos con 9 estudios presentan un 28%. Los materiales de SG utilizados son los compuestos en forma de aerogel, además debido que, en comparación con los otros materiales, estos muestran los resultados más prometedores.

Palabras clave: porous, compounds, contaminants, silica, graphene

ABSTRACT

The objective of this work was to define the most relevant aspects of the application of porous silica-graphene (SG) composites for the removal of toxic pollutants from water bodies. The methodology used was of the applied type with a systematic design, where using the platforms sciencedirect, scielo, scopus and Proquest; with the document analysis method, 31 studies were collected.

From the results it was found that the performance of SG compounds is high, according to the percentages of elimination and removal efficiency of the various toxic pollutants. Furthermore, the influencing parameters depend on the physicochemical characteristics of the sorbent, such as specific surface area, pore property and surface functional groups, in addition, it also depends on the adsorbate properties, such as molecular structure, polarity and physical parameters. Toxic contaminants are heavy metal ions and dyes and pesticides with 36% for each, while organic contaminants with 9 studies present 28%. The SG materials used are aerogel composites, also because, compared to the other materials, they show the most promising results.

Keywords: porous, compounds, contaminants, silica, graphene

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un valioso regalo de la naturaleza para la humanidad y otras formas de vida en la Tierra (Qureshi Asad S. et al., 2016, p.2). En todo el mundo, el agua dulce representa el 3% del volumen total de agua de la Tierra, y sólo una pequeña fracción (<1%) de este recurso está disponible para los ecosistemas y la utilización humana (Guadie A. et al., 2021, p.2).

En Europa, el 38% del agua dulce se destina a la producción de energía, el 30% a la agricultura, el 14% a la industria y el 18% restante al abastecimiento público de agua, sin embargo, el uso del agua varía mucho de una parte a otra del mundo (Bontinck P. et al., 2021, p.2).

En Egipto, por ejemplo, el 98% del agua se destina a la irrigación, lo que deja sólo 27 l/habitante al día para uso doméstico; a nivel mundial, cerca del 70% del agua dulce se utiliza actualmente para el riego de cultivos, alrededor del 20% para fines industriales y el 10% para fines domésticos (Shi X. et al., 2020, p.5).

Ante ello, el agua dulce disponible es un recurso natural escaso por una serie de razones, como el rápido crecimiento de la población, la distribución desigual, el cambio climático, la contaminación y las actividades industriales y agrícolas (Yan Shuwen et al., 2017, p.3).

Pero en los últimos años, la preocupación por la contaminación hídrica se ha intensificado debido al alto nivel de vida y la demanda de los consumidores (Bilal M. et al., 2017, p.2). Por ejemplo, la eliminación de metales pesados tóxicos, el derrame de petróleo, el uso de materiales no biodegradables, la aplicación de pesticidas, el uso de fertilizantes, lodos y desechos de otros materiales peligrosos plantean serias amenazas (Bilal M. et al., 2018, p.2).

Entre los contaminantes tóxicos generados antropogénicamente que comúnmente están presentes en el agua se encuentran una gran variedad de compuestos sintéticos ampliamente utilizados, incluidos cosméticos, pesticidas, productos farmacéuticos, hormonas esteroideas y productos para el cuidado personal, etc. (Gomes I. et al., 2018, p.1). Además, estos contaminantes, que suelen ser liberados en las aguas por las industrias, son cancerígenos y pueden ser letales para los seres humanos al consumirlos (Wu et al., 2020).

Es así que, la contaminación de las aguas dulces se debe a la industrialización y urbanización de la sociedad; lo que conlleva a una demanda de gestión de aguas residuales y plantas de tratamiento para erradicar los contaminantes antes de su liberación en el medio ambiente (Lindamood D. et al., 2021, p.3).

Por lo que la adsorción es un proceso libre de productos químicos que utiliza materiales sólidos porosos para eliminar los contaminantes de las aguas residuales (Wang Zhen et al., 2022, p.1). Siendo considerado uno de los métodos más prometedores para eliminar contaminantes debido a su bajo coste flexibilidad, reutilización y bajo consumo de energía (Briens C. et al., 2022, p.1).

Con ello los nuevos materiales como compuestos porosos de sílice-grafeno (SG) de contaminantes tóxicos para mejorar el rendimiento de adsorción se viene considerando como una técnica de interés (Ma Mengyu et al., 2021, p.2).

Ante lo mencionado, el presente estudio planteó la siguiente pregunta: ¿Cuáles son los aspectos más relevantes de la aplicación de compuestos porosos de sílice-grafeno (SG) para la eliminación de contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua?

Así mismo, se elaboraron los siguientes problemas específicos:

PE1: ¿Cuál es el rendimiento de los compuestos SG en la eliminación de los contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua?

PE2: ¿Cuáles son los contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua más tratados por los compuestos SG?

PE3: ¿Cuáles son los materiales de SG utilizados para la eliminación de contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua?

De lo cual se planteó como objetivo general: Definir los aspectos más relevantes de la aplicación de compuestos porosos de sílice-grafeno (SG) para la eliminación de contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua.

De acuerdo a ello se elaboraron los siguientes objetivos específicos:

OE1: Identificar el rendimiento de los compuestos SG en la eliminación de los contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua

OE2: Clasificar los contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua más tratados por los compuestos SG

OE3: Determinar los materiales de SG utilizados para la eliminación de contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua

Este trabajo de investigación se centra en la búsqueda y comparación de diversas literaturas actualizadas a nivel nacional e internacional para estudiar el potencial de la aplicación de sílice-grafeno como compuesto poroso; por lo que la justificación presentada es de manera teórica. Teniendo como finalidad mostrar un estudio con materiales de nanoestructura con eficiencia mejorada para aplicaciones ambientales y pudiendo contribuir con la sociedad mediante una propuesta amigable y sostenible para la eliminación de contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua. Siendo dirigido el presente trabajo a la sociedad involucrada en la problemática y a los profesionales competentes del área que puedan aplicar el presente estudio o continuar con él en otros campos.

II. MARCO TEÓRICO

El agua no es una sustancia más, sino que está relacionada con el desarrollo y el mantenimiento de toda la vida en nuestro planeta (Rozyanty A. et al., 2021, p.2). Un árbol contiene un 60% de agua, la mayoría de los animales están compuestos por un 65% de agua, mientras que nuestro cuerpo contiene alrededor de un 55% de agua (Kumar M. et al., 2020, p.4).

Desempeña múltiples funciones; como la de regula el clima de la tierra a través de los océanos acepta y dispersa los contaminantes, es vital para la mayoría de las formas de vida como agua potable (Mao H. et al., 2020, p.2). Además de todos los demás valores preciosos, el agua limpia es un requisito previo para el desarrollo económico y sostenible de la humanidad (Meng M. et al., 2019, p.1).

Además de beberla para sobrevivir, la gente utiliza el agua de muchas maneras, como cocinar, lavar el cuerpo, lavar la ropa, lavar los utensilios de cocina y de comer, mantener limpias las casas y las comunidades, actividades recreativas como la natación y la pesca, mantener vivas las plantas en jardines y parques, etc. (Mao H. et al., 2016, p.4). El agua dulce se consume todos los días para cubrir la demanda de alimentos; para uso doméstico; en la agricultura, que es un gran consumidor; en la construcción, el transporte y la industria química; y en muchas otras actividades humanas (Liu X. et al., 2019, p.3).

La producción de alimentos también depende totalmente de la disponibilidad de agua limpia (Bulay Anee Marie et al., 2018, p.1).

Para erradicar el hambre, la propagación de enfermedades y la pobreza en nuestro mundo, el punto de partida, el requisito más importante y el factor más crítico es garantizar el acceso al agua potable a las poblaciones (Simmons A. et al., 2022, p.3). Estos numerosos usos del agua y su importancia para la vida en la Tierra se deben a sus propiedades únicas, que a su vez están relacionadas con la estructura molecular del agua y el enlace de hidrógeno entre las moléculas de agua (Ajibade F. et al., 2021, p.4).

El agua es la única sustancia que existe de forma natural en la Tierra en los tres estados físicos de la materia, gas, líquido y sólido, cambiando de una forma a otra (Balasurita A., 2018, p.3).

Pero, el deterioro de la calidad del agua por contaminación se viene incrementando, siendo la contaminación la introducción de sustancias o energía en el medio ambiente (Schweitzer L. y Noblet J., 2018, p.2) Que provoca efectos nocivos de tal naturaleza que ponen en peligro la salud humana, dañan los recursos vivos y los ecosistemas, y deterioran o interfieren en los servicios y otros usos legítimos del medio ambiente (Salman M. et al., 2019, p.1).

Casi todas las actividades humanas tienen un impacto negativo en el agua y la calidad del agua está influenciada tanto por la contaminación directa de fuentes puntuales como por la difusa, que proviene de las poblaciones urbanas y rurales, de las emisiones industriales y de la agricultura (Terry N. et al., 2020, p.201). Siendo descritas en el gráfico 1.

Gráfico N°1: Tipos de contaminación en el agua



Elaboración propia

Siendo así que, según el tipo de fuente, dividimos la contaminación del agua en contaminación puntual y contaminación difusa (Yu Yunlong et al., 2020, p.1). Si se

tiene en cuenta la fuente específica, se puede calificar la contaminación del agua como contaminación industrial si está relacionada con las actividades industriales (Wang Y. et al., 2022, p.4). Contaminación por aguas residuales si está relacionada con los vertidos de aguas residuales de las zonas urbanas y rurales, o contaminación agrícola si se trata de nutrientes, pesticidas u otros productos químicos utilizados en las actividades agrícolas (Lofty J. et al., 2022, p.2).

Además, los distintos tipos de contaminantes del agua pueden clasificarse en las siguientes categorías principales:

Gráfico N°2: Clasificación de los tipos de contaminantes del agua

Categorías de los contaminantes del agua	Contaminantes orgánicos
	Nutrientes y escorrentía agrícola
	Contaminantes inorgánicos
	Patógenos
	Sólidos en suspensión y sedimentos
	Contaminantes radiactivos

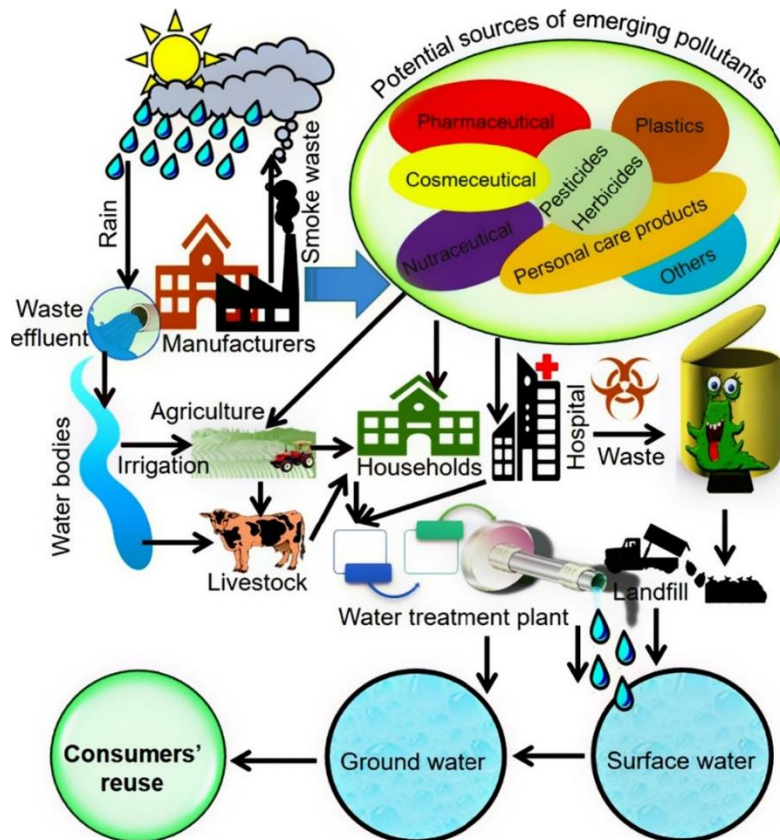
Elaboración propia

Trayendo consigo como consecuencias que la liberación de compuestos orgánicos biodegradables en las masas de agua provoque la disminución del oxígeno disuelto en el agua debido a su consumo por los microorganismos acuáticos que descomponen los contaminantes orgánicos (Ma Lanting et al., 2022, p.2).

En el caso de la presencia excesiva de nutrientes vegetales, como los nitratos y el fósforo, en el medio ambiente a través de las actividades agrícolas directamente, o indirectamente a través de la escorrentía agrícola, puede causar el problema de la eutrofización (Syahida S. et al., 2020, p.3). Donde la eutrofización es el rápido agotamiento del oxígeno disuelto en una masa de agua debido al aumento de la productividad biológica (Van Beusekom J., 2018, p.1).

Además, los altos niveles de nitrógeno en el suministro de agua causan un riesgo potencial para la salud, especialmente para los niños menores de 6 meses (Li Dongfan et al., 2021, p.3). (Ver figura 1).

Figura N°1: Distribución y contaminación en las matrices ambientales debido a diversas prácticas industriales y aportes antropogénicos



Fuente: Extraído de Rasheed T. et al., 2019

Esto ocurre cuando la metahemoglobina provoca una disminución de la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre (enfermedad del (enfermedad del bebé azul), ya que los iones de nitrato de la sangre oxidan fácilmente los iones ferrosos de la hemoglobina (Yu H. et al., 2022, p.2).

En el caso de la presencia de contaminantes inorgánicos en los cuerpos de agua como los metales, los no metales y los ácidos/bases deterioran gravemente la calidad del agua, ya que son tóxicos incluso en concentraciones de partes por millones (Shorie M. et al., 2019, p.2). En particular los metales pesados son extremadamente peligrosos para la salud humana y la vida acuática, ya que, se acumulan en el medio ambiente y en la cadena alimentaria (Roychowdhury A. et al., 2018, p.3).

Mientras que los microorganismos patógenos, como los virus, las bacterias y los protozoos, se liberan en las masas de agua a través de los vertidos de las aguas residuales y de las aguas residuales de las industrias animales, como los mataderos (Srivastava N. y Chattopadhyay J., 2022, p.2). Siendo responsables de enfermedades transmitidas por el agua, como cólera, la fiebre tifoidea, la disentería, la poliomielitis y la hepatitis infecciosa en los seres humanos (Pei De Sheng et al., 2022, p.4).

Por ello, ante la problemática planteada, la adsorción entre todos estos tratamientos, la adsorción se considera uno de los métodos más prometedores para eliminar contaminantes debido a su bajo coste, flexibilidad, reutilización y bajo consumo de energía (Yousefi N. et al., 2019, p.3). Siendo que la adsorción es un proceso libre de químicos que hace uso de materiales sólidos porosos para eliminar contaminantes de las aguas residuales mediante un proceso de sorción, es eficaz para todo tipo de contaminantes (Crini G. y Lichtfouse E., 2019, p.1).

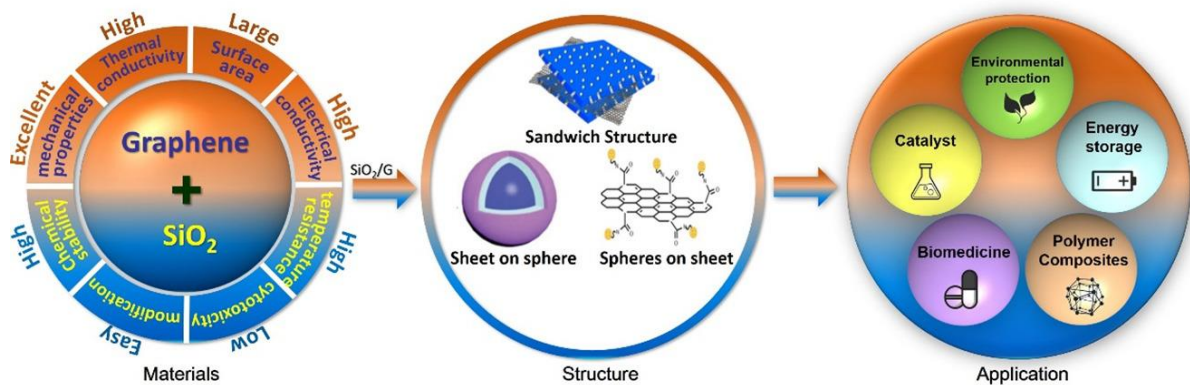
A partir de ello, el uso de materiales nanoporosos, como los nanomateriales de ingeniería de carbono, las zeolitas, los MOF, la sílice mesoporosa y los nanomateriales compuestos, han sido ampliamente estudiados por su rendimiento hacia la detección y eliminación de contaminantes (Radica Francesco et al., 2020, p.2). Además, el desarrollo de nanocompuestos mediante la fusión de estos materiales puede mejorar aún más el rendimiento general abriendo el camino a dispositivos más eficientes (Jiang Yu et al., 2018, p.1).

En este sentido, los nanocompuestos porosos basados en sílice son ampliamente estudiados para aplicaciones medioambientales (Loche D. et al., 2016, p.3). Esto se debe en gran medida a su baja toxicidad, alta estabilidad térmica, alta área superficial, textura sintonizable y características de los poros de las matrices de sílice (Yue Yajun et al., 2019, p.4).

Así mismo, el grafeno, que tiene buena conductividad eléctrica/térmica, excelentes propiedades mecánicas y una gran superficie específica, es prometedor en varios campos, sin embargo, la fácil agregación del grafeno limita su aplicación (Liou T. et al., 2020, p.2). Por tal motivo, la sílice, incluida la sílice mesoporosa, tiene aplicaciones potenciales en muchos campos debido a sus características de buena estabilidad química, fácil modificación, resistencia a altas temperaturas y baja citotoxicidad (Zhang B. et al., 2019, p.2).

La combinación de los dos emocionantes materiales para formar compuestos de sílice/grafeno (SiO_2/G) no solo supera el problema de la agregación, sino que también conduce a propiedades físicas/químicas mejoradas o incluso nuevas y un alto rendimiento debido a sus efectos sinérgicos (Zhang X. et al., 2017, p.3). (Ver figura 2).

Figura N°2: Materiales, estructura y aplicaciones de los compuestos porosos de sílice-grafeno (SG)



Fuente: Extraído de Ma Mengyu et al., 2021

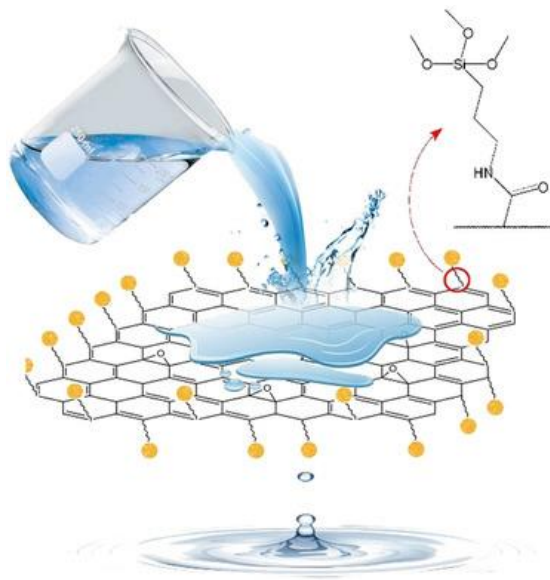
El grafeno y la sílice tienen sus ventajas, y su combinación dota a los compuestos de una variedad de propiedades únicas para expandir ampliamente el alcance de la aplicación.

Teóricamente, el grafeno tiene un área de superficie específica ultra alta. Sin embargo, la aglomeración de la pila se produce en el propio proceso de preparación, lo que reduce considerablemente su superficie (Li Min et al., 2020, p.1). Los materiales compuestos de SiO_2 con GO pueden superar el problema de agregación fácil de GO y contribuir al aumento de su superficie específica y el número de sitios de unión (Alvand N. y Shermirani F., 2017, p.2).

El grafeno también puede proporcionar una buena conductividad, alta resistencia mecánica y un área de superficie específica alta, mientras que el SiO_2 puede ofrecer un soporte excelente y una fácil modificación de la superficie, por lo tanto, la combinación de grafeno y SiO_2 puede producir materiales funcionales avanzados (Solís F. et al., 2017, p.1).

La aglomeración de GO se puede suprimir eficazmente mediante la combinación de GO y materiales de sílice, que tienen ventajas complementarias y perspectivas de aplicación considerables en muchos campos (Carbón D. et al., 2015, p.1).

Figura N°3: *Compuestos porosos de sílice-grafeno (SG) como adsorbente*



Fuente: *Extraído de Yue Yajun et al., 2019*

Mediante la figura 3, se muestra un compuesto de nano-sílice/zinc/óxido de grafeno (GO-NMSZ) como adsorbentes de nanocompuestos; donde se presentó una buena capacidad de adsorción y eficiencia de filtración; donde la gran cantidad de sitios metálicos activos y el alto grado de oxidación de las láminas GO dan como resultado un mecanismo de múltiples efectos que involucra una adsorción química y física no selectiva y estas características hacen que GO-NMSZ sea aplicable en la purificación de aguas residuales que contienen colorantes.

Ante lo expuesto se detallan a continuación los antecedentes más resaltantes seleccionados a nivel mundial que aplicaron compuestos porosos de sílice-grafeno (SG) para la eliminación de contaminantes tóxicos del medio hídrico:

Mahpishanian S. et al., (2017, p.1); en su estudio el óxido de grafeno se inmovilizó covalentemente en magnetita recubierta de sílice y luego se modificó con 2-feniletilamina para dar un nanocompuesto de tipo $Fe_3O_4 @ SiO_2 @ GO-PEA$ que se puede aplicar a la extracción magnética en fase sólida de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) de muestras de agua. Las microesferas resultantes

(Fe₃O₄@SiO₂@GO-PEA) se caracterizaron mediante técnicas de espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FT-IR), microscopía electrónica de barrido (SEM), análisis elemental CHNS y magnetometría de muestras vibrantes (VSM). El método se aplicó con éxito al análisis de PAH en muestras de agua ambiental donde mostró recuperaciones en el rango entre 71,7 % y 106,7 % (con RSD de 1,6 % a 8,4 %, para $n = 3$). Los resultados indicaron que las microesferas Fe₃O₄@SiO₂@GO-PEA eran muy prometedoras para la extracción de PAH de diferentes muestras de agua.

Loche D. et al., (2016, p.1); estudió los nanocompuestos de grafeno/sílice en forma de aerogeles altamente porosos se obtuvieron por primera vez mediante la integración de un enfoque novedoso para la producción de grafeno de baja efectividad con una ruta de dos pasos para la síntesis de un monolito basado en sílice. Donde la caracterización fisicoquímica proporciona evidencia de que el grafeno/SiO₂ y los nanocompuestos de aerogel a granel combinan las características distintivas de las láminas de grafeno dispersas y la matriz de aerogel de sílice porosa. Se encontró que la incorporación de grafeno en el aerogel, incluso a baja carga, aumenta significativamente el comportamiento hidrofóbico de los materiales. Esto, combinado con la alta relación superficie/volumen del aerogel, hace que el nanocompuesto resultante sea un candidato adecuado como nuevo absorbente de aceite para la remediación del agua. En particular, los aerogeles de grafeno/sílice desarrollados absorben selectiva y rápidamente el aceite, hasta más de 7 veces la masa absorbente del aerogel, de las mezclas de aceite y agua, y siguen flotando en el agua después de absorber la fase oleosa.

Wang N. et al., (2016, p.1); en su artículo describe el uso de óxido de grafeno/sílice modificado con tris(indolil)metano sustituido con nitro como sorbente de extracción en fase sólida para la determinación de ácidos orgánicos. El óxido de grafeno/sílice resultante modificado con tris(indolil)metano sustituido con nitro se caracterizó mediante espectroscopia FTIR y experimentos de adsorción. Se optimizaron los parámetros de extracción en fase sólida, como el tipo de sorbente, el pH de la solución de muestra, la velocidad de carga de la muestra, la concentración de sal del eluyente, la concentración de metanol del eluyente, la velocidad de elución, la carga de la muestra y el volumen de elución. El método mostró buena precisión, exactitud, sensibilidad y respuesta lineal para el análisis de ácidos orgánicos en un rango de

concentración de 1–100 µg/L para ácido benzoico, *p*-ácido -metoxibenzoico y ácido salicílico y 5-100 µg/L para el resto de ácidos orgánicos (ácido cinámico, ácido *p*-clorobenzoico y *ácido p*-bromobenzoico) con coeficientes de determinación (r^2) superiores a 0,9957. Se lograron límites de detección de 0,50 a 1,0 µg/L para seis ácidos orgánicos.

Wang X. et al., (2017, p.1); en su investigación se sintetizaron con éxito nuevos compuestos de sílice mesoporosa/grafeno magnético modificado con fenilo (MG-MS-Ph) con estructura jerárquica de puente-poro. El grafeno magnético (MG) como puente se obtuvo mediante un enfoque solvotérmico de un solo paso y luego la sílice mesoporosa funcionalizada con fenilo (MS-Ph) como poro modificó las superficies de MG a través de una estrategia fácil de un solo recipiente. El MG-MS-Ph resultante exhibió una gran área de superficie ($446,5 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), mesoporoso altamente ordenados con tamaño de poro uniforme (2,8 nm) y volumen de poro ($0,32 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$) y magnetización de saturación más alta (25 emu g^{-1}). Estas maravillosas características hicieron de MG-MS-Ph un prometedor adsorbente magnético de extracción en fase sólida para la eliminación de pesticidas de las aguas residuales.

Akpotu S. y Moodley B., (2018, p.2); en su estudio reportó la síntesis de nanotubos de sílice (SNT) a partir de pasto elefante, su encapsulación por óxido de grafeno reducido (RGO)/óxido de grafeno (GO) y su aplicación como adsorbente altamente eficiente para la remediación de sulfametoxazol de aguas residuales. El SNT fue sintetizado y encapsulado con GO y RGO, para obtener nanotubos de sílice de óxido de grafeno (SNTGO) y nanotubos de sílice de óxido de grafeno reducido (SNTG), respectivamente. Los adsorbentes se caracterizaron con FTIR, análisis elemental CHN, análisis termo gravimétrico, XRD, microscopía electrónica de barrido de emisión de campo y microscopía electrónica de transmisión. Los resultados de FTIR, análisis elemental y XRD confirmaron la síntesis exitosa de los materiales. SNTGO tenía una capacidad de adsorción de 125 mg/g, que aumentó a 248 mg/g cuando se redujo a SNTG en la adsorción de sulfametoxazol. El modelo de pseudo segundo orden describió mejor la cinética de adsorción y la isoterma de Freundlich se ajustó mejor a los datos de equilibrio.

Du Yongxu et al., (2018, p.1); en su estudio proporcionaron un nuevo enfoque en el que la sílice funcionalizada con amino se utiliza como plantilla para evitar que las hojas de grafeno y los agentes dopantes se vuelvan a apilar simultáneamente. Las

microestructuras, las propiedades porosas y la composición química de los aerogeles de óxido de grafeno reducido (RGO) dopados con N resultantes, caracterizados por microscopía electrónica de barrido, microscopía electrónica de transmisión, difracción de rayos X, Raman, espectroscopia de fotoelectrones de rayos X y medición de Brunauer-Emmett-Teller, indican que la cantidad de $\text{SiO}_2\text{-NH}_2$ tiene efectos profundos en el área superficial y la actividad del carbono de las láminas de grafeno. Beneficiándose de la gran área de superficie específica de $481,8 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, las bajas resistencias en serie y el alto contenido de dopaje de nitrógeno (4,4 átomos), el electrodo de aerogel RGO jerárquico poroso 3D y dopado con N exhibe un rendimiento electroquímico sobresaliente en ambientes acuosos y orgánicos.

Mohammadi N. y Mohammad K., (2018, p.1); en su estudio describe la síntesis de sílice y óxido de grafeno decorado con nanopartículas magnéticas (GO-MNPs- SiO_2) y su aplicación como adsorbente para la eliminación de naproxeno de aguas residuales. El nanocompuesto se caracterizó utilizando espectroscopía FT-IR, microscopía FESEM, espectroscopía EDX y XPS. En las condiciones óptimas se obtuvo una alta capacidad de adsorción (31 mg g^{-1}) hacia el naproxeno a pH 5. El proceso de adsorción se evaluó mediante isotermas; la isoterma de Freundlich sugirió un patrón de adsorción multicapa para el naproxeno. La energía libre confirmó un mecanismo de fisisorción entre el naproxeno y el adsorbente. Por último, la aplicación de campo se realizó en aguas residuales que obtuvieron altos porcentajes de eficiencia de remoción (83-94%).

Mi Hao Y. et al., (2018, p.1); elaboró mediante su trabajo de investigación la fabricación de un aerogel híbrido fluorado (FHA) que consta de óxido de grafeno (GO), nanofibrillas de celulosa (CNF) y nanopartículas de sílice mediante síntesis hidrotermal en un solo recipiente y posterior modificación por deposición de vapor químico y secado por congelación. Los CNF en FHA evitaron la contracción del volumen, redujeron en gran medida la densidad aparente y aumentaron el área superficial, mientras que GO retuvo su resistencia mecánica y la característica independiente de FHA. Las partículas de sílice y los CNF crearon estructuras jerárquicas en las paredes de los poros, y las fluorocadenas injertadas redujeron la energía superficial. El efecto sinérgico de la estructura jerárquica y la baja energía superficial contribuyeron a la excelente superhidrofobicidad (ángulo de contacto con el agua de 157°) y repelencia al agua (histéresis del ángulo de contacto inferior a 1°)

de FHA. Mientras tanto, FHA mantuvo la superoleofilicidad y mostró una eficiencia de absorción extraordinaria (~100%) y una capacidad de absorción relativamente alta (ganancia de peso de 39 a 68 veces) para varios aceites y solventes químicos. Este alto rendimiento se puede mantener en uso repetitivo.

Akpotu S. et al., (2020, p.1); en su trabajo el óxido de grafeno (GO) se sintetizó a través del método de Tours y se introdujo covalentemente metoxiéter polietilenglicol (mPEG) en la superficie GO a través de proceso suave de amidación fácil para dar GO-mPEG. GO-mPEG se ancló en SBA-15 nanoporoso y se redujo homogéneamente in situ a SBA-rGO-mPEG. El análisis XRD confirmó la síntesis exitosa de SBA-15 y GO/rGO-mPEG reticulado en la superficie de SBA-15. El análisis FTIR y textural reveló la presencia de diferentes grupos funcionales y alta área superficial, así como porosidad, respectivamente. Los experimentos de relación molar óptima mostraron que 0.5SBA-rGO-mPEG tenía la sorción más alta capacidad. El área de superficie relativamente grande, la estructura de sílice nanoporous tridimensional y el exceso de grupos funcionales de poliamida/amido-carbón en los nanocompuestos eran adecuados para la adsorción de 17β -estradiol. El tiempo de equilibrio fue de 30 min y el efecto del pH sobre la adsorción fue insignificante. El proceso cinético de sorción de SBA-rGO-mPEG se adaptaba al modelo de pseudo segundo orden y los datos de equilibrio se ajustaban a los modelos de Freundlich y Langmuir.

Zhang B. et al., (2019, p.2); en su estudio se ancló sílice mesoporosa funcionalizada con amino (NH_2 -MCM-41) en la superficie de NG y se desplegaron láminas de NG apiladas con canales porosos, construyendo así células catalíticas y de adsorción únicas para eliminar el p-cresol (p-CR) y bisfenol A (BPA). En comparación con el GN prístino, el contenido de nitrógeno de los compuestos NG/ NH_2 -MCM-41 aumentó del 3,61 % al 4,83 %, y la superficie aumentó de $98,03 \text{ m}^2/\text{ga}$ $193,93 \text{ m}^2/\text{g}$. Mientras tanto, el ángulo de contacto con el agua se redujo de $70,7^\circ$ a $36,3^\circ$, lo que indica una mejor dispersabilidad de compuestos NG/ NH_2 -MCM-41 en solución acuosa. Además, el NG modificado en compuestos NG/ NH_2 -MCM-41 mostró una cantidad de eliminación de 4,5 y 3,4 veces para p-CR y BPA, respectivamente, en comparación con el NG prístino. Los experimentos de extinción y la caracterización de especies reactivas de oxígeno (ROS) revelaron que en el proceso catalítico intervinieron mecanismos radicales y no radicales.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de diseño de investigación

La presente investigación es cualitativa, debido a que se van a producir datos descriptivos sobre las palabras o el comportamiento de los sujetos (Salgado A., 2007, p.71). Por tal motivo se aplica la investigación

Ante ello, el tipo de investigación es aplicada, ya que, este tipo de estudio se encarga de consolidar conocimientos mediante el análisis de estudios realizados al tema así mismo enriquecerse de información y aplicarlo en la propuesta de solución del estudio que viene afectando a un grupo de personas (Carter S. et al., 2019, p.2).

Por ello se aplicó la investigación de tipo aplicada, ya que, se van a adquirir conocimientos mediante la búsqueda y análisis de estudios realizados para aplicarlos en la problemática planteada acerca de definir los aspectos más relevantes de la aplicación de compuestos porosos de sílice-grafeno (SG) para la eliminación de contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua.

El diseño aplicado es sistemático; siendo descrito por Sovacool B. et al., (2018, p.2), como un análisis circular que identifica las variables de las categorías y sub categorías a plantear, además de captar las interpretaciones que transmite un estudio. Así mismo, se afirma que se aplicó el diseño sistemático por el motivo que se buscó elaborar las categorías en la matriz encontrada en el anexo 1 y de tal manera generar resultados exactos y detallados sobre los aspectos más relevantes de la aplicación de compuestos porosos de sílice-grafeno (SG).

3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización

Las categorías y sub categorías planteadas se definieron mediante el planteamiento de los tres objetivos específicos del estudio sobre la identificación de los compuestos SG en la eliminación de los contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua, los contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua y los materiales de SG más utilizados. Siendo así que las sub categorías son extensiones de las categorías que permitieron categorizar la información de la investigación cualitativa, validándolos mediante los resultados.

Además, las categorías y sub categorías planteadas son detalladas en la tabla de matriz de categorización apriorística presente en el anexo 1.

3.3. Escenario de estudio

El escenario de estudio de una investigación es el lugar en físico donde se realizan los estudios de tomas de muestras y experimentales para el desarrollo del estudio; por ende, al ser este.

Pero al ser una revisión sistemática se toma como escenario de estudios a más de un lugar, debido a que el diseño presentado en el trabajo es sistemático los escenarios fueron los lugares descritos por los autores de las diversas literaturas estudiadas; siendo entre ellas las universidades, laboratorios y lugar de campo donde se tomaron las muestras de los cuerpos de agua contaminadas.

3.4. Participantes

Los participantes son aquellos responsables de la intervención en la realización de un estudio; siendo en este trabajo los participantes las plataformas virtuales y portales web indexadas.

Los participantes considerados fueron: sciencedirect, scielo, scopus y Proquest; siendo estas páginas virtuales de acceso abierto, que permiten el libre acceso a la búsqueda de artículos científicos, libros virtuales, citas textuales, entre otros a nivel nacional e internacional en diversos idiomas.

De acuerdo a los 4 portales web se recolectaron artículos científicos en idiomas de inglés y portugués acerca de los compuestos porosos de sílice-grafeno (SG) y los contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Este trabajo de investigación aplicó la técnica de análisis documental para el análisis y recolección de datos; siendo este un método que permite generar un fácil acceso de documentos originales y facilitar su uso y recuperación (Ocak G. y Ocak I., 2016, p.648).

Mediante la técnica de análisis documental, el instrumento a utilizar fue la ficha de recolección de datos, siendo plasmado en el anexo 2, como la "ficha de análisis de

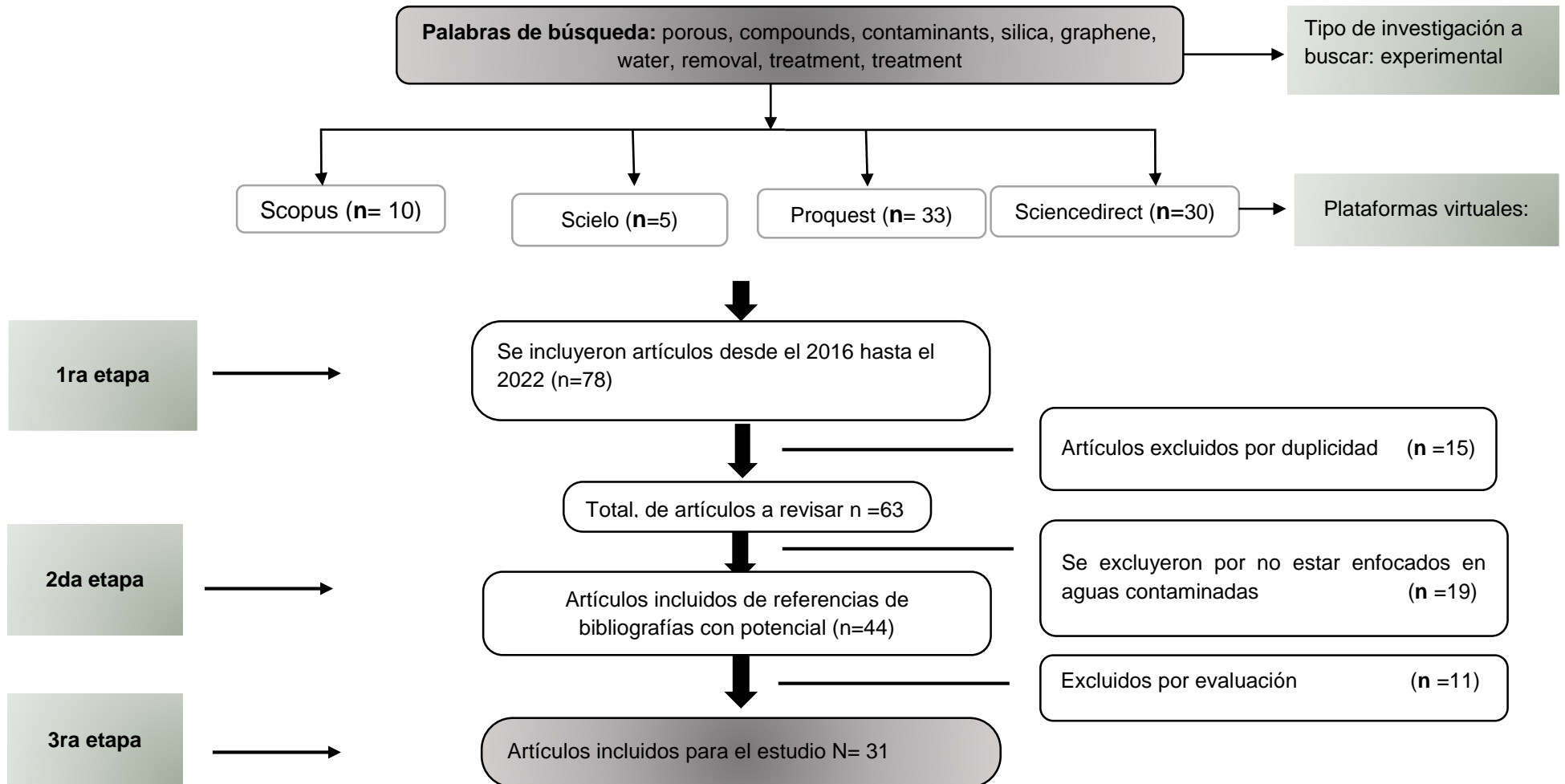
contenido”, dicha ficha de elaboración propia propuesta es descrita como el documento que permite que se plasme datos importantes y que sinteticen al documento original. Siendo detallados datos: datos de autor, tipo de investigación, objetivos, metodología, rendimiento de los compuestos SG, contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua, materiales de SG utilizados para la eliminación de contaminantes tóxicos, resultados y conclusiones.

3.6. Procedimiento

El procedimiento seguido y detallado en el gráfico 3 consistió en tres etapas de procedimiento de selección, en las cuales los filtros consistieron en documentos con la mayor información posible, datos relevantes, que se cumplan los años de antigüedad como se establece en la guía de productos observables, entre otros.

Así mismo, se mencionaron las palabras que fueron usadas como palabras claves para la búsqueda de los estudios en las páginas web descritas; todo ello debidamente detallado con las cantidades exactas de estudios seleccionado, incluidos y exclusiones.

Gráfico N°3: Procedimiento de estudio



3.7. Rigor científico

El rigor científico es definido como la cualidad de brindar exactitud y se logra mediante la reflexividad del investigador y una comunicación honesta entre el investigador y la audiencia con respecto al estudio y sus resultados. Por lo cual se buscó cumplir con 4 criterios que permitieron obtener el rigor científico; siendo descritos por (Cornejo et.al.,2011, pág.15), los criterios de dependencia, confirmabilidad, transferibilidad, credibilidad:

La dependencia es el criterio que permite la que se cumpla con la estabilidad de la información, siendo esto casi imposible señalado por diversos estudios, ya que señalan que ello es complicado al ser un estudio que utiliza datos reales y por ende los resultados llegan a ser irrepetibles. Pero este criterio se buscó conseguir brindando la mayor información posible en los resultados, así como las referencias bibliográficas, donde queda constancia de la información utilizada y que pueda ser verificada.

La confirmabilidad, este criterio consiste que tan neutro puede ser el análisis de un estudio para que otros investigadores puedan seguir con la investigación utilizando los datos dejados por el autor. Este criterio se buscó conseguir mediante la metodología realizada, siendo detallado informaciones esenciales de las técnicas y métodos utilizados para que otros pueda continuar con el estudio.

Transferibilidad, este criterio busca que se transfieran los datos presenten en los resultados obtenidos, para lo cual se realizar un trabajo minucioso y detallado, dejando de esta manera que los investigadores puedan aplicarlos sin que existan datos faltantes o dudas del porqué se obtuvo tal resultado.

Credibilidad, es la manera en como el investigador que estudio un trabajo científico pueda sintetizar y analizar la información de tal manera que al mostrarlos no queden dudas que él es estudio es verdadero; para lo cual se busca regresar al echo del estudio y generar indagaciones o revisar datos para confirmar los hallazgos obtenidos. Así este criterio se consiguió mediante el uso de la técnica de análisis documental, el cual permitió que se analizaran y extrajeran datos esenciales de los documentos originales.

3.8. Método de análisis de información

El método de la información consistió en el uso de la triangulación, debido a que, la triangulación puede adoptar varias formas, pero suele referirse al empleo de múltiples fuentes y métodos de recolección de datos, utilizando uno o dos técnicas o métodos para la recolección de la información (Cadena-Iñiguez, P. et al., 2017, p.7).

Ante ello se aplicó la matriz el cual permitió que se elaboren las categorías y de ellos surgieron las sub categorías mostradas a continuación, para así ahondar en los objetivos específicos que se busca resolver:

Categorías: Rendimiento de los compuestos SG, Contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua, Materiales de SG

Subcategorías: C1) Datos de adsorción, Porcentaje de eliminación, C2) Contaminantes orgánicos, Colorantes y pesticidas, Metales pesados, C3) Compuestos en forma de aerogel, Nanopartículas catalíticas, Magnéticas o plasmónicas

3.9. Aspectos éticos

El presente trabajo cumplió con los criterios que debe seguir para cumplir con el rigor científico de un estudio; siendo estos el respeto a la autoría, búsqueda del bien; ello, mediante la correcta cita de los autores utilizados siendo citados por la Norma ISO 690 y 690-2, así mismo se respetó los lineamientos de la resolución N° 0103-2018 y la guía de la Universidad César Vallejo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los aspectos más relevantes de la aplicación de compuestos porosos de sílice-grafeno (SG) para la eliminación de contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua son los contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua y los materiales de SG utilizados, debido a que de ello se va a determinar el rendimiento de los compuestos SG en la eliminación de los contaminantes tóxicos; por lo cual, se detallan en las siguientes tablas.

Mediante la tabla 1, se buscó identificar el rendimiento de los compuestos SG en la eliminación de los contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua, teniendo como criterio el adsorbente usado.

Tabla N°1: Rendimiento de los compuestos SG

Adsorbente	Contaminante	Datos de adsorción	Observaciones de la adsorción	Referencia
Contaminantes orgánicos				
Fe₃O₄@SiO₂@GO-PEA magnetita y 2 grafeno de sílice fenilfuncionalizado compuesto	Hidrocarburos aromáticos policíclicos hidrocarburos	Acenaftileno Fluoreno Fenantreno Antraceno Pireno Benz antraceno Criseno Benzo fluoranteno Benzo fluoranteno Benzo pireno Recuperación relativa %-más del 90%	La modificación del sorbente con PEA ayuda a aumentar las interacciones π con los analitos	Mahpishanian S. et al., (2017, p.1)

IL4-G@ sílice Compuestos de sílice de grafeno modificado con líquido iónico	clorofenol	4-clorofenol 2,4-diclorofenol 2,4,6-triclorofenol Índice de recuperación - 88,49–89,70%	No indica	Wang X. et al., (2017, p.1)
SNTG Compuesto de grafeno de nanotubos de sílice	Sulfametoxazol	248 mg/g	SSA- 100 m ² /g tamaño de poro- 39 nm Volumen de poro-0,52 cm ³ /g La adsorción fue asistida principalmente debido a la interacción electrostática e hidrofóbica.	Akpotu S. y Moodley B., (2018, p.2)
NG-0.5 Aerogel compuesto de sílice y grafeno dopado con nitrógeno	Petróleo	Diclorometano~27 Acetato de etilo ~23 Ciclohexano ~16 Tolueno- ~17 n-hexano- ~14 Gasolina- ~15 Diésel- ~20 Cloroformo- ~31 Las capacidades son veces el masa del sorbente	SSA: 481,8 m ² /g tamaño de poro: 3,9 nm Relación de masa de GO y sílice: 1:0,5.	Su Y. et al., (2018, p.1)
GO-MNP-Sílice Compuestos de sílice de nanopartículas de magnetita de óxido de grafeno	Compuesto orgánico	Naproxeno Capacidad de adsorción- 31,25 mg/g pH = 5	El fenómeno de adsorción ocurre debido a la interacción π - π entre el óxido de grafeno y el anillo de benceno del naproxeno. Los enlaces H y el pH también juegan un papel en la sorción. A pH<4 y pH>6 se produce una sorción baja debido a la repulsión electrostática.	Mohammadi N. y Mohammad K., (2018, p.1)

MGCSA Celulosa de grafeno mesoporoso aerogel de sílice	Disolventes orgánicos	Benceno ~ 62 Decano ~ 54 diclorometano~ 68 Xileno~59	SSA- 60 m2/g Ángulo de contacto 155° Densidad aparente- 20 mg/cm3	Mi Hao Y. et al., (2018, p.1)
SBA-rGO-PEG Compuestos de sílice de óxido de grafeno reducido funcionalizados con PEG	Compuesto orgánico	Estrógeno (17β-estradiol) 192,3 mg/g a pH 4	SSA- 23 m2/g tamaño de poro- 4,1 nm Volumen de poro-0,3 cm3/g Mecanismo de adsorción-(i) interacciones hidrofóbicas y π-π (ii) enlaces de hidrógeno 370 (iii) atrapamiento físico por los grupos amina-amida en los adsorbentes	Akpotu S. et al., (2020, p.1)
NG/NH2-MCM-41 Sílice mesoporosa funcionalizada con grafeno dopado con nitrógeno	Compuestos fenólicos	p-cresol~ 4,5 bisfenol-3,4 Las capacidades son veces la masa del adsorbente	SSA- 193.93 m2 /g	Zhang B. et al., (2019, p.2)
Si-G_5 Aerogel compuesto de óxido de grafeno reducido en sílice	Aceite	Aceite mineral de~7 a 10 ~ veces la masa del aerogel	SSA- 510 m2/g tamaño de poro- 25 nm Volumen de poro- 4,2 cm3/g Ángulo de contacto- 125	Thakkar S. et al., (2020, p.1)
Contaminantes de colorantes y pesticidas				
MG-MS-Ph Grafeno magnético con sílice mesoporosa sed fenilfuncional	Pesticidas	Avermectina imidacloprid Acetamiprid Piridabén phoxim Dürsban isocarbofós Diclorvos	SSA- 446,5 m2/g tamaño de poro- 2,8 nm Volumen de poro-0,3 cm3/g Los composites poseen una Estructura de "puente-poro", los grupos funcionales Ph proporcionan muchos sitios de adsorción para la sorción de pesticidas y las interacciones. Todos los plaguicidas fueron adsorbidos en grandes cantidades excepto el diclorvos, que se debió a la ausencia del anillo bencénico.	Wang X. et al., (2017, p.1)

M S/G@-SH@Pd (II) Compuesto de sílice mesoporosa grafeno_Pd (II)	Pesticidas (OPP)	Etión malatión dimetoato fenitrotión Recuperación ~93–94%	No indica	Aladaghlo Z. et al., (2020, p.1)
Fe3O4@SiO2 CS-TETA-GO Nanocompuesto magnético de sílice y grafeno funcionalizado con quitosano y trietilentetramne	Azul de metileno	529.9 mg/g, pH = 10	A valores altos de pH, se liberaron los sitios activos que ayudaron en la adsorción de los tintes. La adsorción fue impulsada por interacciones débiles como la electrostática, los enlaces de hidrógeno y los aromáticos.	Wang X. et al., (2017, p.1)
NH2-SiO2@CoFe2O4-GO Nanocompuestos de ferrita de cobalto y sílice funcionalizados con amino	Negro ácido	130.74 mg/g, pH = 2	La adsorción fue facilitada por interacciones electrostáticas en condiciones de pH bajo, las superficies estaban cargadas positivamente que ayudaron en la adsorción de especies cargadas negativamente. Los adsorbentes eran reutilizables, sin embargo, la eficiencia se redujo.	Santhosh C. et al., (2017, p.1)
GO-SBA-16 Nanocompuesto de sílice y grafeno mesoporoso	Malaquita Verde Metilo Violeta	358.52 mg/g 536.36 mg/g	SSA: 1039 m ² /g Tamaño de poro: 5,27 nm Volumen de poro: 0,83 cm ³ /g Un par solitario de átomos de N, S y O de moléculas tóxicas y los sitios activos en la superficie del compuesto ayudaron en la adsorción.	Chaudhuri H. et al., (2017, p.2)
G-PMS Nanocompuestos de sílice mesoporosa periódica de grafeno	Azul Ácido	21 mg/g	SSA- 452.86 m ² /g La adsorción fue asistida debido a las interacciones π-π entre el compuesto y el colorante.	Tabani H. et al., (2019, p.1)

GO-MS Óxido de grafeno _nanocompuestos mesoporosos SBA 15	Azul de metileno	242 mg/g	SSA- 891 m ² /g Tamaño de poro- 6,5 nm Volumen de poro- 1,035 cm ³ /g El área superficial grande y los grupos funcionales superficiales de los compuestos favorecieron el proceso de adsorción.	Liou T. y Lin M. (2020, p.1)
COK-12-GO-2 Nanocompuesto de óxido de grafeno de sílice mesoporoso de poro grande	Azul de metileno	198 mg/g pH-10	SSA- 298 m ² /g Tamaño de poro: 8,5 nm Volumen de poro: 0,48 cm ³ /g Los sitios negativos en la superficie del adsorbente interactuaron electrostáticamente con las moléculas de tinte cargadas positivamente.	Henning L. et al., (2019, p.1)
SiO₂NH₂-GO Nanocompuesto de sílice y grafeno funcionalizado con amino	Metileno Azul rodamina Azul Metilo Violeta	pH-10 300 mg/g 358 mg/g 178 mg/g	SSA-405,5 m ² /g Tamaño de poro: 7 nm La variación en la capacidad de adsorción se atribuye al tamaño de las moléculas del colorante. El mecanismo de adsorción se debe a las interacciones electrostáticas.	Czepa et al., W. (2020, p.1)
GO-NMSZ Compuesto nano-mesoporoso de sílice y grafeno dopado con zinc	Azul de metileno isatina rojo congo	100.4 mg/g 127.4 mg/g 289.90 mg/g	La adsorción se debió principalmente a interacciones π-π.	Yue Y. et al., (2019, p.1)
GO/SiO₂/SWCNTs Compuesto de nanotubos de carbono de pared simple de grafeno de sílice	Congo rojo	456.15 mg/g, pH 3	La adsorción se debió principalmente a interacciones electrostáticas entre la superficie protonada del compuesto y la molécula de colorante.	Almoisheer N. et al., (2019, p.1)

Iones de metales pesados				
mGO@SiO2@PPy-PTh óxido de grafeno recubierto de sílice modificado con compuestos de polipirrolpolitofeno	Ag (I) Au (III) Pd (II)	49 mg/g 50 mg/g 45 mg/g	Los restos funcionales que contienen átomos de S y N interactúan con los iones metálicos de manera efectiva debido a la presencia del compuesto.	Jalilian N. et al., (2017, p.1)
SiO2/RGO-2 Nanocompuestos reducidos en sílice	Cr (VI)	La eficiencia de adsorción es del 98,8 %, pH 2	SSA- 676 m2/g PV-0,4365 cm3/g A pH bajo, las cargas positivas en la superficie interactúan electrostáticamente con HcrO ⁻ 4 cargado negativamente, lo que conduce a una alta adsorción.	Yi G. et al., (2017, p.1)
GO-SOxR@SiO2 Nanocompuestos de óxido de sílice y grafeno funcionalizados con azufre	Pb (II) Cd (II) Ni (II) Zn (II)	172 mg/g 277 mg/g 144 mg/g 158 mg/g	SSA- 92 m2 /gramo PS-2,22 nm Las interacciones electrostáticas favorecieron la adsorción de los analitos	Pirveysian M. y Ghiaci M. (2018, p.1)
Cr (VI) IIP cromo (VI) nanocompuesto de óxido de grafeno de sílice impreso con iones	Cr (VI)	438.1 mg/g, pH 2	SSA- 154 m2/g A valores de pH bajos, las interacciones electrostáticas entre el Cr (VI) y el Cr (VI) IIP tienen lugar en 5 min.	Huang R. et al., (2018, p.1)
Cr (VI) IIP cromo (VI) nanocompuesto de óxido de grafeno de sílice impreso con iones	Hg (II)	829.27 ± 7.19 mg/g	No indica	Manna B. y Raj C. (2018, p.1)
GS-PPy nanocompuestos de grafeno/SiO2@polipirrol	Cr (VI)	429.2 mg/g, pH 2	SSA- 37.6 m2 /g	Fang W. et al., (2018, p.1)

SG @ GO-IIP Gel de sílice basado en nanocompuestos impresos con iones/óxido de grafeno	Pd (II)	147.7 mg/g	SSA- 216,81 m ² /g PV-0,240 cm ³ /g PS-6,56 nm El mecanismo de adsorción se ve favorecido por la formación de enlaces entre Pd(II) y yodo	Li D. et al., (2021, p.1)
GO@SiO₂@C@Ni-400 Compuestos mesoporosos de sílice, óxido de grafeno y níquel calcinados a 400° C	Cr (VI)	299.20 mg/g, pH 2	SSA- 229,88 m ² /g La formación de Cr (III) y la complejación de Cr (VI) y el grupo funcional de superficie favorecieron el proceso de adsorción	Wang J. et al., (2019, p.1)
SiO₂@GO-SH Óxido de grafeno recubierto de gel de sílice modificado con grupos Mercapto	Pd (II)	432.2 mg/g, pH 3.5	SSA- 235.74 m ² /g PV-0.245 cm ³ /g PS-7.821 nm	Li M. et al., (2019, p.1)
Cu (II)-IIP Compuestos de óxido de grafeno/sílice mesoporosos impresos con iones de cobre	Cu (II)	195.4 mg/g, pH 5.5	SSA- 194,1 m ² /g Las interacciones sinérgicas entre el Cu (II) y el material impreso con iones favorecen el proceso de adsorción	Fang P. et al., (2020, p.1)
GO@M_{Sp}@SiO₂@-NH₂ Compuestos de óxido de grafeno recubiertos de sílice basados en esporopolenina magnética funcionalizada con aminopropiltrim toxisilano	Pb (II)	323 mg/g, pH 6	La adsorción química se vio favorecida por el intercambio de electrones y la complejación entre el Pb(II) y el composite.	Hassan A. et al., (2020, p.1)

En el presente trabajo de investigación se revisan los compuestos fabricados con SG por su rendimiento en la remediación ambiental; siendo de acuerdo con la tabla 1 que el rendimiento de los compuestos de sílice-grafeno en la eliminación de los contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua es alto, de acuerdo a los porcentajes de eliminación y eficiencia de remoción de los diversos contaminantes tóxicos, como se muestra con la comparación de los 31 estudios.

Así lo reafirma Yi G. et al., (2017, p.1), quien obtuvo una eficiencia de adsorción del 98,8 % con un pH 2. Además, señala que A pH bajo, las cargas positivas en la superficie interactúan electrostáticamente con HCrO_4^- cargado negativamente, lo que conduce a una alta adsorción.

Por un lado, se pueden conseguir altas cargas de óxido de grafeno (GO) en la matriz de sílice sin que se produzca agregación, y, por otro lado, las altas cargas de grafeno prístino conducen a la agregación (Loche et al., 2016, p.3). Aunque no se ha realizado ningún estudio claro para evaluar el rendimiento de los compuestos que contienen diferentes formas de materiales de grafeno los diversos autores mediante los resultados en sus estudios han permitido que se tenga una idea más clara.

Así estudios como Liou T. y Lin M. (2020, p.1), afirman que el rendimiento de los compuestos depende de los materiales usados, siendo los materiales nanoporosos, como los nanomateriales de ingeniería de carbono, las zeolitas, los MOF, la sílice mesoporosa y los nanomateriales compuestos quienes más se han estudiado por sus rendimientos para la detección y eliminación de contaminantes.

Así también lo corrobora Mura et al., (2017, p.2); Radica et al., (2020, p.1) y Wu et al., (2020, p.4); quienes manifiestan mediante los estudios realizados que el desarrollo de nanocompuestos mediante la fusión de estos materiales puede mejorar aún más el rendimiento general abriendo el camino a dispositivos más eficientes.

Pero también, estudios señalan que los parámetros que influyen en el rendimiento de los compuestos de SG, donde las interacciones entre el adsorbato y el adsorbente dependen de las características fisicoquímicas del sorbente, como el área superficial específica, la propiedad de los poros y los grupos funcionales de la superficie, además, también depende de las propiedades del adsorbato, como la estructura molecular, la polaridad y los parámetros físicos (Jiang et al., 2018, p.6).

Siendo ello corroborado también por: Wang J. et al., (2019, p.1), Fang P. et al., (2020, p.1), Manna B. y Raj C. (2018, p.1), Yi G. et al., (2017, p.1), Almoisheer N. et al., (2019, p.1), Czepa et al., W. (2020, p.1); afirmando que las características del material adsorbente favorecen el proceso de adsorción del adsorbato o contaminante.

Lo expuesto anteriormente es también apoyado por Zhang et al., (2017, p.1), quien menciona que el ajuste de las propiedades del material permite obtener el máximo rendimiento de la sorción en condiciones experimentales/ambientales variables, como la temperatura, el pH, la humedad, etc. Así mismo, Mura et al., (2018, p.2), señala que el rendimiento de los materiales depende en gran medida de las propiedades superficiales; ello debido a que, la adsorción de contaminantes en estos sorbentes suele verse favorecida por interacciones físicas y químicas.

Por otro lado, se clasificó los contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua más tratados por los compuestos SG, teniendo como criterio al tipo de adsorbato o contaminante,

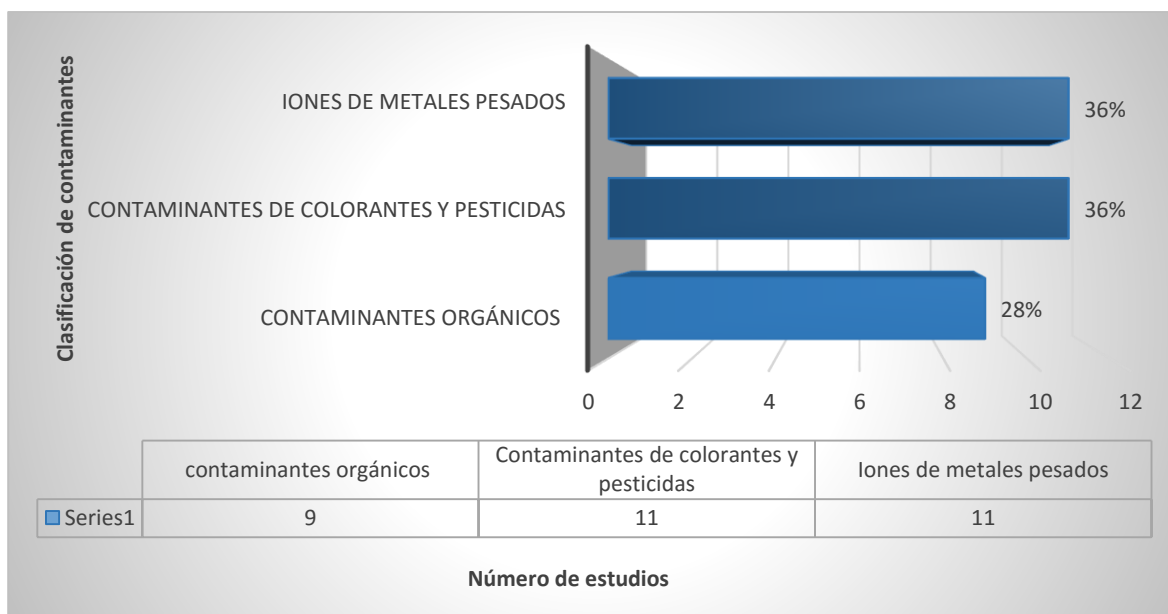
Tabla N° 2: Contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua más tratados

Tipo de contaminante	Contaminante	Referencia
Contaminantes orgánicos	Hidrocarburos aromáticos policíclicos hidrocarburos	Mahpishanian S. et al., (2017, p.1)
Contaminantes orgánicos	clorofenol	Wang X. et al., (2017, p.1)
Contaminantes orgánicos	Sulfametoxazol	Akpotu S. y Moodley B., (2018, p.2)
Contaminantes orgánicos	Petróleo	Su Y. et al., (2018, p.1)
Contaminantes orgánicos	Compuesto orgánico	Mohammadi N. y Mohammad K., (2018, p.1)
Contaminantes orgánicos	Disolventes orgánicos	Mi Hao Y. et al., (2018, p.1)
Contaminantes orgánicos	Compuesto orgánico	Akpotu S. et al., (2020, p.1)
Contaminantes orgánicos	Compuestos fenólicos	Zhang B. et al., (2019, p.2)
Contaminantes orgánicos	Aceite	Thakkar S. et al., (2020, p.1)
Contaminantes de colorantes y pesticidas	Pesticidas	Wang X. et al., (2017, p.1)
Contaminantes de colorantes y pesticidas	Pesticidas (OPP)	Aladaghlo Z. et al., (2020, p.1)

Contaminantes de colorantes y pesticidas	Azul de metileno	Wang X. et al., (2017, p.1)
Contaminantes de colorantes y pesticidas	Negro ácido	Santhosh C. et al., (2017, p.1)
Contaminantes de colorantes y pesticidas	Malaquita Verde Metilo Violeta	Chaudhuri H. et al., (2017, p.2)
Contaminantes de colorantes y pesticidas	Azul Ácido	Tabani H. et al., (2019, p.1)
Contaminantes de colorantes y pesticidas	Azul de metileno	Liou T. y Lin M. (2020, p.1)
Contaminantes de colorantes y pesticidas	Azul de metileno	Henning L. et al., (2019, p.1)
Contaminantes de colorantes y pesticidas	Metileno Azul rodamina Azul Metilo Violeta	Czepa et al., W. (2020, p.1)
Contaminantes de colorantes y pesticidas	Azul de metileno isatina rojo congo	Yue Y. et al., (2019, p.1)
Contaminantes de colorantes y pesticidas	Congo rojo	Almoisheer N. et al., (2019, p.1)
Iones de metales pesados	Ag (I) Au (III) Pd (II)	Jalilian N. et al., (2017, p.1)
Iones de metales pesados	Cr (VI)	Yi G. et al., (2017, p.1)
Iones de metales pesados	Pb (II) Cd (II) Ni (II) Zn (II)	Pirveysian M. y Ghiaci M. (2018, p.1)
Iones de metales pesados	Cr (VI)	Huang R. et al., (2018, p.1)
Iones de metales pesados	Hg (II)	Manna B. y Raj C. (2018, p.1)
Iones de metales pesados	Cr (VI)	Fang W. et al., (2018, p.1)
Iones de metales pesados	Pd (II)	Li D. et al., (2021, p.1)
Iones de metales pesados	Cr (VI)	Wang J. et al., (2019, p.1)
Iones de metales pesados	Pd (II)	Li M. et al., (2019, p.1)
Iones de metales pesados	Cu (II)	Fang P. et al., (2020, p.1)
Iones de metales pesados	Pb (II)	Hassan A. et al., (2020, p.1)

De acuerdo con la tabla 2, se clasificó los contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua más tratados por los compuestos SG, donde se obtuvo mediante la comparación de 30 estudios que los contaminantes más usados con los iones metálicos, colorantes y pesticidas y contaminantes orgánicos.

Gráfico N°4: Porcentaje de la clasificación de contaminantes tóxicos presentes en los cuerpos de agua



Elaboración propia

Los contaminantes pueden existir en forma de aceites crudos viscosos que son parcialmente miscibles/inmiscibles en el agua, o moléculas dispersables como tintes, pesticidas y metales pesados (Czepa et al., W. 2020, p.1). Donde de acuerdo al gráfico 4 respecto a la tabla 2, se tiene que los contaminantes tóxicos que presentan mayor presencia son los iones metales pesados y los colorantes y pesticidas con un 36% para cada uno, mientras que los contaminantes orgánicos con 9 estudios presenta un 28%.

Ello debido a que los tintes y pesticidas al igual de los iones metálicos se vierten a menudo desde las industrias a las aguas, y su detección, especialmente a bajas concentraciones, requiere una serie de pasos complejos, como la separación/filtración de mezclas, junto con la detección mediante enfoques multitécnicos. Por lo tanto, estas mediciones consumen mucho tiempo debido a los numerosos pasos intermedios de procesamiento que conlleva la preparación de las

muestras y el uso de compuestos de SG nanoporosos permite reducir radicalmente todos estos procedimientos.

Además de la detección, los compuestos de SG también actúan como sorbentes para las mismas moléculas de analitos. Por ejemplo, Liou T. y Lin M. (2020, p.1) informaron de la adsorción de pesticidas organofosforados (OPP) en compuestos de SG.

Pero también, en el caso de los iones metálicos pesados, los compuestos SG muestran una buena capacidad de sorción de metales como Pb (II), Cd (II), Cu (II), Cr (VI), Hg (II) y As, por interacciones electrostáticas, y estas interacciones dependen en gran medida de la carga superficial y del área superficial del compuesto; Yi G. et al., (2017, p.1), Li D. et al., (2021, p.1), Fang P. et al., (2020, p.1), Hassan A. et al., (2020, p.1).

Siendo ello corroborado también por Huang R. et al., (2018, p.1), en la tabla 2, donde mediante su estudio para capturar el Cr (VI), a pesar de la baja área superficial de 154 m²/g, los compuestos mostraron una rápida eliminación de iones en menos de 5 min con una alta capacidad de adsorción de 438 mg/g. Del mismo modo, se eliminaron Pd (II) y Cu (II) mediante técnicas de impresión, y los valores de sorción se infotabla 2, con los estudios de Fang P. et al., (2020, p.1), Huang R. et al., (2018, p.1), y Li D. et al., (2021, p.1).

Por último, para determinar los materiales de SG utilizados para la eliminación de contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua se elaboró la tabla 3.

Tabla N° 3: Materiales de SG utilizados para la eliminación de contaminantes tóxicos

Adsorbente	Contaminante	Referencia
Fe₃O₄@SiO₂@GO-PEA magnetita y 2 grafeno de sílice fenilfuncionalizado compuesto	Hidrocarburos aromáticos policíclicos hidrocarburos	Mahpishanian S. et al., (2017, p.1)
IL4-G@ sílice Compuestos de sílice de grafeno modificado con líquido iónico	clorofenol	Wang X. et al., (2017, p.1)
SNTG Compuesto de grafeno de nanotubos de sílice	Sulfametoxazol	Akpotu S. y Moodley B., (2018, p.2)
NG-0.5	Petróleo	Su Y. et al., (2018, p.1)

Aerogel compuesto de sílice y grafeno dopado con nitrógeno		
GO-MNP-Sílice Compuestos de sílice de nanopartículas de magnetita de óxido de grafeno	Compuesto orgánico	Mohammadi N. y Mohammad K., (2018, p.1)
MGCSA Celulosa de grafeno mesoporoso aerogel de sílice	Disolventes orgánicos	Mi Hao Y. et al., (2018, p.1)
SBA-rGO-PEG Compuestos de sílice de óxido de grafeno reducido funcionalizados con PEG	Compuesto orgánico	Akpotu S. et al., (2020, p.1)
NG/NH₂-MCM-41 Sílice mesoporosa funcionalizada con grafeno dopado con nitrógeno	Compuestos fenólicos	Zhang B. et al., (2019, p.2)
Si-G_5 Aerogel compuesto de óxido de grafeno reducido en sílice	Aceite	Thakkar S. et al., (2020, p.1)
MG-MS-Ph Grafeno magnético con sílice mesoporosa sed fenilfuncional	Pesticidas	Wang X. et al., (2017, p.1)
M S/G@-SH@Pd (II) Compuesto de sílice mesoporosa grafeno_Pd (II)	Pesticidas (OPP)	Aladaghlo Z. et al., (2020, p.1)
Fe₃O₄@SiO₂ CS-TETA-GO Nanocompuesto magnético de sílice y grafeno funcionalizado con quitosano y trietilentetramine	Azul de metileno	Wang X. et al., (2017, p.1)
NH₂-SiO₂@CoFe₂O₄-GO Nanocompuestos de ferrita de cobalto y sílice funcionalizados con amino	Negro ácido	Santhosh C. et al., (2017, p.1)
GO-SBA-16 Nanocompuesto de sílice y grafeno mesoporoso	Malaquita Verde Metilo Violeta	Chaudhuri H. et al., (2017, p.2)
G-PMS Nanocompuestos de sílice mesoporosa periódica de grafeno	Azul Ácido	Tabani H. et al., (2019, p.1)
GO-MS Óxido de grafeno _nanocompuestos mesoporosos SBA 15	Azul de metileno	Liou T. y Lin M. (2020, p.1)
COK-12-GO-2	Azul de metileno	Henning L. et al., (2019, p.1)

Nanocompuesto de óxido de grafeno de sílice mesoporoso de poro grande		
SiO₂NH₂-GO	Metileno	Czepa et al., W. (2020, p.1)
Nanocompuesto de sílice y grafeno funcionalizado con amino	Azul rodamina Azul Metilo Violeta	
GO-NMSZ	Azul de metileno	Yue Y. et al., (2019, p.1)
Compuesto nano-mesoporoso de sílice y grafeno dopado con zinc	isatina rojo congo	
GO/SiO₂/SWCNTs	Congo rojo	Almoisheer N. et al., (2019, p.1)
Compuesto de nanotubos de carbono de pared simple de grafeno de sílice		
mGO@SiO₂@PPy-PTh	Ag (I)	Jalilian N. et al., (2017, p.1)
óxido de grafeno recubierto de sílice modificado con compuestos de polipirrolpolitofeno	Au (III) Pd (II)	
SiO₂/RGO-2	Cr (VI)	Yi G. et al., (2017, p.1)
Nanocompuestos reducidos en sílice		
GO-SO_xR@SiO₂	Pb (II)	Pirveysian M. y Ghiaci M. (2018, p.1)
Nanocompuestos de óxido de sílice y grafeno funcionalizados con azufre	Cd (II) Ni (II) Zn (II)	
Cr (VI) IIP cromo (VI) nanocompuesto de óxido de grafeno de sílice impreso con iones	Cr (VI)	Huang R. et al., (2018, p.1)
Cr (VI) IIP cromo (VI) nanocompuesto de óxido de grafeno de sílice impreso con iones	Hg (II)	Manna B. y Raj C. (2018, p.1)
GS-PPy nanocompuestos de grafeno/SiO₂@polipirrol	Cr (VI)	Fang W. et al., (2018, p.1)
SG @ GO-IIP	Pd (II)	Li D. et al., (2021, p.1)
Gel de sílice basado en nanocompuestos impresos con iones/óxido de grafeno		
GO@SiO₂@C@Ni-400	Cr (VI)	Wang J. et al., (2019, p.1)
Compuestos mesoporosos de sílice, óxido de grafeno y níquel calcinados a 400° C		
SiO₂@GO-SH	Pd (II)	Li M. et al., (2019, p.1)

Óxido de grafeno recubierto de gel de sílice modificado con grupos Mercapto		
Cu (II)-IIP	Cu (II)	Fang P. et al., (2020, p.1)
Compuestos de óxido de grafeno/sílice mesoporosos impresos con iones de cobre		
GO@MSp@SiO2@-NH2	Pb (II)	Hassan A. et al., (2020, p.1)
Compuestos de óxido de grafeno recubiertos de sílice basados en esporopolenina magnética funcionalizada con aminopropiltrim toxisilano		

Cuando se requiere la adsorción o detección de compuestos orgánicos, las matrices de sílice pueden cargarse con materiales basados en el carbono, como el grafeno por lo cual para determinar los materiales de SG utilizados para la eliminación de contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua se realizó la comparación de la tabla 3, donde los materiales de SG utilizados son los compuestos en forma de aerogel, además debido a que, en comparación con los otros materiales, estos muestran los resultados más prometedores.

Pero también, los materiales nanoporosos, como los nanomateriales de ingeniería de carbono, las zeolitas, los MOF, la sílice mesoporosa y los nanomateriales son compuestos que más se han estudiado por sus rendimientos para la detección y eliminación de contaminantes.

Ello debido a que estas nanoestructuras 2D presentan una elevada superficie teórica, una conductividad superior y una resistencia mecánica que añaden características adicionales a la matriz de sílice (Lamy-Mendes et al., 2018, p.3).

Así lo demuestran Akpotu S. et al., (2020, p.1), usando la SBA-rGO-PEG - Compuestos de sílice de óxido de grafeno reducido funcionalizados con PEG, Zhang B. et al., (2019, p.2) con el NG/NH₂-MCM-41 - Sílice mesoporosa funcionalizada con grafeno dopado con nitrógeno, Wang X. et al., (2017, p.1) MG-MS-Ph - Grafeno magnético con sílice mesoporosa sed fenilfuncional, Chaudhuri H. et al., (2017, p.2) con GO-SBA-16 - Nanocompuesto de sílice y grafeno mesoporoso, Tabani H. et al., (2019, p.1) con G-PMS - Nanocompuestos de sílice mesoporosa periódica de grafeno.

Así mismo Du et al., (2018), señala en su estudio que las capacidades de adsorción de los aerogeles son mayores que las de cualquier otra forma de compuesto, lo que puede atribuirse a su baja densidad y a sus elevados valores de porosidad y área superficial. Así lo corrobora también Loche et al., (2016, p.1) y Mi et al; Thakkar et al., (2020, p.4).

Así en el estudio de Li M. et al., (2019, p.1), preparó SiO₂@GO-SH; es decir óxido de grafeno recubierto de gel de sílice modificado con grupos Mercapto, para eliminar el ion metálico Pd (II) del agua, donde la máxima capacidad de adsorción alcanzada fue de 432,2 mg/g, casi 3 veces superior a la de los compuestos templados, es decir, SG @ GO-IIP. A pesar de tener un área superficial y diámetros de poro similares, los compuestos SG funcionalizados (SiO₂@GO-SH) superaron al compuesto templado (SG@GO-IIP) debido a las mayores interacciones químicas de los grupos tiol con el analito.

V. CONCLUSIONES

Los aspectos más relevantes de la aplicación de compuestos porosos de sílice-grafeno (SG) para la eliminación de contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua son el tipo de materiales de SG utilizados para la eliminación de contaminantes tóxicos; donde la elección del tipo de adsorbato permite un mayor rendimiento de los compuestos SG; así mismo se detalla a continuación las conclusiones a las que se llegó mediante el análisis y solución del problema de estudio:

El rendimiento de los compuestos SG en la eliminación de los contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua es alto, de acuerdo a los porcentajes de eliminación y eficiencia de remoción de los diversos contaminantes tóxicos, como se muestra con la comparación de los 31 estudios. Además, los parámetros que influyen en el rendimiento de los compuestos de SG, donde las interacciones entre el adsorbato y el adsorbente dependen de las características fisicoquímicas del sorbente, como el área superficial específica, la propiedad de los poros y los grupos funcionales de la superficie, además, también depende de las propiedades del adsorbato, como la estructura molecular, la polaridad y los parámetros físicos.

Los contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua más tratados por los compuestos SG son los iones metales pesados y los colorantes y pesticidas con un 36% para cada uno, mientras que los contaminantes orgánicos con 9 estudios presenta un 28%. Ello debido a que los tintes y pesticidas al igual de los iones metálicos se vierten a menudo desde las industrias a las aguas, y su detección, especialmente a bajas concentraciones, requiere una serie de pasos complejos, como la separación/filtración de mezclas, junto con la detección mediante enfoques multitécnicos.

Los materiales de SG utilizados para la eliminación de contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua son los compuestos en forma de aerogel, además debido a que, en comparación con los otros materiales, estos muestran los resultados más prometedores. Pero también, los materiales nanoporosos, como los nanomateriales de ingeniería de carbono, las zeolitas, los MOF, la sílice mesoporosa y los nanomateriales son compuestos que más se han estudiado por sus rendimientos para la detección y eliminación de contaminantes.

VI. RECOMENDACIONES

Mediante la exhaustiva revisión realizada se pudo llegar a observar la escasa aplicación de compuestos porosos de sílice-grafeno (SG) a nivel de Latinoamérica, por lo cual se recomienda aplicar el estudio aplicándolo al tratamiento no solo de los cuerpos de agua, también del recurso suelo. Así también, mediante los resultados obtenidos se puede realizar las siguientes sugerencias:

Se sugiere a los futuros investigadores que busquen tocar el tema en otros trabajos evaluar el rendimiento en función de la calidad del grafeno además de realizar un estudio completo de las características físicas y químicas de los materiales de los compuestos mediante técnicas de caracterización avanzadas.

Sólo unos pocos trabajos informan sobre la síntesis de sílice porosa en matrices de grafeno para la remediación del agua, recomendándose estudiarlos en los próximos trabajos, ya que, la mayoría se enfocaron en la dispersión de nanoplacas de grafeno como relleno en la matriz de sílice.

Hasta ahora, la mayoría de los estudios realizados se refieren a la aplicación de nanocompuestos de SG en aguas contaminadas de un solo componente; por lo cual se recomienda probarse estos materiales compuestos en aguas contaminantes de varios componentes, para así comprender su rendimiento en la recuperación del medio ambiente.

REFERENCIAS

1. AJIBADE, Fidelis O., et al. Environmental pollution and their socioeconomic impacts. En *Microbe mediated remediation of environmental contaminants*. Woodhead Publishing, 2021. p. 321-354. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821199-1.00025-0>
2. AKPOTU, Samson O.; MOODLEY, Brenda. Encapsulation of silica nanotubes from elephant grass with graphene oxide/reduced graphene oxide and its application in remediation of sulfamethoxazole from aqueous media. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2018, vol. 6, no 4, p. 4539-4548. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b02861>
3. AKPOTU, Samson O., et al. Covalently linked graphene oxide/reduced graphene oxide-methoxyether polyethylene glycol functionalised silica for scavenging of estrogen: Adsorption performance and mechanism. *Chemosphere*, 2020, vol. 246, p. 125729. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125729>
4. ALADAGHLO, Zolfaghar, et al. A mesoporous nanosorbent composed of silica, graphene, and palladium (II) for ultrasound-assisted dispersive solid-phase extraction of organophosphorus pesticides prior to their quantitation by ion mobility spectrometry. *Microchimica Acta*, 2020, vol. 187, no 4, p. 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00604-020-4174-2>
5. ALMOISHEER, Noha, et al. Synthesis of graphene oxide/silica/carbon nanotubes composite for removal of dyes from wastewater. *Earth Systems and Environment*, 2019, vol. 3, no 3, p. 651-659. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s41748-019-00109-w>
6. ALVAND, Mahrouz; SHEMIRANI, Farzaneh. A Fe₃O₄@ SiO₂@ graphene quantum dot core-shell structured nanomaterial as a fluorescent probe and for magnetic removal of mercury (II) ion. *Microchimica Acta*, 2017, vol. 184, no 6, p. 1621-1629. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00604-017-2134-2>

7. BALASURIYA, Abhaya. Coastal area management: biodiversity and ecological sustainability in Sri Lankan perspective. En Biodiversity and Climate Change Adaptation in Tropical Islands. Academic Press, 2018. p. 701-724. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813064-3.00025-9>
8. BILAL, Muhammad, et al. Immobilized ligninolytic enzymes: an innovative and environmental responsive technology to tackle dye-based industrial pollutants—a review. Science of the Total Environment, 2017, vol. 576, p. 646-659. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.137>
9. BILAL, Muhammad, et al. Peroxidases-assisted removal of environmentally-related hazardous pollutants with reference to the reaction mechanisms of industrial dyes. Science of the total environment, 2018, vol. 644, p. 1-13. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.274>
10. BONTINCK, Paul-Antoine, et al. Recalculating Australian water scarcity characterisation factors using the AWARE method. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2021, vol. 26, no 8, p. 1687-1701. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01952-8>
11. BOULAY, Anne-Marie, et al. The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). The International Journal of Life Cycle Assessment, 2018, vol. 23, no 2, p. 368-378. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8>
12. BRIENS, Cedric, et al. New measurement method for fast vapor adsorption on particles. Measurement, 2022, vol. 194, p. 111025. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111025>
13. CARBONI, Davide, et al. Graphene-mediated surface enhanced Raman scattering in silica mesoporous nanocomposite films. Physical Chemistry Chemical Physics, 2015, vol. 16, no 47, p. 25809-25818. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C4CP03582H>
14. CHAUDHURI, Haribandhu, et al. Room-temperature in-situ design and use of graphene oxide-SBA-16 composite for water remediation and reusable

heterogeneous catalysis. *ChemistrySelect*, 2017, vol. 2, no 5, p. 1835-1842.
Disponibile en: <https://doi.org/10.1002/slct.201601817>

15. CRINI, Grégorio; LICHTFOUSE, Eric. Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 2019, vol. 17, no 1, p. 145-155. Disponibile en: <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0785-9>
16. CZEPA, Włodzimierz, et al. Graphene oxide-mesoporous SiO₂ hybrid composite for fast and efficient removal of organic cationic contaminants. *Carbon*, 2020, vol. 158, p. 193-201. Disponibile en: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.11.091>
17. DU, Yongxu, et al. Enhanced electrochemical capacitance and oil-adsorbability of N-doped graphene aerogel by using amino-functionalized silica as template and doping agent. *Journal of Power Sources*, 2018, vol. 379, p. 240-248. Disponibile en: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.01.047>
18. FANG, Wei, et al. Synthesis of graphene/SiO₂@ polypyrrole nanocomposites and their application for Cr (VI) removal in aqueous solution. *Chemosphere*, 2018, vol. 197, p. 594-602. Disponibile en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.163>
19. FANG, Pai, et al. Ion-imprinted mesoporous silica/magnetic graphene oxide composites functionalized with Schiff-base for selective Cu (II) capture and simultaneously being transformed as a robust heterogeneous catalyst. *Chemical Engineering Journal*, 2020, vol. 385, p. 123847. Disponibile en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123847>
20. GOMES, Inês B.; SIMÕES, Lúcia C.; SIMÕES, Manuel. The effects of emerging environmental contaminants on *Stenotrophomonas maltophilia* isolated from drinking water in planktonic and sessile states. *Science of the total environment*, 2018, vol. 643, p. 1348-1356. Disponibile en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.263>
21. GUADIE, Awoke, et al. Evaluating the health risks of heavy metals from vegetables grown on soil irrigated with untreated and treated wastewater in

Arba Minch, Ethiopia. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 761, p. 143302. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143302>

22. HASSAN, Abdulaziz Mohd, et al. New effective 3-aminopropyltrimethoxysilane functionalized magnetic sporopollenin-based silica coated graphene oxide adsorbent for removal of Pb (II) from aqueous environment. *Journal of environmental management*, 2020, vol. 253, p. 109658. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109658>
23. HENNING, Laura M., et al. Grafting and stabilization of ordered mesoporous silica COK-12 with graphene oxide for enhanced removal of methylene blue. *RSC advances*, 2019, vol. 9, no 62, p. 36271-36284. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/c9ra05541j>
24. HUANG, Renfeng, et al. A novel ion-imprinted polymer based on graphene oxide-mesoporous silica nanosheet for fast and efficient removal of chromium (VI) from aqueous solution. *Journal of colloid and interface science*, 2018, vol. 514, p. 544-553. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.12.065>
25. JALILIAN, Niloofar, et al. Extraction and determination of trace amounts of gold (III), palladium (II), platinum (II) and silver (I) with the aid of a magnetic nanosorbent made from Fe₃O₄-decorated and silica-coated graphene oxide modified with a polypyrrole-polythiophene copolymer. *Microchimica acta*, 2017, vol. 184, no 7, p. 2191-2200. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00604-017-2170-y>
26. JIANG, Yu, et al. Graphene oxide-silver nanoparticles in molecularly-imprinted hybrid films enabling SERS selective sensing. *Materials*, 2018, vol. 11, no 9, p. 1674. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ma11091674>
27. LI, Dongfan, et al. Spatiotemporal evolution of groundwater nitrate nitrogen levels and potential human health risks in the Songnen Plain, Northeast China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, vol. 208, p. 111524. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111524>
28. LI, Min, et al. Highly efficient separation/recycling palladium (II) ions from aqueous solutions by silica gel-coated graphene oxide modified with mercapto

- groups. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 2019, vol. 50, no 6, p. 2747-2757. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11663-019-01697-8>
29. KUMAR, Manish; BORAH, Preetismita; DEVI, Pooja. Priority and emerging pollutants in water. En *Inorganic Pollutants in Water*. Elsevier, 2020. p. 33-49. *Science and Pollution Research*, 2019, vol. 26, no 21, p. 21065-21084. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818965-8.00003-2>
30. LI, Min, et al. A novel nanocomposite based silica gel/graphene oxide for the selective separation and recovery of palladium from a spent industrial catalyst. *Chemical Engineering Journal*, 2020, vol. 386, p. 123947. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123947>
31. LINDAMOOD, Danielle, et al. Assessing the capacity for adaptation and collaboration in the context of freshwater pollution management in Dhaka, Bangladesh. *Environmental Science & Policy*, 2021, vol. 120, p. 99-107. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.02.015>
32. LIOU, Tzong-Horng; LIN, Ming-Hui. Characterization of graphene oxide supported porous silica for effectively enhancing adsorption of dyes. *Separation Science and Technology*, 2020, vol. 55, no 3, p. 431-443. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01496395.2019.1577274>
33. LIU, Xiaodong, et al. Non-toxic high temperature polymer drilling fluid significantly improving marine environmental acceptability and reducing cost for offshore drilling. En *International Petroleum Technology Conference*. OnePetro, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.2523/IPTC-19425-MS>
34. LOCHE, Danilo, et al. Incorporation of graphene into silica-based aerogels and application for water remediation. *RSC advances*, 2016, vol. 6, no 71, p. 66516-66523. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C6RA09618B>
35. LOFTY, J., et al. Microplastics removal from a primary settler tank in a wastewater treatment plant and estimations of contamination onto European agricultural land via sewage sludge recycling. *Environmental Pollution*, 2022, vol. 304, p. 119198. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119198>

36. MA, Lanting, et al. Exposure risk assessment to organic compounds based on their concentrations in return water from shale gas developments. *Science of The Total Environment*, 2022, vol. 822, p. 153586. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153586>
37. MA, Mengyu, et al. Rational design, synthesis, and application of silica/graphene-based nanocomposite: A review. *Materials & Design*, 2021, vol. 198, p. 109367. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109367>
38. MAHPISHANIAN, Shokouh; SERESHTI, Hassan; AHMADVAND, Mohammad. A nanocomposite consisting of silica-coated magnetite and phenyl-functionalized graphene oxide for extraction of polycyclic aromatic hydrocarbon from aqueous matrices. *Journal of Environmental Sciences*, 2017, vol. 55, p. 164-173. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.02.023>
39. MANNA, Bhaskar; RAJ, C. Retna. Nanostructured sulfur-doped porous reduced graphene oxide for the ultrasensitive electrochemical detection and efficient removal of Hg (II). *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2018, vol. 6, no 5, p. 6175-6182. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b04884>
40. MAO, Hui, et al. A critical review of the possible effects of physical and chemical properties of subcritical water on the performance of water-based drilling fluids designed for ultra-high temperature and ultra-high pressure drilling applications. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2020, vol. 187, p. 106795. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106795>
41. MAO, Hui, et al. Development and application of ultra-high temperature drilling fluids in offshore oilfield around Bohai Sea bay basin, China. *En Offshore Technology Conference Asia. OnePetro*, 2016. Disponible en: <https://doi.org/10.4043/26384-MS>
42. MENG, Meng, et al. Dynamic stress distribution around the wellbore influenced by surge/swab pressure. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2019, vol. 172, p. 1077-1091. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.09.016>

43. MI, Hao-Yang, et al. Superhydrophobic graphene/cellulose/silica aerogel with hierarchical structure as superabsorbers for high efficiency selective oil absorption and recovery. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2018, vol. 57, no 5, p. 1745-1755. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.7b04388>
44. MOHAMMADI NODEH, Mohammad Kazem, et al. Enhanced removal of naproxen from wastewater using silica magnetic nanoparticles decorated onto graphene oxide; parametric and equilibrium study. *Separation Science and Technology*, 2018, vol. 53, no 15, p. 2476-2485. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1457054>
45. PEI, De-Sheng, et al. Generation and Application of a Novel High-Throughput Detection Based on Rpa-Crispr Technique to Sensitively Monitor Pathogenic Microorganisms in the Environment. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156048>
46. PIRVEYSIAN, Mahtab; GHIACI, Mehran. Synthesis and characterization of sulfur functionalized graphene oxide nanosheets as efficient sorbent for removal of Pb²⁺, Cd²⁺, Ni²⁺ and Zn²⁺ ions from aqueous solution: a combined thermodynamic and kinetic studies. *Applied Surface Science*, 2018, vol. 428, p. 98-109. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.09.105>
47. QURESHI, Asad Sarwar, et al. Evaluating heavy metal accumulation and potential health risks in vegetables irrigated with treated wastewater. *Chemosphere*, 2016, vol. 163, p. 54-61. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.07.073>
48. RADICA, Francesco, et al. Phenyl-modified hybrid organic-inorganic microporous films as high efficient platforms for styrene sensing. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2020, vol. 294, p. 109877. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2019.109877>
49. RASHEED, Tahir, et al. Environmentally-related contaminants of high concern: potential sources and analytical modalities for detection, quantification, and

treatment. *Environment international*, 2019, vol. 122, p. 52-66. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.11.038>

50. ROYCHOWDHURY, Abhishek; DATTA, Rupali; SARKAR, Dibyendu. Heavy metal pollution and remediation. En *Green chemistry*. Elsevier, 2018. p. 359-373. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00015-7>
51. ROZYANTY, A. R., et al. Effect of water and mechanical retting process on mechanical and physical properties of kenaf bast fiber reinforced unsaturated polyester composites. *Composite Structures*, 2021, vol. 257, p. 113384. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.113384>
52. SALMAN, Muhammad, et al. Recent advances in the application of silica nanostructures for highly improved water treatment: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, vol. 26, no 21, p. 21065-21084. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05428-z>
53. SANTHOSH, Chella, et al. Magnetic SiO₂@ CoFe₂O₄ nanoparticles decorated on graphene oxide as efficient adsorbents for the removal of anionic pollutants from water. *Chemical Engineering Journal*, 2017, vol. 322, p. 472-487. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.03.144>
54. SCHWEITZER, Linda; NOBLET, James. Water contamination and pollution. En *Green chemistry*. Elsevier, 2018. p. 261-290. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00011-X>
55. SHI, Xunpeng; LIAO, Xun; LI, Yanfei. Quantification of fresh water consumption and scarcity footprints of hydrogen from water electrolysis: A methodology framework. *Renewable Energy*, 2020, vol. 154, p. 786-796. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.026>
56. SHORIE, Munish, et al. Graphitic carbon nitride QDs impregnated biocompatible agarose cartridge for removal of heavy metals from contaminated water samples. *Journal of hazardous materials*, 2019, vol. 367, p. 629-638. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.12.115>
57. SIMMONS, Aaron T.; PEROVIC, David J.; ROTH, Guy. Making waves—Are water scarcity footprints of irrigated agricultural commodities suitable to inform

- consumer decisions?. *Agricultural Water Management*, 2022, vol. 268, p. 107689. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107689>
58. SOLÍS-FERNÁNDEZ, Pablo; BISSETT, Mark; AGO, Hiroki. Synthesis, structure and applications of graphene-based 2D heterostructures. *Chemical Society Reviews*, 2017, vol. 46, no 15, p. 4572-4613. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C7CS00160F>
59. SRIVASTAVA, Nimmy; CHATTOPADHYAY, Jayeeta. Effective utilization of biofiltration techniques for removal of pathogenic microorganisms from wastewater treatment plants. En *An Innovative Role of Biofiltration in Wastewater Treatment Plants (WWTPs)*. Elsevier, 2022. p. 207-216. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823946-9.00004-8>
60. SYAHIDA, Sahid Nurul, et al. Effects of palm wax on the physical, mechanical and water barrier properties of fish gelatin films for food packaging application. *Food Packaging and Shelf Life*, 2020, vol. 23, p. 100437. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100437>
61. TABANI, Hadi, et al. Introduction of graphene-periodic mesoporous silica as a new sorbent for removal: experiment and simulation. *Research on Chemical Intermediates*, 2019, vol. 45, no 4, p. 1795-1813. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11164-018-3698-0>
62. THAKKAR, Swapneel Vijay, et al. Performance of oil sorbents based on reduced graphene oxide–silica composite aerogels. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2020, vol. 8, no 1, p. 103632. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103632>
63. TERRY, Norman; BANUELOS, Gary S. (ed.). *Phytoremediation of contaminated soil and water*. CRC Press, 2020. Disponible en: https://books.google.es/books?id=N2eYJIC4_5kC&lpg=PP18&ots=jBZMdTgmLh&dq=Chapter%2013%20-%20Phytoremediation%20of%20soil%20and%20water&lr&hl=es&pg=PP18#v=onepage&q=Chapter%2013%20-%20Phytoremediation%20of%20soil%20and%20water&f=false

64. VAN BEUSEKOM, Justus EE. Eutrophication. En Handbook on Marine Environment Protection. Springer, Cham, 2018. p. 429-445. ISBN: 978-3-319-60154-0
65. WANG, Junyi, et al. Construction of novel graphene-based materials GO@SiO₂@C@Ni for Cr (VI) removal from aqueous solution. Journal of colloid and interface science, 2019, vol. 557, p. 254-265. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.09.021>
66. WANG, Na; YU, Hui; SHAO, Shijun. Preparation of a graphene oxide/silica composite modified with nitro-substituted tris (indolyl) methane as a solid-phase extraction sorbent for the extraction of organic acids. Journal of Separation Science, 2016, vol. 39, no 9, p. 1700-1708. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jssc.201501362>
67. WANG, Xuemei, et al. Facile synthesis of phenyl-modified magnetic graphene/mesoporous silica with hierarchical bridge-pore structure for efficient adsorption of pesticides. Materials Chemistry and Physics, 2017, vol. 198, p. 393-400. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2016.12.017>
68. WANG, Yazhu, et al. Spatial temporal patterns and driving factors of industrial pollution and structures in the Yangtze River Economic Belt. Chemosphere, 2022, p. 134996. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134996>
69. WANG, Zhen, et al. Evaluation of adsorption-elution methods with positively and negatively charged membranes for virus concentration in municipal wastewater: New insight into effects of dissolved organic matter. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2022, p. 107875. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107875>
70. YAN, Shuwen, et al. Development of fluorescence surrogates to predict the photochemical transformation of pharmaceuticals in wastewater effluents. Environmental Science & Technology, 2017, vol. 51, no 5, p. 2738-2747. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b05251>

71. YI, Guiyun, et al. One-step synthesis of hierarchical micro-mesoporous SiO₂/reduced graphene oxide nanocomposites for adsorption of aqueous Cr (VI). *Journal of Nanomaterials*, 2017, vol. 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2017/6286549>
72. YOUSEFI, Nariman, et al. Environmental performance of graphene-based 3D macrostructures. *Nature nanotechnology*, 2019, vol. 14, no 2, p. 107-119. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41565-018-0325-6>
73. YU, Hongwei, et al. Polyethylene microplastics interfere with the nutrient cycle in water-plant-sediment systems. *Water Research*, 2022, vol. 214, p. 118191. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118191>
74. YU, Yunlong, et al. Effects of valley reshaping and damming on surface and groundwater nitrate on the Chinese Loess Plateau. *Journal of Hydrology*, 2020, vol. 584, p. 124702. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124702>
75. YUE, Yajun, et al. Preparation of an Anti-Aggregation Silica/Zinc/Graphene Oxide Nanocomposite with Enhanced Adsorption Capacity. *Chemistry–A European Journal*, 2019, vol. 25, no 71, p. 16340-16349. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/chem.201903875>
76. ZHANG, Bei, et al. NH₂-MCM-41 supported on nitrogen-doped graphene as bifunctional composites for removing phenol compounds: Synergistic effect between catalytic degradation and adsorption. *Carbon*, 2019, vol. 147, p. 312-322. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.02.084>
77. ZHANG, Xueyang, et al. Adsorption of VOCs onto engineered carbon materials: A review. *Journal of hazardous materials*, 2017, vol. 338, p. 102-123. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.05.013>

ANEXOS:

Anexo N°1. Tabla de matriz de categorización apriorística

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	CRITERIO 1
Identificar el rendimiento de los compuestos SG en la eliminación de los contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua	¿Cuál es el rendimiento de los compuestos SG en la eliminación de los contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua?	Rendimiento de los compuestos SG (Li Min et al., 2020, p.1).	Datos de adsorción Porcentaje de eliminación (Pei De Sheng et al., 2022, p.4).	De acuerdo al adsorbente usado
Clasificar los contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua más tratados por los compuestos SG	¿Cuáles son los contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua más tratados por los compuestos SG?	Contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua (Radica Francesco et al., 2020, p.2).	Contaminantes orgánicos Colorantes y pesticidas Metales pesados (Yu H. et al., 2022, p.2).	De acuerdo al tipo de adsorbato o contaminante
Determinar los materiales de SG utilizados para la eliminación de contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua	¿Cuáles son los materiales de SG utilizados para la eliminación de contaminantes tóxicos de los cuerpos de agua?	Materiales de SG (Srivastava N. y Chattopadhyay J., 2022, p.2).	Compuestos en forma de aerogel Nanopartículas catalíticas Magnéticas o plasmónicas (Shorie M. et al., 2019, p.2).	De acuerdo a la cantidad de fuentes que lo aplican

Anexo 2. Ficha de análisis de contenido

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS
---	--------------------------------------

TÍTULO:

PAGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACIÓN	LUGAR DE PUBLICACIÓN
TIPO DE INVESTIGACIÓN:		AUTOR (ES):
CÓDIGO		
METODOLOGÍA		
RENDIMIENTO DE LOS COMPUESTOS SG		
CONTAMINANTES TÓXICOS		
MATERIALES DE SG		
RESULTADOS		
CONCLUSIONES:		