



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Biocarbón con Presencia de Grafeno Como Método de Eliminación
Para los Contaminantes Orgánicos e Inorgánicos del Medio
Ambiente: Revisión Sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Alvarado Tucto, Roy Yosmel (ORCID: 0000-0002-4105-7076)
Caballero Auris, Jhanpier Anderson (ORCID: 0000-0003-0567-3995)

ASESOR:

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

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ
2022

DEDICATORIA

A Dios por darnos fuerzas para seguir adelante con nuestras metas y guiarnos por el buen camino.

A nuestros padres por su cariño, paciencia, alegría y por ser ejemplo de constancia, perseverancia y valores, a mis hermanos que inculcan en mi la fuerza voluntad para culminar mi carrera profesional, y a mi compañera de vida por su amor, por su incondicional apoyo a fin de cumplir mi meta trazada.

AGRADECIMIENTO

Agradecer principalmente a Dios, por permitirme gozar de buena salud para poder elaborar esta investigación. Agradecer a mis padres, a mi hermana y a mi novia por su apoyo durante mi etapa académica. Así mismo agradecer al Mgtr. Samuel Carlos Reyna Mandujano por el apoyo durante la elaboración de la investigación y consejos en cada etapa de nuestra investigación.

Alvarado Tucto, Roy Yosmel

En primer lugar, agradecer a Dios por permitirme gozar de buena salud para poder llegar hasta esta etapa de mi vida, Asimismo, agradecer a mi madre, a mis hermanos y a mi compañera de vida, que me acompañaron durante toda mi carrera profesional.

Un reconocimiento especial a mi asesor Mgtr. Samuel Carlos Reyna Mandujano con su dedicación, entrega, nobleza y trabajo de investigación.

Caballero Auris, Jhanpier Anderson

Índice del 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	viii
Resumen.....	ix
Abstract	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	15
3.1. Tipo y diseño de investigación	15
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización	15
3.3. Escenario de estudio.....	16
3.4. Participantes	16
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	16
3.6. Procedimiento	17
3.7. Rigor científico	18
3.8. Método de análisis de información	18
3.9. Aspectos éticos.....	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
V. CONCLUSIONES	34
VI. RECOMENDACIONES.....	35
REFERENCIAS	36
ANEXOS	

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Tipos de compuestos en varias clases de compuestos orgánicos</i>	5
<i>Tabla 2. : Antecedentes actualizados de la elaboración de biocarbón con presencia de grafeno</i>	11
<i>Tabla 3. Matriz de categorización apriorística</i>	15
<i>Tabla 4. Técnicas de preparación para el biocarbón</i>	20
<i>Tabla 5. Rendimiento de eliminación de los contaminantes orgánicos e inorgánicos</i>	26
<i>Tabla 6. Clasificación de mecanismos involucrados en las aplicaciones medioambientales del biocarbón con grafeno</i>	29
<i>Tabla 7. Clasificación de investigadores por mecanismo empleado</i>	30

Índice de figuras

<i>Figura 1. Principales componentes de los contaminantes inorgánicos presentes en las matrices ambientales y sus efectos nocivos para la salud</i> -----	6
<i>Figura 2. Estructura morfológica del grafeno</i> -----	8
<i>Figura 3. Diagrama esquemático de la adsorción de metales por el biocarbón</i> -----	10

Índice de gráficos

Gráfico 1. *Procedimiento de selección de artículos* _____ 17

Índice de abreviaturas

OMS : Organización Mundial de la Salud

GO : óxido de grafeno

RGO : grafeno

VG : grafeno vertical

CNS : nanohojas de carbono

TMs : metales tóxicos

SMT : sorción de sulfametazina

PFR : radicales libres persistentes

RESUMEN

El presente estudio buscó determinar la efectividad de la preparación de biocarbón que contiene grafeno y sus aplicaciones ambientales, para lo cual se usó una metodología aplicada, de diseño biográfico, generando la recolección de 86 estudios, las cuales pasaron por un proceso de selección:

Las técnicas de preparación presentan una condición de calcinación de pirolisis convencional al 100%, donde la pirólisis a altas temperaturas fue mayormente empleada en un 50%, presentando temperaturas de calcinación de 300 a 550 °C en tiempos de residencia de 1 a 2 horas y pirolisis a temperaturas medias en un 35% donde las temperaturas de calcinación variaron de 600 a 800°C, mientras que en menor cantidad se encuentran los estudios que aplican la pirolisis a temperaturas altas mayores a 900°C con un 15% de los investigadores. El rendimiento de eliminación de los contaminantes orgánicos e inorgánicos muestran que la capacidad de adsorción del biocarbón presenta una excelente capacidad de sorción hacia varios contaminantes como pesticidas orgánicos, mientras que los estudios sobre sorción de contaminantes inorgánicos son menores que los de contaminantes orgánicos y los mecanismos involucrados son los mecanismos de eliminación sortiva y mecanismo de degradación catalítica en un 50% para cada una.

Palabras clave: biochar, grafeno, contaminantes, orgánicos, inorgánicos.

ABSTRACT

The present study sought to determine the effectiveness of the preparation of biochar containing graphene and its environmental applications, for which an applied methodology of biographic design was used, generating the collection of 86 studies, which went through a selection process:

The preparation techniques present a 100% conventional pyrolysis calcination condition, where pyrolysis at high temperatures was mostly employed in 50%, presenting calcination temperatures from 300 to 550 °C in residence times from 1 to 2 hours and pyrolysis at medium temperatures in 35% where calcination temperatures varied from 600 to 800°C, while in smaller quantity are found the studies that apply pyrolysis at high temperatures higher than 900°C with 15% of the researchers. The removal performance of organic and inorganic pollutants shows that the adsorption capacity of biochar presents an excellent sorption capacity for several pollutants such as organic pesticides, while the studies on sorption of inorganic pollutants are lower than those on organic pollutants and the mechanisms involved are sorptive removal mechanisms and catalytic degradation mechanism in 50% for each one.

Keywords: biochar, graphene, contaminants, organic, inorganic.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación de los suministros de agua con diferentes contaminantes orgánicos de las actividades industriales y agrícolas ha sido motivo de gran preocupación en los últimos años (Wang Ning et al., 2017, p.2).

Con el rápido desarrollo de la industria química, diferentes tipos de contaminantes orgánicos, como fenoles, hidrocarburos aromáticos, tintes plaguicidas y productos farmacéuticos fueron producidos y liberados inevitablemente en el medio ambiente natural, lo que podría causar graves impactos nocivos para la salud acuática y humana, incluso en concentraciones más bajas (Sánchez Cantú et al., 2017, p.1).

Además, el uso exagerado de varios plaguicidas orgánicos por el rápido desarrollo de varias actividades agrícolas conlleva a que más de 2,8 millones se consuman anualmente en todo el mundo (Guégan Régis, 2019, p.1). Se ha estimado que sólo el 0,1% de los plaguicidas orgánicos aplicados llegan a las plagas objetivo y dejan su mayor parte (99,9%) se libera al suelo y a los suministros de agua y luego se acumula en los alimentos (Jia S. y Fan M., 2019, p.1).

Durante las últimas décadas, muchos investigadores se han centrado en el secuestro eficiente de contaminantes orgánicos de la solución acuosa (Ayoub Haytham A. et al., 2017, p.3).

Así también, los contaminantes inorgánicos como el plomo, el arsénico, el antimonio y el radio pueden existir en los suministros públicos de agua en cantidades mínimas en los puntos de entrada al sistema de distribución de agua (Zeng Guangyong et al., 2016, p.2). La acumulación y liberación de estos contaminantes en cantidades concentradas, que pueden no ser detectadas por las prácticas de monitoreo actuales, puede resultar en niveles elevados en nuestros grifos (Efraim Yael et al., 2017, p.5).

Investigaciones recientes han confirmado que los depósitos de corrosión y las incrustaciones en el interior de las tuberías del sistema de distribución y las instalaciones de almacenamiento pueden servir como depósitos donde se acumulan trazas de contaminantes (Sigh S. et al., 2020, p.2). Las cantidades concentradas de estos contaminantes pueden volver a liberarse en el suministro de agua debido a cambios en la química del agua o la mezcla de aguas en concentraciones que exceden sus límites máximos permisibles (Lei Zhiwu et al., 2018, p.1).

Se han adoptado diversas técnicas adoptado una variedad de técnicas como la coagulación, la oxidación química, la filtración por membrana, degradación fotocatalítica, y adsorción (Sdiri Ali et al., 2016, p.2). Entre estos métodos, la adsorción es un método eficaz y ampliamente aplicado para la eliminación y recuperación de diversos adsorbentes orgánicos e inorgánicos (Banu Hyder A. et al., 2020, p.1).

Mediante ello, la introducción de grafeno en biocarbón puede mejorar de forma eficaz y económica las capacidades del biocarbón para aplicaciones medioambientales (Dai Xiao Hu et al., 2019, p.9). El biocarbón que contiene grafeno, derivado de desechos sólidos biológicos como la basura de la caña de azúcar, la cáscara de coco, los paquetes de cartón corrugado viejos y las plumas de pollo, posee una gran mejora en las propiedades fisicoquímicas (p. Ej., Área de superficie, volumen de poros, grupos funcionales de la superficie, estabilidad térmica, capacidad de transferencia de electrones y actividad catalítica) en comparación con el biocarbón crudo (Del Carmen et al., 2020, p.4).

En consecuencia, el biocarbón que contiene grafeno demuestra un potencial de remediación ambiental muy mejorado (Jalali M. et al., 2016, p.5).

Sin embargo, la producción de biocarbón que contiene grafeno a partir de desechos sólidos biológicos y su caracterización y uso potencial para la remediación de contaminantes orgánicos e inorgánicos en el medio ambiente no se han revisado críticamente hasta la fecha (Omorogie M. et al., 2018, p.2); por tal motivo se plantea el siguiente problema general:

¿Cuál es la efectividad de la preparación de biocarbón que contiene grafeno y sus aplicaciones ambientales?, y como problemas específicos se tiene:

PE1: ¿Cuáles son las técnicas de preparación para el biocarbón con composición de grafeno?

PE2: ¿Cuál es el rendimiento de eliminación de los contaminantes orgánicos e inorgánicos del medio ambiente aplicando biocarbón con presencia de grafeno?

PE3: ¿Cuáles son los mecanismos involucrados en las aplicaciones medioambientales del biocarbón con grafeno?

Como objetivo general se elaboró: Determinar la efectividad de la preparación de biocarbón que contiene grafeno y sus aplicaciones ambientales; así mismo se plantearon los siguientes objetivos específicos:

OE1: Determinar cuáles son las técnicas de preparación para el biocarbón con composición de grafeno.

OE2: Determinar el rendimiento de eliminación de los contaminantes orgánicos e inorgánicos del medio ambiente aplicando biocarbón con presencia de grafeno.

OE3: Determinar los mecanismos involucrados en las aplicaciones medioambientales del biocarbón con grafeno.

Esta investigación presenta una justificación teórica, por el motivo que se va a recopilar estudios científicos actualizados que apliquen biocarbón con presencia de grafeno para los contaminantes orgánicos e inorgánicos del medio ambiente, contribuyendo teóricamente con los futuros investigadores para que lo usen y amplíen en otros estudios.

La justificación metodológica está fundamentada porque nos permite aplicar un instrumento que nos faciliten la recolección y selección de la información esencial, de esta forma se aplicará métodos para posteriores investigadores relacionados.

El presente estudio también tiene una justificación social, esta investigación tiene el propósito de ayudar a buscar mediante el análisis sistemático de diversas literaturas a nivel mundial nuevas formas de tratar el agua de los contaminantes orgánicos e inorgánicos.

II. MARCO TEÓRICO

Los problemas medioambientales se están convirtiendo en una gran preocupación con la intensificación de las actividades industriales y agrícolas junto con el rápido crecimiento de la población (Olaussen J., 2018, p.).

La descarga masiva mundial de contaminantes inorgánicos y orgánicos de muchos sectores industriales, especialmente las industrias de curtido de espuma, refinación de petróleo, metalúrgica, minera y de baterías, ha contaminado gravemente el medio ambiente acuático y ha creado un gran riesgo para la supervivencia humana (Ramalingam B. et al., 2018, p.2).

El vertido de diversos productos químicos orgánicos e inorgánicos contaminan imprudentemente las masas de agua (Sharma C. y Negi Y., 2020, p.115). Debido a su alta toxicidad y a su persistencia en el medio ambiente, la acumulación de metales pesados y de colorantes tiene un impacto ecotoxicológico grave y un impacto en el medio ambiente y también supone un serio problema para la salud (Borah P. et al., 2020, p.26).

Así mismo, miles de sustancias químicas tienen el potencial de entrar en el medio ambiente, por lo que se ha identificado al menos 700 sustancias orgánicas clasificadas en 20 clases en las aguas superficiales europeas (Mandal S. et al., 2016, p.75). Los contaminantes orgánicos incluyen herbicidas, pesticidas y tejidos de plantas y animales, y generalmente se espera que causen impactos adversos en el medio ambiente (Jiménez S. et al., 2021, p.2).

Los compuestos orgánicos y la mayoría de los productos de compuestos orgánicos son líquidos a temperatura ambiente y los problemas que pueden surgir de la solidificación durante el uso normal no son comunes (Speisht J., 2017, p.203). Además, están los contaminantes orgánicos persistentes que pueden acumularse en altitudes elevadas debido a las bajas temperaturas y las altas precipitaciones (Jin rong et al., 2020, p.2).

Es así que se clasifican los contaminantes orgánicos como se aprecia en la tabla 1:

Tabla N°1: Tipos de compuestos en varias clases de compuestos orgánicos

Clase	Tipos de compuestos
Saturado	n-Parafinas

hidrocarburos	iso-Parafinas y otras parafinas ramificadas
	Cicloparafinas (naftenos)
	Cicloparafinas condensadas (incluyendo esteranos, hopanos)
	Cadenas laterales alquílicas en sistemas de anillos
Insaturados hidrocarburos	Olefinas no autóctonas de los compuestos orgánicos; presentes en productos de reacciones térmicas
Aromáticos hidrocarburos	Sistemas de benceno
	Sistemas aromáticos condensados
	Sistemas condensados aromáticos-cicloalquilos
	Cadenas laterales alquílicas en sistemas de anillos
Saturado sistemas heteroatómicos	Sulfuros de alquilo
	Sulfuros de cicloalquilo
	Cadenas laterales de alquilo en sistemas de anillos
Aromáticos sistemas heteroatómicos	Furanos (sistemas de anillo único y multirrelación)
	Tiofenos (sistemas de anillo único y multirrelación)
	Pirroles (sistemas de anillo único y multirrelación)
	Piridinas (sistemas de anillo único y multirrelación)
	Sistemas heteroatómicos mixtos
	Sistemas anfóteros (ácido-base)
	Cadenas laterales alquílicas en sistemas de anillos

Fuente: Speisht H., 2017

Su inevitable entrada en el medio ambiente afecta a todos los compartimentos y, por extensión, a los ecosistemas relacionados; donde los plaguicidas, los productos farmacéuticos, los subproductos de la desinfección, la conservación de la madera y los productos químicos industriales son las clases más destacadas (Cerutti S. et al., 2019, p.1).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha indicado que la exposición a contaminantes orgánicos del aire podría tener efectos adversos agudos y a largo plazo para la salud, como irritación de ojos, nariz y garganta, irritación y deterioro del sistema nervioso central (p. Ej. de respuestas conductuales o sensoriales), tos y disnea, cáncer (por ejemplo, leucemia) e incluso riesgo de muerte (Cong X. et al., 2021, p.1).

Aparte de sus impactos en la salud humana, los compuestos orgánicos asociados con las partículas finas también pueden influir en la degradación de la visibilidad y la transferencia radiactiva a través de la atmósfera por dispersión y absorción (Hu Shui M., 2021, p.2).

También se encuentran los contaminantes inorgánicos como contaminantes del medio ambiente, donde se encuentran presentes en concentraciones significativas (1

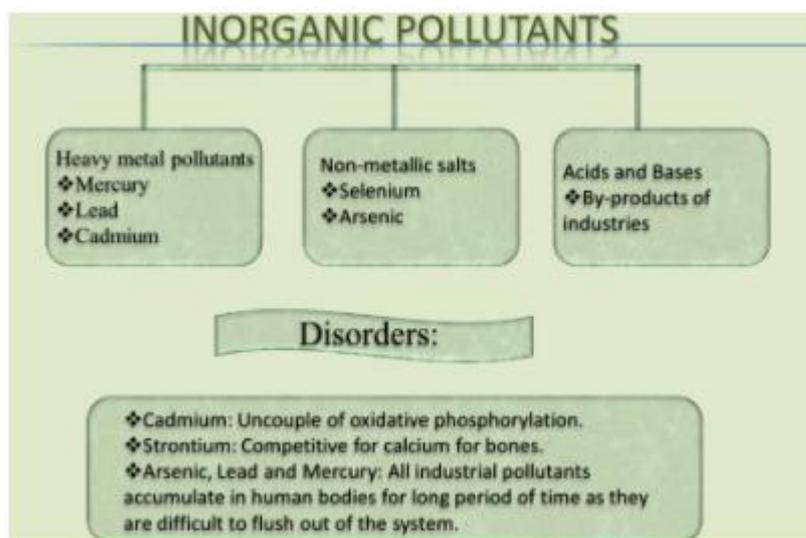
a 1000 mg / L) en el agua, donde incluyen sodio, calcio, potasio, magnesio, sulfato, cloruro y nitrato (Kodera T. et al., 2017, p.2). El nitrógeno es uno de los elementos más esenciales para todos los seres vivos; sin embargo, puede ser tóxico para los organismos vivos si está presente en forma o estado indeseable (Chauhan R. y Srivastava V., 2020, p. 298).

Los contaminantes inorgánicos se componen principalmente de metales pesados, que son tóxicos o venenosos incluso en concentraciones bajas (Dey Sudipto et al., 2017, p.518). Los ejemplos de metales pesados incluyen arsénico, mercurio, plomo y cromo y pueden ingresar al sistema corporal a través del agua, los alimentos y el aire y causar problemas de salud (Chauhan Kalpana et al., 2017, p.1).

Los metales pesados tóxicos en comparación con los metales alcalinos interactúan fuertemente siendo un constituyente del suelo en función del elemento y de sus características fisicoquímicas (Pathakoti K. et al., 2018, p.2).

Los principales contaminantes inorgánicos incluyen metales alcalinos e iones de metales pesados como se muestra en la figura 1.

Figura N°1: Principales componentes de los contaminantes inorgánicos presentes en las matrices ambientales y sus efectos nocivos para la salud



Fuente: Sidana N. et al., 2020

Los principales contaminantes inorgánicos que afectan el agua y el suelo se liberan al medio ambiente debido a la rápida industrialización y al auge demográfico. Estos contaminantes inorgánicos tienen un mayor riesgo ambiental y problemas de salud, que varían en la interacción tanto a nivel extracelular como intracelular.

Estos contaminantes pueden causar problemas de salud críticos en los seres humanos, como hipertensión, enfisema, efectos neurológicos, daño renal e incluso cánceres (Dehghani M., 2019, p.4). Además, debido a sus diversas propiedades físicas y químicas, la ocurrencia de una toxicidad más alta no es infrecuente si diferentes contaminantes están presentes juntos, en comparación con la toxicidad causada por un contaminante individual (Agarwal S. et al., 2016, p.1).

Los metales junto con su importancia biológica también tienen efectos nocivos asociados a su grado de consumo (Peng Boo et al., 2019, p.1). Las sales de metales alcalinos y alcalinotérreos degradan el entorno físico y químico del suelo, lo que dificulta la absorción de agua y nutrientes (Parvin Fahmida et al., 2019, p.1).

Así mismo, a pesar de la menor movilidad de estos elementos en los suelos, podrían alterar el fenómeno bioquímico en el organismo cuando se consumen en una concentración más baja y afectan tanto las actividades fisiológicas como las biológicas (Sharma Hemant et al., 2016, p.2).

Por ello, se ha prestado una atención considerable al desarrollo de tecnologías sólidas para mitigar la contaminación del agua; donde han surgido diversas tecnologías, como los procesos fisicoquímicos, biológicos, electroquímicos y biofísicos de varios pasos (Manna I. et al., 2019, p.2). Entre ellas, el proceso de adsorción ha recibido una atención creciente debido a su bajo consumo de energía, su sencillez operativa, su rentabilidad y su menor producción de lodos (Sheng G. et al., 2018, p.1).

Además, la adsorción se usa con frecuencia para eliminar tintes orgánicos, metales pesados u otros microcontaminantes orgánicos del agua contaminada debido a su menor costo, respeto al medio ambiente y facilidad de operación (Li Chunya et al., 2019, p.3).

Sin embargo, la mayoría de los materiales de adsorción se dirigen generalmente a un solo contaminante, y la capacidad de adsorción para aguas residuales complejas u otros tipos de contaminantes es pobre (Hasan M. et al., 2021, p.1).

Por lo tanto, la dirección de desarrollo de la futura tecnología de tratamiento por adsorción es buscar nuevos materiales de adsorción que no sólo sean económicos y

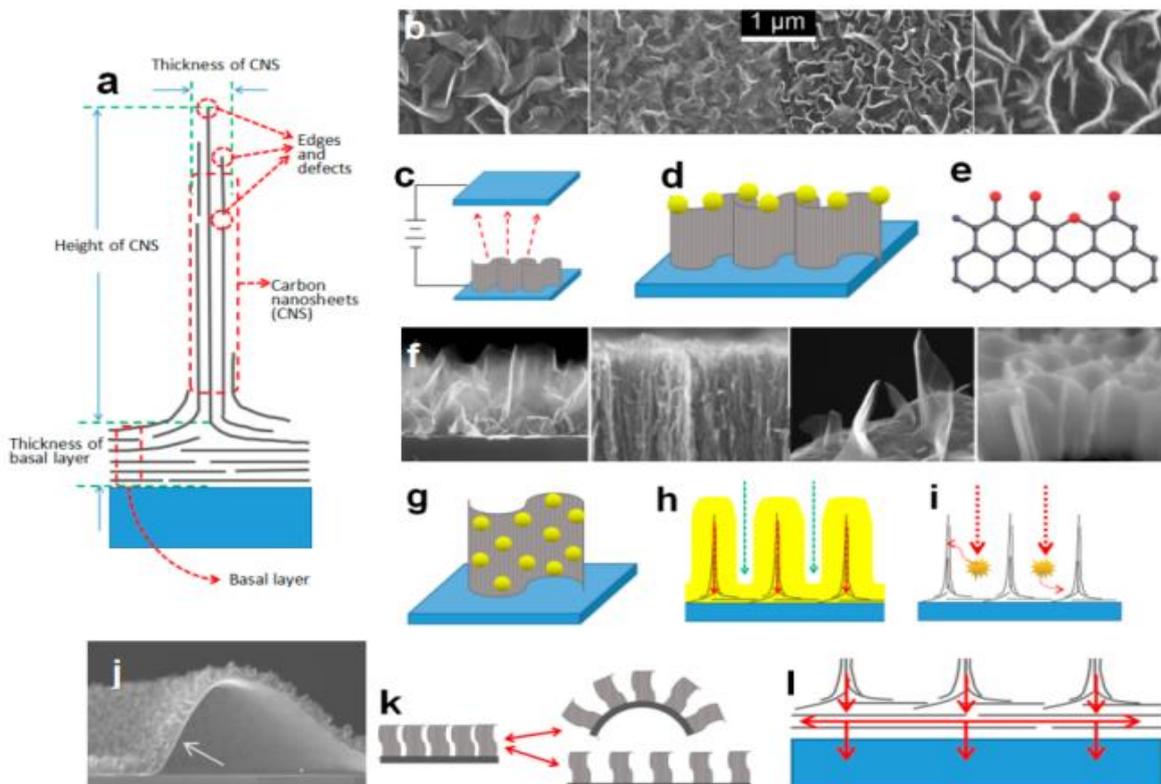
eficientes, sino que puedan también ser absorbidos eficazmente y reciclados (Karimi K. y Fatemi S., 2021, p.3).

El grafeno (RGO), el óxido de grafeno (GO) y otros nanomateriales bidimensionales en capas tienen las características de una gran área superficial específica, gran estabilidad, buena resistencia y fácil modificación (Tomei M. et al., 2017, p.1).

En tal sentido, centrándonos únicamente en el grafeno, se puede decir que la investigación sobre el grafeno ha sido muy amplia durante las últimas dos décadas, especialmente después de que el Premio Nobel de Física en 2010 se concediera "por los experimentos pioneros relacionados con el material bidimensional grafeno" (Narayanan D. et al., 2019, p.1). Aunque la investigación sobre las propiedades físicas y químicas básicas del grafeno es plétórica los científicos están empeñados en encontrar sus aplicaciones insustituibles para desarrollar su valor comercial (Kumar Rajesh et al., 2019, p.2).

Tales aplicaciones deben tener ventajas sobre sus competidores en ciertos aspectos. Así, en la figura 2 se representa la estructura del grafeno, con un nombre y una medida estándar para cada parte.

Figura N°2: Estructura morfológica del grafeno



Fuente: Zheng Wei et al., 2021

De acuerdo con la figura 2, se muestra (a) Ilustración de la estructura del grafeno vertical (VG). (b) Imágenes de SEM que muestran varias morfologías de los bordes del VG (c) Bordes de VG en aplicación de emisión de campo, (d) adsorción de materiales funcionales y (e) formación de enlaces con átomos dopantes. (f) Imágenes de SEM que muestran varias morfologías de nanohojas de carbono (CNS). (g) Ilustración de VG CNS como portador de nanopartículas, (h) organizador espacial, conductor de carga eléctrica y (i) fototrampa. (j) Imagen SEM que muestra la capa basal de VG. (k) Ilustración de la capa basal que desempeña funciones importantes en los electrodos elásticos/flexibles y (l) en la distribución de la corriente térmica y eléctrica en el plano.

La morfología del VG se compone principalmente de tres componentes, que son los bordes de grafeno de pocas capas, las nanoplanchas de carbono (CNS) verticalmente libres y las capas basales de grafeno (capas basales) (Zhang H. et al., 2017, p.2). Como resultado de la constitución del grafeno de pocas capas, el VG tiene muchas de las características fundamentales de los materiales de grafeno, por ejemplo, alta conductividad eléctrica, conductividad térmica, estabilidad química, gran superficie específica, bordes y defectos químicamente activos y la mayor proporción de átomos de borde de cualquier alótropo del carbono (Sivadasan A. et al., 2017, p.2).

El VG contiene un gran número de bordes afilados, expuestos y verticalmente puntiagudos, lo que es favorable para las aplicaciones de emisión de campo; además, como los átomos de los bordes del grafeno tienen una reactividad química especial, los bordes proporcionan sitios para adsorber materiales funcionales y dopantes (Cui Dongdong et al., 2019, p.2).

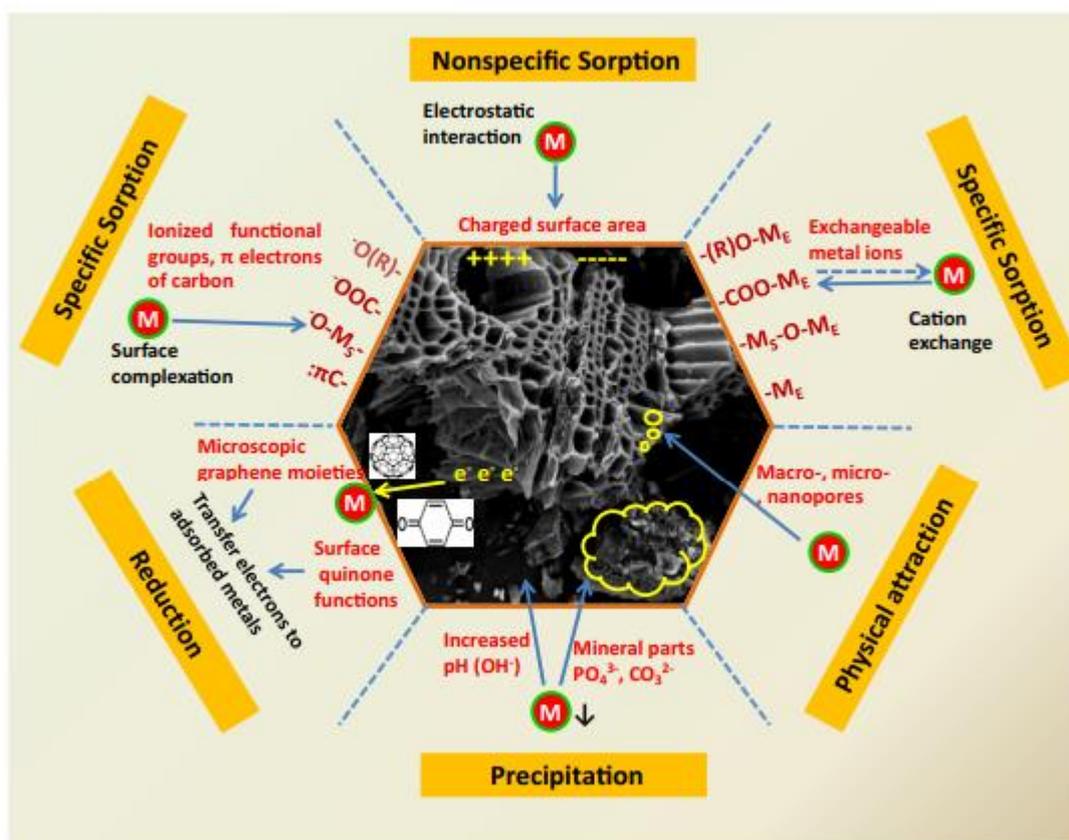
En tal sentido, el grafeno presenta una capa única bidimensional de átomos de carbono unida covalentemente en estructuras cristalinas hexagonales y posee propiedades excepcionales como una gran superficie ($2630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), buena resistencia y estabilidad, y alta conductividad eléctrica (Yousefi N. et al., 2019, p.1).

Mediante lo expuesto se ha despertado un interés por la introducción de grafeno en la elaboración de biocarbón; esto debido a que el biocarbón ha recibido una atención significativa (Shaheen S. et al., 2019, p.1). Más recientemente, los biocarbones han ido ganando reconocimiento como una potencial enmienda de inmovilización in situ, donde la adición de biocarbones aumenta la retención de agua y nutrientes en los

suelos (Shaheen S. et al., 2019, p.2). Además, el secuestro de carbono, facilita el crecimiento y el hábitat de la biota del suelo, aumenta la abundancia, cambia la composición de la comunidad microbiana, promueve el reciclaje de residuos y reduce la biodisponibilidad de los contaminantes del suelo (Bandara T. et al., 2020, p.3).

Así mismo, el uso del biocarbón como enmienda del suelo es cada vez más popular debido a sus propiedades de adsorción, como una estructura altamente porosa, una gran superficie, una alta alcalinidad superficial y la presencia de varios grupos funcionales superficiales (Nie Chengrong et al., 2018, p.2). Ante ello se muestra en la figura 3 el diagrama del proceso de adsorción que realiza el biocarbón frente a un contaminante inorgánico.

Figura N°3: Diagrama esquemático de la adsorción de metales por el biocarbón



Fuente: Mandal S. et al., 2016

En el caso de la aplicación medioambiental, el biocarbón se ha utilizado durante mucho tiempo como biosorbente para la eliminación y estabilización de metales tóxicos (TMs) (Li Jianhong et al., 2019, p.2). Aguas residuales, fosfato y otros contaminantes emergentes como los antibióticos del agua y los suelos (Mao Qiming et al., 2019, p.2).

En la actualidad, se ha demostrado que los biocarbones son excelentes catalizadores capaces de degradar contaminantes mediante reacciones redox así como una estructura similar al grafeno (Dai Xiao Hu et al., 2019, p.1).

La grafitización del biocarbón desempeñó un papel vital en los fotocatalizadores soportados por biocarbón y en el catalizador basado en biocarbón para la activación de sulfatos (Shiyang Yang et al., 2017, p.1). Por ejemplo, el nanocompuesto fotocatalizador basado en biocarbón con un alto grado de grafitización mostró una alta eficiencia hacia la descontaminación del clorhidrato de tetraciclina bajo irradiación de luz visible (Ye Shujing et al., 2019, p.1).

Además, el biocarbón por sí solo no es capaz de tratar eficazmente los problemas de contaminantes cada vez más complejos, como la eliminación simultánea de contaminantes mixtos y contaminantes con concentraciones de trazas (Zhang Ying et al., 2018, p.2). Por lo tanto, la modificación del biocarbón o la combinación con otro sustrato se considera una estrategia prometedora para gestionar de forma eficiente y económica los problemas ambientales emergentes (Fang zheng et al., 2019, p.1).

El grafeno se puede sintetizar a partir de diversos productos como es el caso de la cascara de arroz; es así que Wang Zhaofeng et al., (2016, p.1), presenta la síntesis de grafeno corrugado mediante la activación con KOH de la cáscara de arroz, seguida de su calcinación a 1123 K. Así mismo, también la activación con KOH de la cáscara de arroz ayuda a producir una alta porosidad en el carbón activado, lo que a su vez permite producir grafeno puro con bordes estables y suaves (Ikram Rabia et al., 2020, p.20).

En la tabla 2 se muestra los antecedentes más resaltantes del estudio.

Tabla N°2: Antecedentes actualizados de la elaboración de biocarbón con presencia de grafeno

<i>Biocarbón con grafeno</i>	<i>Materias primas y reactivos químicos</i>	<i>Resultado</i>	<i>Fuente</i>
<i>Caña de azúcar convertida similar al grafeno</i>	3,0 g de caña de azúcar, 24,4 g de FeCl ₃ y 9,0 g de ZnCl ₂ en 50 mL de agua	Las capacidades de adsorción de FZS900 hacia naftaleno, fenantreno y 1-naftol fueron 615.8, 431.2 y 2040 mg g ⁻¹ , respectivamente, que son mucho más altos que los de los materiales informados anteriormente.	Xiao Xin et al., 2017

<i>Biocarbón poroso similar al grafeno</i>	3,0 g de cáscara de coco y 9,0 g de ZnCl ₂ en 50 mL de solución de FeCl ₃ (3 M/L)	El hierroCatalizador en el marco de la cáscara de coco puede generar una fase carburada que juega un papel clave en la formación de una grafeno-Estructura similar durante el proceso pirolítico.	Sun Li et al., 2013
<i>Óxido de grafeno 2D biochar/nZVI</i>	20,0 g de viejos envases de cartón ondulado (OCC) y 10,0 g de FeCl ₃ ·6H ₂ O	El nZVI / biocarbón 2D tal como se sintetizó exhibió una excelente estabilidad a largo plazo sin una pérdida significativa de actividad después del almacenamiento en aire durante 6 meses	Dai Xiao Hu et al., 2019
<i>El biocarbón que contiene grafeno en nanoestructuras</i>	Biocarbón a partir de bioaceite residual de aserrín y paja de caña de azúcar, luego lavado por reflujo de HCl, NaOH, NaHCO ₃ y agua destilada respectivamente	El fuerte aumento de la superficie está relacionado con la formación de estructuras de nanografeno.	De Mendonca F. et al., 2017
<i>Biochar convertido en óxido de grafeno nanoplaquetas</i>	Paja de arroz	La optimización del proceso mediante la metodología de superficie de respuesta arrojó un 99,87% de eliminación de adsorción de tinte (CV).	Goswami Sudipta et al., 2017
<i>Biocarbón multicapa de grafeno</i>	Pluma de pollo	Un equilibrio rápido (dentro de 30 s) se obtuvo una eficiencia de eliminación ultra alta (hasta 99,65%) cuando se utilizó grafeno multicapa (MGB) en la adsorción de tetraciclina (TC).	Li Huiqin et al., 2017
<i>Foto-reciclable biocarbón con grafeno</i>	Pluma de pollo, lavada alternativamente con tensioactivos aniónicos surfactante aniónico y agua desionizada	En particular, se logró un comportamiento foto-reciclable adicional en experimentos por lotes y se detectó el mecanismo de reacción; hasta el 80,98% de la capacidad de absorción de biocarbón de plumas foto-reciclable (PFB)	Li Huiqin et al., 2019
<i>Biochar compuestos de nanoplacas de grafeno</i>	20 g de biomasa de madera molida y 200 mL (0,1 % en peso) de óxido de grafeno (GO)	Las capacidades de adsorción de biocarros y compuestos BG hacia el ftalato de dimetilo (DMP), ftalato de dietilo (DEP) y ftalato de dibutilo (DBP) como modelo de ésteres de ácido ftálico (PAE) se	Abdul Ghaffar et al., 2017

			examinaron mediante la técnica de sorción por lotes.	
<i>Compuesto de biocarbón de grafeno</i>	de	Grafeno comprado y agua desionizada	Los resultados sugirieron que el compuesto grafeno / biocarbón (G / BC) es un adsorbente multifuncional eficiente, económico y ecológico para la remediación ambiental.	Tang Jingchun et al., 2015
<i>Compuesto de biocarbón recubierto de óxido de grafeno</i>	de	10 g de biomasa de jacinto de agua	Los resultados indicaron que la capacidad de adsorción estaba significativamente influenciada por el pH y la fuerza iónica. La capacidad máxima de adsorción (150,02 mg g ⁻¹) del biocarbón de jacinto de agua recubierto de óxido de grafeno (WHB-GO) se obtuvo a pH 2,0 y 50 ° C.	Shang Mei rong et al., 2016
<i>Biocarbón de paja con láminas de grafeno</i>	de	Paja	Las láminas de grafeno en el biocarbón desempeñaron un papel importante en la sorción de sulfametazina (SMT), lo que llevó a una mayor capacidad de sorción (K _f) en BC600 (1,77 mg l ⁻¹ n g ⁻¹) que BC300 (0,11 mg l ⁻¹ n g ⁻¹).	Jia Mingyun et al., 2018
<i>Nanocompuestos de biocarbón recubiertos de óxido de grafeno (GO-BC) basados en óxido de grafeno (GO) con biocarbón de aserrín de bambú (BC).</i>		Aserrín de bambú (BC)	Se observó una mejora obvia (en un 30%) en la sorción de sulfametazina (SMT) en GO-BC, que podría atribuirse al aumento de grupos funcionales en la superficie de GO-BC.	Huang Danlian et al., 2017
<i>Óxido de grafeno soportado por biocarbón (RGO-BC)</i>		Atrazina	La capacidad de adsorción de óxido de grafeno reducido soportado por biocarbón (RGO-BC) todavía se mantuvo por encima de 54,58 mg g ⁻¹ después de cuatro veces la regeneración (quedaba el 81% de la capacidad de adsorción), lo que demuestra un candidato prometedor para la aplicación de eliminación	Zhang Ying et al., 2018

<p><i>Biocarbón magnético a partir de biomasa de bambú</i></p>	<p>Biomasa de bambú -Se sintetizaron partículas de Fe₃O₄ como componente activo, soportadas sobre biocarbón de bambú (BB) para formar un catalizador compuesto (Fe₃O₄ – BB).</p>	<p>de contaminantes en el medio ambiente. (tasa de degradación: Fe₃O₄ –BB / PS, 86%; PS, 14%) a una concentración PS de 1,7 × 10⁻⁵ M, concentración de catalizador de 3,33 g / L, y un pH de 3,0.</p>	<p>Dong Cheng Di et al., 2017</p>
<p><i>Biocarbón derivado de lodos para la degradación del sulfametoxazol</i></p>	<p>Activación de peroxidisulfato dominado por oxígeno singlete por biocarbón derivado de lodos para la degradación del sulfametoxazol</p>	<p>En comparación con la ligera adsorción (16,5%) por biocarbón derivado de lodo (SDBC) solo y la baja oxidación directa (10,1%) por peroxidisulfato (PDS) solo, la tasa de degradación sulfametoxazol (SMX) aumentó drásticamente a 94,6% en el sistema combinado SDBC / PDS, lo que sugiere que SDBC puede activar con éxito y de manera eficiente PDS.</p>	<p>Yin Renli et al., 2019</p>

Elaboración propia

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación aplicada fue el tipo de investigación que se aplicó para el desarrollo, análisis y solución del problema; siendo esto descrito por Kircher Philipp AT., (2020, p.1), como un tipo de investigación donde el lector estudiará y captará conocimientos de la problemática que se busca solucionar. Es así que esta investigación va a recaudar información y estudios nacionales e internacionales actualizados para determinar la efectividad de la preparación de biocarbón que contiene grafeno y sus aplicaciones ambientales.

Así mismo, el diseño que se usó fue el biográfico; este diseño reconstruye conocimientos mediante los pasajes vividos por una o varias personas a partir de los hallazgos encontrados en documentos y la observación hacia las personas que participaron en el estudio, para intentar resolver un problema que embarca a una sociedad (Landín Miranda M. et al., 2019, p.3). Es por tal motivo que se aplicó el diseño de investigación biográfica; ya que, mediante las experiencias vividas que se encontraron en los artículos científicos donde los investigadores probaron el biocarbón con presencia de grafeno se buscó determinar cómo estos métodos eliminan los contaminantes orgánicos e inorgánicos.

3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización

Tabla N°3: Matriz de categorización apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1
Determinar cuáles son las técnicas de preparación para el biocarbón con composición de grafeno	¿Cuáles son las técnicas de preparación para el biocarbón con composición de grafeno?	Técnicas de preparación para el biocarbón (Mao Qiming et al., 2019, p.2)	Condiciones de calcinación (Zhang Ying et al., 2018, p.2).	De acuerdo a la materia prima empleada
			Materias primas y pretratamiento Del Carmen et al., 2020, p.4).	
Determinar el rendimiento de eliminación	¿Cuál es el rendimiento de eliminación de los	Rendimiento de eliminación de los contaminantes	Capacidad de adsorción (Hasan M. et al., 2021, p.1).	De acuerdo al contamina

de los contaminantes orgánicos e inorgánicos del medio ambiente aplicando biocarbón con presencia de grafeno	contaminantes orgánicos e inorgánicos del medio ambiente aplicando biocarbón con presencia de grafeno?	orgánicos e inorgánicos (Karimi K. y Fatemi S., 2021, p.3).	Dosis ideal (Bandara T. et al., 2020, p.3).	nte presente
Determinar los mecanismos involucrados en las aplicaciones medioambientales del biocarbón con grafeno	¿Cuáles son los mecanismos involucrados en las aplicaciones medioambientales del biocarbón con grafeno?	Mecanismos involucrados en las aplicaciones medioambientales del biocarbón con grafeno (Ikram Rabia et al., 2020, p.20).	Mecanismos de eliminación sortiva (Hasan M. et al., 2021, p.1).	De acuerdo a la interacción electrostática
			Mecanismo de degradación catalítica (Shiyang Yang et al., 2017, p.1).	

3.3. Escenario de estudio

El escenario de estudio al ser considerado como el lugar donde se realizan los estudios experimentales, fueron tomados de los diversos artículos científicos añadidos a la investigación, los laboratorios y puntos de campo donde se realizaron los procesos de pirolisis para la elaboración de biochar, ya sea en reactores ubicados en campo o empleando estufas en laboratorios, también usados para las corridas de análisis experimentales.

3.4. Participantes

Los participantes que jugaron un papel importante en esta investigación fueron portales web indizados como bibliotecas electrónicas, que cuentan con el acceso a editoriales de todo el mundo, pudiendo señalar a los siguientes participantes como las principales fuentes para la búsqueda y recolección de las literaturas añadidas al estudio: Redalyc, Sciencedirect y PubMed; de donde se extrajeron únicamente artículos científicos.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

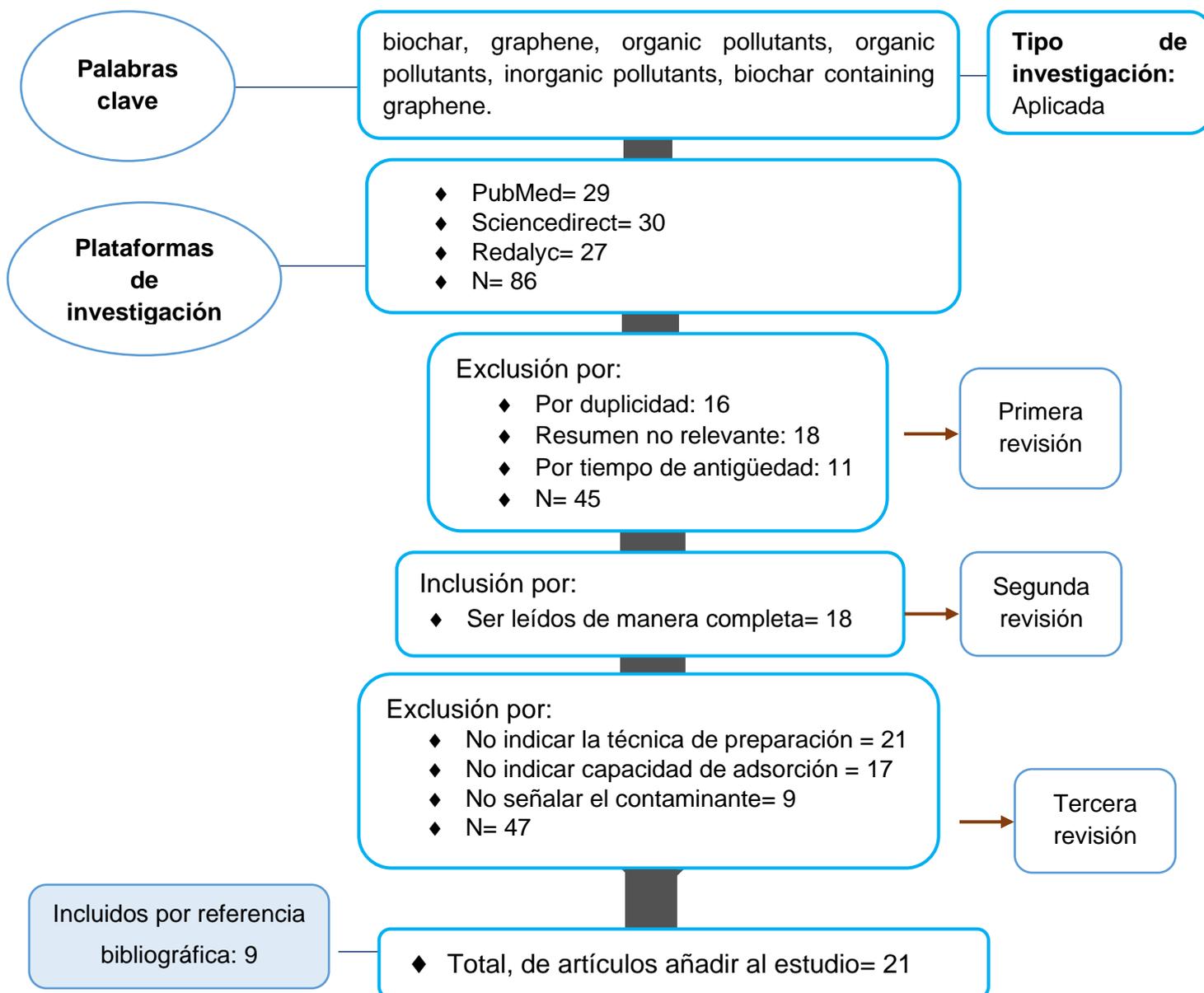
La técnica usada para la recolección y selección de la información esencial que será usada para resolver el problema general del estudio será la técnica de análisis documental empleando un instrumento denominado ficha de análisis de contenido,

que será el documento en el que se plasmará la información relevante de cada literatura.

De acuerdo con Dulzaides Iglesias M. et al., (2004, p.3), la técnica de análisis documental es un proceso mediante el cual se estudiarán y seleccionarán datos importantes de un estudio que permitan esclarecer una problemática. Así mismo, esto es posible empleando una ficha, donde la propuesta por el presente estudio será la denominada ficha de análisis de contenido (ver anexo n°2), dicha ficha presentó información como las técnicas de preparación para el biocarbón, capacidad de adsorción e interacción electrostática.

3.6. Procedimiento

Gráfico N° 1: Procedimiento de selección de artículos



3.7. Rigor científico

El presente estudio de investigación contó con el rigor científicos al ser cumplido diversos criterios de investigación los cuales permitieron brindar el valor del estudio, siendo entre ellos la dependencia, el criterio que se encarga de la estabilidad de la información; donde le investigador debe desear un grado de estabilidad de la información, aun sabiendo que por el génesis de la investigación cualitativa la estabilidad es algo difícil de conseguir. Esto se cumplió mostrando a detalle la información de la metodología de la elaboración del biocarbón con presencia de grafeno para la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos.

Así mismo se cumplió con el criterio de credibilidad; este criterio se obtiene cuando el investigador genera hallazgos usando la interpretación de análisis de los estudios. Este criterio fue efectuado en la investigación, ya que, el problema general es resuelto y sustentado con la comparación de los artículos científicos, así como con la comparación de los mismos en la discusión de resultados.

De manera análoga se cumplió con la auditabilidad, este criterio presenta el poder del futuro investigador para seguir los pasos del autor original tomando en cuenta sus decisiones tomadas y llegar a un resultado coherente; esto muchas veces se puede aproximar mediante el análisis de diversas literaturas encontradas en referencia de la investigación. Este criterio se cumplió con el criterio, debido a que se analizó los procesos generados por los diversos estudios que traten de la elaboración del biocarbón con presencia de grafeno en la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos de los distintos artículos estudiados, con el objetivo de cumplir con el rigor científico.

Se cumplió también con el criterio de transferibilidad; siendo este un criterio que genera la responsabilidad del autor del estudio, debido a que debe presentar la información completa y detallada para que nuevos investigadores que deseen continuar o ampliar el trabajo lo puedan realizar con la confianza y seguridad que la información proporcionara es verídica. Este criterio se obtuvo mediante la información dejada en el contenido de la elaboración del presente trabajo, detallando la metodología usada para que pueda servir de base para futuros estudiantes (Hernández, 2016, p. 36).

3.8. Método de análisis de información

El análisis de la información fue realizado mediante el método de triangulación, siendo este un método de ayuda a los investigadores a seleccionar las herramientas analíticas más apropiadas para su pregunta de investigación, acreditar adecuadamente a quienes contribuyeron al desarrollo de la teoría y evitar la adherencia dogmática a ideas particulares que pueden sofocar tanto el avance conceptual como la comunicación entre disciplinas (Veland Siri et al., 2018, p.31). Dicho ello se usó la matriz de categorización apriorística, permitiendo clasificar los resultados de los problemas y objetivos específicos en categorías y a su vez en sub categorías, brindando de tal manera resultados exactos y ordenados para llegar a un mayor entendimiento de la problemática planteada.

Entre las categorías se planteó: Técnicas de preparación para el biocarbón, Rendimiento de eliminación de los contaminantes orgánicos e inorgánicos, Mecanismos involucrados en las aplicaciones medioambientales del biocarbón con grafeno.

Entre las sub categorías: Condiciones de calcinación, Materias primas y pretratamiento, Capacidad de adsorción, Dosis ideal, Mecanismos de eliminación sortiva, Mecanismo de degradación catalítica.

3.9. Aspectos éticos

El presente trabajo de investigación cumplió con los aspectos de ética estipulados por la universidad César Vallejo, donde se siguió lo indicado por la Guía de Productos Observables, así como el respeto a la autoría de cada estudio usado, donde se citó debidamente usando la referencia ISO 690-2, y se cumplió con el principio de honestidad, pasando este trabajo por el programa anti plagio (turnitin).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para determinar la efectividad de la preparación de biocarbón que contiene grafeno y sus aplicaciones ambientales se centró en desarrollar 3 problemas específicos; siendo el primero de ellos analizar cuáles son las técnicas de preparación para el biocarbón con composición de grafeno, mostrando los resultados en la tabla 4:

Tabla N° 4: Técnicas de preparación para el biocarbón

Fuente	Materias primas y pretratamiento	Condiciones de calcinación
Xiao Xin et al., 2017 #52	Materia prima: caña de azúcar= 3,0 g Pre tratamiento= 24,4 g de FeCl ₃ 9,0 g de ZnCl ₂ en 50 mL de agua. calentamiento en baño de agua a 80 °C durante 2 días luego secado a 80 °C durante ~5 días	5 °C min ⁻¹ , 900 °C durante 1 h, atmósfera de N ₂ y finalmente lavado con HCl 2 M HCl durante 8 h, 3 veces
Sun Li et al., 2013	Materia prima: cáscara de coco= 3,0 g Pre tratamiento= 9,0 g de ZnCl ₂ en 50 mL de solución de FeCl ₃ (3 M/L), la solución de la mezcla se vaporizada a 80 °C bajo agitación durante 2 h y se secó a 100 °C	5 °C min ⁻¹ , 900 °C durante 1 h, atmósfera de N ₂ atmósfera, finalmente lavado con 2 M HCl
Dai Xiao Hu et al., 2019 #35	Materia prima: envases de cartón ondulado (OCC)= 20,0 g Pre tratamiento= 10,0 g de FeCl ₃ -6H ₂ O luego se repite el ciclo de cizallamiento varias veces.	Mezcla de OCC y FeCl ₃ -6H ₂ O recocido en un horno tubular: 5 °C min ⁻¹ , 850 °C durante 2 h, atmósfera de N ₂ .
Xiao X. y Chen B., 2017 #54	Materia prima: paja de arroz limpia Pre tratamiento=	5 °C min ⁻¹ , 700 °C durante 6 h, atmósfera de N ₂ en un horno tubular, después de Enfriamiento: HCl (1,0 M/L) y HF (1,0 M/L)

	La paja de arroz limpia y seca se molida a < 0,15 mm	lavados para eliminar componentes minerales
<i>De Mendonca F. et al., 2017</i> #55	Materia prima: aserrín y paja de caña de azúcar Pre tratamiento= lavado por reflujo de HCl, 12 h, NaOH NaHCO ₃ y agua destilada respectivamente, y finalmente se secó a 80 °C	10 °C min ⁻¹ , 400 °C durante 1 h, atmósfera de N ₂ en un horno horizontal 600 °C, con idénticas condiciones que las anteriores 800 °C, con idénticas condiciones que las anteriores
<i>Goswami Sudipta et al., 2017</i> #56	Materia prima: Paja de arroz Pre tratamiento= La paja de arroz se secó al sol durante 7 días después se lavó y se calentó a 80 °C durante 48 horas para eliminar la humedad	Carbonizado a 450 °C durante 0,75 h en un horno de mufla, atmósfera de N ₂ , tamizado (< 50 µm), seguido de una oxidación por el método de Hummer modificado, luego lavado varias veces y secado a 60 °C
<i>Li Huiqin et al., 2017</i> #57	Materia prima: Pluma de pollo La pluma de pollo fue lavada y secada a 60 °C, 24 h.	10 °C min ⁻¹ , 220 °C durante 8 h; y luego se aumentó a 450 °C durante 1 h, bajo atmósfera de Ar en un horno de tubo finalmente se activó con KOH a 800 °C durante 1 h, en atmósfera de Ar, lavado con HCl 0,1 M/L y secado.
<i>Li Huiqin et al., 2019</i> #58	Materia prima: Pluma de pollo Pre tratamiento= Lavada alternativamente con tensioactivos aniónicos surfactante y agua desionizada, después, secado a 110 °C por 12 h.	Pluma de pollo, KOH, etanol y titanato de tetrabutilo, tratado hidrotérmicamente 220 °C, 8 h, y luego carbonizado a 450 °C, 1 h, atmósfera de Ar, finalmente activado por vapor de agua, 800 °C
<i>Abdul Ghaffar et al., 2017</i> #27	Materia prima: biomasa de madera molida= 20 g y 200 mL de óxido de grafeno (0,1 % en peso)	Mezcla de biomasa de madera y GO, pirolizada a 700 °C con oxígeno limitado oxígeno en un horno de mufla durante 2 h (5 °C min ⁻¹), la muestra

<p><i>Tang Jingchun et al., 2015</i> #59</p>	<p>Pre tratamiento= agitar durante 1 h, y luego secado a 80 °C durante 3 h</p> <p>Materia prima: Paja de trigo, Grafeno comprado y agua desionizada sonicados</p>	<p>obtenida se lavó con agua desionizada y se secó a 80 °C.</p> <p>La mezcla de biomasa de paja de trigo y el grafeno se pirolizó a 600 °C, 1 h, atmósfera de N₂</p>
<p><i>Shang Mei rong et al., 2016</i> #61</p>	<p>Pre tratamiento= sonicar el grafeno y agua desionizada por 1 hora, luego 5 g de biomasa y 50 mL (1 g/L) de suspensión de grafeno, se agitó durante 1 h, luego la solución de la mezcla se secado a 80 °C, 3 h</p> <p>Materia prima: biomasa de jacinto de agua= 10 g</p> <p>Pre tratamiento= La suspensión de GO se preparó a partir de grafito mediante el método Hummers; 10 g de biomasa de jacinto de agua de jacinto de agua se recubrieron por inmersión con la suspensión de GO (proporción de masa = 1 : 0,06), se agitó durante 1 h, se sonicó durante 2 h y se secaron a 80 °C</p>	<p>La biomasa de jacinto recubierta de GO fue pirólisis lenta a 300 °C, 2 h, atmósfera de N₂ en un horno tubular, después se lavó con agua ultrapura y se secó al vacío</p>
<p><i>Jia Mingyun et al., 2018</i> #73</p>	<p>Materia prima: Paja y grafeno (2.5 g/L-1)</p>	<p>Paja pirolizados a 300 ° C (BC300) y 600 ° C (BC600)</p>
<p><i>Huang Danlian et al., 2017</i> #72</p>	<p>Materia prima: Aserrín de bambú (BC) (1.0 g/L-1)</p> <p>Pre tratamiento: se mezclaron 2 g de grafito y 1 g de NaNO₃. En un baño de hielo, se añadieron 46 mL de ácido sulfúrico (98%) y se añadió ácido sulfúrico (98%).</p>	<p>La biomasa pretratada seca y la biomasa sin tratar se pirolizaron en un horno tubular (OTL1200) a 600 °C durante 1 h en un entorno de N₂.</p>

Zhang Ying et al., 2018
#43

Materia prima:
paja de maíz y la materia
prima tratada con GO

Pre tratamiento:
Biocarbón - compuesto de
óxido de grafeno reducido

Se pirolizaron lentamente en un horno a una temperatura de 600 °C durante 1h en condiciones de N₂. Después, se lavaron las muestras con agua desionizada, se secaron en el horno y se almacenaron en un recipiente de vidrio sellado después de molerlas en polvo.

Dong Cheng Di et al.,
2017
#78

Materia prima:
Biomasa de bambú

Pre tratamiento=
sintetizar partículas de
Fe₃O₄ como componente
activo, soportadas sobre
biocarbón de bambú (BB)
para formar un catalizador
compuesto (Fe₃O₄-BB).

Se lavó a fondo, se secó en el horno a 333 K durante 24 horas, y luego se trituró con una trituradora y se tamizó para obtener un tamaño de partícula de 2,5 mm.

Yin Renli et al., 2019
#63

Materia prima:
Mazorca de maíz y lodos

Pre tratamiento=
Activación de
peroxidisulfato dominado
por oxígeno singlete por
biocarbón derivado de
lodos para la degradación
del sulfametoxazol

La mazorca de maíz se pirolizó a 700 °C durante 2 horas en un horno tubular. A continuación, el biocarbón de mazorca se mezcló con urea en etanol durante 12 horas, seguido de un secado al vacío.

Los lodos de depuradora secos se pirolizaron para formar SDBC a 700 °C durante 2 horas en un horno tubular bajo un flujo de N₂ con un aumento de temperatura de 10 °C min⁻¹.

Oh Seok Young et al.,
2016
#87

Materia prima:
Biocarbón de paja de arroz
con grafeno

Pre tratamiento=
No indica

Los biocarbones se pirolizaron utilizando un horno tubular a escala de laboratorio con control de flujo de gas mantenido a 900 °C durante 4 horas con un flujo de N₂ de 1000 cc/min.

Zhang Kaikai et al., 2018
#34

Materia prima:
cáscara de arroz

Pre tratamiento=
se utilizó agua desionizada con una resistividad de 18,25 MU cm¹. La cáscara de arroz se lavó con agua desionizada y se secó en un horno a 105 °C durante la noche para eliminar la mayor parte de la humedad.

Se pirolizó a 550 °C con un flujo de N₂ de 2 mL min durante 2 horas en un horno de tubos a escala de laboratorio. Los productos se enfriaron a temperatura ambiente en la atmósfera de N₂ y se denominaron R550. Finalmente, el biocarbón preparado se pasó por tamices de 100 mallas.

Yu Jiangfang et al., 2019
#85

Materia prima:
lodo dopado

Pre tratamiento=
El lodo de agua residual fue floculado por PAM (2 mg/L de poliacrilamida) y PFS (sulfato poliférrico) con la proporción de masa de masa ([PFS/PAM]) de 44.

Tras ser secados a 80 °C, triturados y tamizados a través de tamices de 100 mallas.

Los polvos de lodo fueron pirólisis en un reactor tubular (SK-G04123K, China) durante 2 horas con protección de N₂ con una velocidad de calentamiento de 5 °C/min. Se investigaron tres temperaturas de pirólisis (400, 600 y 800 °C) y se registraron como MS-400, MS-600 y MS-800, respectivamente.

Zhu Shishu et al., 2018
#79

Materia prima:
biocarros de grafito (N-BC) dopados con N

Pre tratamiento=
se disolvieron en soluciones de tampón fosfato (pH = 7,4) a concentraciones finales de 80 mM y 50 mM, respectivamente y se filtró utilizando un filtro de 0,22 dm.

No indica

Li Huiqin et al., 2018
#68

Materia prima:
pluma de pollo (TINC) acoplado con N e incrustado en N (TINC).

Pre tratamiento=
se secaron a 60 C en el horno durante 24 h en la atmósfera.

Se calentaron en los hornos de secado al aire a 200 C y/o 220 C durante 8 h, respectivamente, seguido de un proceso de carbonización de carbonización en atmósfera de argón a 450

Inicialmente, se aplastaron unos 8 g de FCs en aproximadamente 1 pulgada y se cargaron en seis reactores de autoclave hidrotermales forrados de teflón (75 mL). °C durante 1 hora. polvo con un mortero de ágata y se lavaron con agua desionizada y agua desionizada y alcohol alternativamente dos veces.

Elaboración propia

El biocarbón con grafeno se prepara a través de un método ascendente, en el que las estructuras similares al grafeno se forman como parte del biocarbón durante la preparación del mismo bajo ciertas condiciones de pirolisis; por tal motivo se buscó analizar cuáles son las técnicas de preparación para el biocarbón con composición de grafeno, donde los resultados expuestos muestran que las técnicas de preparación para el biocarbón con composición de grafeno presentan una condición de calcinación de pirolisis convencional al 100%, donde la pirólisis a altas temperaturas fue mayormente empleada en un 50%, presentando temperaturas de calcinación de 300 a 550 °C en tiempos de residencia de 1 a 2 horas y pirolisis a temperaturas medias en un 35% donde las temperaturas de calcinación variaron de 600 a 800°C, mientras que en menor cantidad se encuentran los estudios que aplican la pirolisis a temperaturas altas mayores a 900°C con un 15% de los investigadores.

Así mismo, las materias primas más usadas para la preparación del biocarbón con composición de grafeno fueron los residuos de cosecha en un 76%, donde los residuos de cultivos herbáceos como pajas son las más usadas y los residuos forestales se emplearon en un 10% y otros en un 14%.

Ello es debido a que las fuentes de carbono sólido, como la caña de azúcar, la cáscara de coco, la paja de arroz, los alimentos derivados de la glucosa, los lodos de depuradora, los envases de cartón corrugado viejos y las plumas de pollo, pueden utilizarse como precursores del biocarbón tipo grafeno con la ayuda de catalizadores basados en el Fe mediante procesos de conversión termoquímica; como lo señalan y demuestran los investigadores Xiao Xin et al., 2017, Goswami Sudipta et al., 2017, Xiao X. y Chen B., 2017, Yin Renli et al., 2019, Dai Xiao Hu et al., 2019, Li Huiqin et al., 2017 y Li Huiqin et al., 2019, en la tabla de resultados n°4.

De acuerdo con Shang jingge et al., (2019), el biocarbón con grafeno se prepara a través de un método ascendente, en el que las estructuras similares al grafeno se forman como parte del biocarbón durante la preparación del mismo bajo ciertas

condiciones de pirólisis. Ello es también confirmado por Sun Li et al., (2013), quien en su estudio afirma que los biocarros con estructuras de grafeno por lo general se realizan a temperaturas altas de pirolisis, usando en su estudio una temperatura de 900°C.

Además, Xiao Xin et al., (2017), adiciona que los catalizadores a base de hierro (Fe) son los más estudiados para la preparación de grafeno y biocarbón similar al grafeno utilizando residuos sólidos biológicos como materia prima, empleando como biomasa a la caña de azúcar con FeCl₃ como reactivo químico en el pre tratamiento a una condición de calcinación igual que Sun Li et al., (2013).

Apoyando lo anteriormente dicho se encuentran los investigadores Dai Xiao Hu et al., 2019, Shang Mei rong et al., 2016, Huang Danlian et al., 2017, Dong Cheng Di et al., 2017, quienes también usaron catalizadores. Es decir, el biocarbón de alta calidad similar al grafeno se prepara mediante un método ascendente, en el que los átomos de carbono se han reordenado con la ayuda del catalizador y la plantilla a alta temperatura (> 700 °C) (Oh Seok Young et al., 2016).

Así mismo, se buscó definir el rendimiento de eliminación de los contaminantes orgánicos e inorgánicos del medio ambiente aplicando biocarbón con presencia de grafeno, detallando los resultados en la tabla 5.

Tabla N°5: Rendimiento de eliminación de los contaminantes orgánicos e inorgánicos

<i>Biocarbón grafeno</i>	<i>con</i>	<i>Contaminantes</i>	<i>Dosis/(g L-1)</i>	<i>Rendimiento de eliminación</i>	<i>Fuente</i>
<i>Biocarbón paja-300</i>	<i>de</i>	Sulfamethazine (50 mg/L)	2.5	0.11 mg ¹ -nLng ⁻¹	Jia Mingyun et al., 2018 #73
<i>Biocarbones grafeno</i>	<i>con</i>	Sulfamethazine (50 mg/L)	2.5	1.77 mg ¹ -nLng ⁻¹	
<i>Compuesto de RGO-biocarbón</i>	<i>de</i>	Sulfamethazine, 7,3-73,0 mM, pH 5,0-6,0, 25 °C	1.0	23,6 mg/g, muy superior al del biocarbón (10,2 mg/g)	Huang Danlian et al., 2017 #72
<i>Biocarbón grafeno</i>	<i>tipo</i>	Naftaleno	1/120	615.8 mg/g	Xiao Xin et al., 2017 #52
		Fenantreno	1/960	431.2 mg/g	
		1-naftol	1/40	2040 mg/g	

<i>Compuesto de grafeno/biocarbón</i>	Fenantreno (1 mg/L, 25 °C)	8.5/120	25,3 mg/g, muy superior al del biocarbón (13,5 mg/g)	Tang Jingchun et al., 2015 #59
<i>Biocarbón multicapa con fase de grafeno</i>	Tetraciclina (50-150 mg/L)	1.0	Alcanzó el equilibrio en 30 s, 338,33 mg/g (30 °C)	Li Huiqin et al., 2017 #57
<i>Grafeno reducido soportado por biocarbón</i>	Atrazina (50 mg/L, 25 °C, pH 6,0)	0.25	34.0 mg/g	Zhang Ying et al., 2018 #43
<i>Compuestos de biocarbón y nanoplanchas de grafeno</i>	Ftalato de dimetilo (10 mg/L, 25 °C)	0.125	45.65 mg/g	Abdul Ghaffar et al., 2017 #27
	Ftalato de dietilo (10 mg/L, 25 °C)	0.125	31.78 mg/g	
	Ftalato de dibutilo (4 mg/L, 25 °C)	0.125	25.43 mg/g	
<i>Compuesto de grafeno/biocarbón</i>	Mercurio (0,4 mg/L, 25 °C)	10/28	853,0 µg/g	Tang Jingchun et al., 2015 #59
<i>Compuesto de biocarbón recubierto de óxido de grafeno</i>	Cr(VI) (100 mg/L, 30 °C)	2.0	150,02 mg/g	Shang Mei rong et al., 2016 #61
<i>Biocarbón con grafeno Fe₃O₄</i>	Pyrene Fe ₃ O ₄ graphene-containing biochar 3.33 86%, pH = 3.0 Persulfate activation	3.33	86%, pH = 3,0	Dong Cheng Di et al., 2017 #78
<i>Biocarbón con grafeno</i>	Sulfametoxazol (40 µM, pH 5,0)	2,0 (con 1,5 mM de PDS)	94,6%, 3 h (0,0145 min), 58% de COT eliminado	Yin Renli et al., 2019 #63
<i>Biocarbón 2D tipo nZVI/grafeno</i>	Bisfenol A (30 mg/L)	0,33 (con 0,267 mg/mL PMS)	1,299 min., pH = 4,0, más del 72,9% de eliminación de COT en 30 min.	Dai Xiao Hu et al., 2019 #35
<i>Biocarbón grafénico dopado con N</i>	Naranja G (50 mg/L)	0,2 (con 2,0 mM de PDS)	100%, 60 min	Zhu Shishu et al., 2018 #79
<i>Biocarbón con grafeno</i>	Sulfuros	3.33	0,11 min. (constante de velocidad de	De Mendonca F. et al., 2017

			orden pseudocero)	#55
<i>Biocarbón basado en óxido de grafeno fotocatalizador</i>	Rodamina B (20 mg/L, 20 °C)	1.0	90.9%, 4 h	Li Huiqin et al., 2018 #68
<i>Biocarbón que contiene grafeno foto-reciclable</i>	Amoxicilina, 20 mg L-1, 25 °C	0.5	99,97%, 73,52% (COT) 20 h	Li Huiqin et al., 2019 #58
<i>Elaboración propia</i>				

Los resultados mostrados en la tabla 5 para definir el rendimiento de eliminación de los contaminantes orgánicos e inorgánicos del medio ambiente muestran que la capacidad de adsorción del biocarbón con grafeno ha mostrado una excelente capacidad de sorción hacia varios contaminantes como pesticidas orgánicos, mientras que los estudios sobre sorción de contaminantes inorgánicos son menores que los de contaminantes orgánicos.

Ello es corroborado por Xiao Xin et al., (2017), quien obtuvo un rendimiento de eliminación de 615.8 mg/g para la naftalina, 431.2 mg/g para el fenantreno y 2040 mg/g para 1-naftol.

De igual forma los antibióticos como el Sulfamethazine, quien fue tratado en el estudio de Jia Mingyun et al., (2018), donde las láminas de grafeno en el biocarbón desempeñaron un papel importante en la sorción de sulfametazina (SMT), lo que llevó a una mayor capacidad de sorción en el biocarbón pirolizado a 600°C con un $1,77 \text{ mg}^{-1} \text{ L}^n \text{ g}^{-1}$ con presencia de grafeno a comparación con el biocarbón simple con una pirolisis de 300°C, ($0,11 \text{ mg}^{-1} \text{ L}^n \text{ g}^{-1}$).

Así mismo lo confirma, de acuerdo con Xiao Xin et al., (2017), en los contaminantes orgánicos, se ha logrado una capacidad de sorción comparativamente más alta para el naftaleno, fenantreno y el 1-naftol gracias a los materiales similares al grafeno convertidos en caña de azúcar, debido a la superficie ultra alta y a las nanohojas de grafeno, donde en su investigación se obtuvo un rendimiento de eliminación de 615.8 mg/g, 431.2 mg/g y 2040 mg/g respectivamente.

Apoyando lo anteriormente dicho se encuentra Jia Mingyun et al., (2018), quien señala que también encontró que las láminas de grafeno en el biocarbón juegan un papel clave en la eliminación sortiva de la sulfamethazina.

Por su parte Abdul Ghaffar et al., (2017), empleando los compuestos de biocarbón y nanoplanchas de grafeno para la eliminación del Ftalato de dimetilo obtiene el aumento de la superficie (1,47 veces) el volumen de los poros (1,26 veces), y los grupos O-C=O (1,08 veces) del compuesto de grafeno-biocarbón en comparación con el biocarbón simple, la capacidad de sorción de los ésteres de ácido ftálico en el compuesto grafeno-biocarbón fue aproximadamente 1,5 veces superior a la del biocarbón, lo que ilustra que la introducción de nano Hojas de grafeno no sólo puede actuar directamente como sitios de sorción, sino que desempeña un papel importante en la modificación de los grupos funcionales de la superficie y la estructura porosa del biocarbón.

Por su parte Shang Jingge et al., (2019) la igual que Ahmad Munir et al., (2018, p.1), rechazan lo expuesto anteriormente, afirmando que la capacidad de sorción de Cr(VI), Pb²⁺ y nitrato en el biocarbón que contiene grafeno muestra una mejora evidente en comparación con la del biocarbón crudo.

Mientras que, Zheng Wei et al., (2021, p.3), en su investigación obtiene que las aplicaciones de los adsorbentes a base de grafeno fueron limitadas debido a su complicada tecnología de fabricación y su alto costo, por lo que es muy importante preparar nuevos adsorbentes a base de grafeno económicos y fáciles de fabricar

Por última, se determinó los mecanismos involucrados en las aplicaciones medioambientales del biocarbón con grafeno, donde se analizó los mecanismos de eliminación sortiva y los mecanismos de degradación catalítica para determinar los mecanismos involucrados en las aplicaciones medioambientales del biocarbón; detallando los resultados en la tabla 6.

Tabla N°6: Clasificación de mecanismos involucrados en las aplicaciones medioambientales del biocarbón con grafeno

<i>Tipos de mecanismo</i>	<i>Descripción</i>	<i># de investigadores que lo emplean</i>
<i>Mecanismos de eliminación sorción</i>	3 tipos: 1er tipo: interacciones electrostáticas, enlace de hidrógeno y la complejación inducida por los grupos funcionales de oxígeno de la superficie 2do tipo: interacción π - π donante-aceptante de	50%

<i>Mecanismos de degradación catalítica</i>	<p>electrones (EDA) e interacción catiónica π inducida por el electrón π.</p> <p>3er tipo: efecto hidrofóbico y difusión de poros inducidos por las nanohojas de grafeno.</p> <p>Los donantes de electrones en la degradación catalítica de contaminantes orgánicos y los posibles grupos donantes de electrones, como los π-electrones, los metales de transición, los grupos que contienen oxígeno, los dopantes N, los electrones foto-generados y los radicales libres persistentes (PFR), participan en las reacciones catalíticas inducidas por el grafeno.</p>	50%
---	--	-----

Elaboración propia

Tabla N°7: Clasificación de investigadores por mecanismo empleado

SITIOS ACTIVOS EN EL BIOCARBÓN	ESPECIES REACTIVAS/INTERACCIONES PREDOMINANTES	TIPO DE ELIMINACIÓN	FUENTE
GRUPOS FUNCIONALES DE OXÍGENO	Interacciones electrostáticas, sorción monocapa	Sorción	Goswami Sudipta et al., 2017 #56
GRUPOS FUNCIONALES DE OXÍGENO	Enlace de hidrógeno	Sorción	Li Huiqin et al., 2017 #57
SITIOS DEFECTUOSOS DE GRAFENO, MICROPOROS	Quimisorción, mecanismo de llenado de poros	Sorción	Zhang Ying et al., 2018 #43
GRUPOS FUNCIONALES ESTRUCTURAS TIPO GRAFENO	Fisorción (partición) Interacción π - π EDA	Sorción	Jia Mingyun et al., 2018 #73
NANOCAPAS DE GRAFENO	Efecto hidrofóbico, interacción π - π y efecto de nanoescala que conducen a la partición inducida por el mecanismo de sorción	Sorción	Xiao Xin et al., 2017 #52
-NANOCAPAS DE GRAFENO Y GRUPOS	-Partición y sorción superficial -Complejidad superficial	Sorción	Tang Jingchun

FUNCIONALES DE OXÍGENO GRUPOS FUNCIONALES DEL OXÍGENO -GRUPOS FUNCIONALES DE OXÍGENO			et al., 2015 #59
GRUPOS CARBOXILO EN LAS LÁMINAS DE GRAFENO Y ESPECIES DE P EN EL BIOCARBÓN LÁMINAS DE GRAFENO	Interacciones electrostáticas, precipitación	Sorción	Zhang Ying et al., 2018 #43
LÁMINAS DE GRAFENO	Interacción π - π EDA Hidrofobicidad	Sorción	Abdul Ghaffar et al., 2017 #27
LÁMINAS DE GRAFENO Y TIO2	No indica	Fotocatálisis	Li Huiqin et al., 2018 #68
CARGA DE NITRÓGENO Y CARGA DE HIERRO	No radical 1 O2	Activación de PDS	Yin Renli et al., 2019 #63
NITRÓGENO ADICIONADO Y CARBONO GRAFÉNICO	No radical 1 O2	Activación de PDS	Zhu Shishu et al., 2018 #79
COMPUESTOS DE HIERRO, NITRÓGENO DOPADO Y CARBONO GRAFÍTICO TIPO GRAFENO	OH y SO4--	Activación de PDS	Yu Jiangfang et al., 2019 #85
MOTIVOS DE HIDROQUINONA-QUINONA	Especies reactivas de oxígeno	Reducción del oxígeno	Zhang Kaikai et al., 2018 #34
ESPECIES DE FE0, GRUPOS C = O, Y ESTRUCTURA 2D TIPO ÓXIDO DE GRAFENO	Especies reactivas de oxígeno por PMS o foto Fenton activación y estructura 2D tipo óxido de grafeno como soportes de transferencia de electrones	Activación del persulfato Foto-Fenton	Dai Xiao Hu et al., 2019 #35

LÁMINAS DE GRAFENO Y TIO2	No indica	Fotocatálisis	Li Huiqin et al., 2019 #58
FE0, ELEMENTOS DE GRAFENO Y GRUPOS FUNCIONALES GRUPOS FUNCIONALES EN EL BIOCARBÓN	Donantes de electrones	Microbios desnitrificación microbiana	Oh Seok Young et al., 2016 #87
-QUINONAS E HIDROQUINONA -MAYOR SUPERFICIE Y ESTRUCTURA DE GRAFENO ESTRUCTURA	-Especies reactivas de oxígeno -Especies oxidadas intermedias de azufre	Degradación directa	De Mendonca F. et al., 2017 #55

Elaboración propia

De acuerdo con lo detallado en la tabla 6 respecto a la tabla 7 se tiene que los mecanismos involucrados en las aplicaciones medioambientales del biocarbón con grafeno son mecanismos de eliminación sortiva y mecanismo de degradación catalítica en un 50% para cada una.

De acuerdo con Fu haichao et al., (2019), ello es debido a que el biocarbón que contiene grafeno posee una superficie específica mucho mayor que el biocarbón ordinario y, en consecuencia, se proporcionan más sitios de sorción y sitios catalíticos redox, y los contaminantes podrían ser fácilmente adsorbidos y fácilmente accesibles a los sitios catalíticos.

Así mismo, ello es corroborado por Goswami Sudipta et al., 2017, Li Huiqin et al., 2017, Zhang Ying et al., 2018 y Jia Mingyun et al., 2018; quienes presentan como mecanismo de eliminación a la sorción, donde los sitios activos del biocarbón fueron los grupos funcionales de oxígeno, sitios defectuosos de grafeno, microporos y grupos funcionales, estructuras tipo grafeno, generando Interacciones electrostáticas, sorción monocapa, Enlace de hidrógeno, Quimisorción, mecanismo de llenado de poros y Fisorción (partición) Interacción π - π EDA.

Por otro lado, Li Huiqin et al., (2019), afirma que se podría conseguir una tasa de eliminación de contaminantes más eficientes mediante el efecto sinérgico con la

catálisis y la sorción, debido a que la catálisis se ve facilitada por la sorción y, a cambio, los sitios de sorción se regeneran en su mayoría mediante la degradación catalítica de los contaminantes.

El biocarbón que contiene grafeno actúa principalmente como donante de electrones en la degradación catalítica de contaminantes orgánicos y los posibles grupos donantes de electrones, como electrones π , metales de transición, grupos que contienen oxígeno, N-dopantes, electrones fotogenerados y radicales libres persistentes (PFR) están involucrados en las reacciones catalíticas inducidas por el grafeno.

Además, las capas de grafeno en el biocarbón también pueden proporcionar electrones para la activación del PMS, donde los grupos funcionales que contienen oxígeno también son un donador de electrones útil y los grupos funcionales de quinona en el biocarbón que contiene grafeno pueden contribuir a su capacidad catalítica (Fu Haichao et al., 2019, p.2).

También de acuerdo con Dai Xiao Hu et al., (2019), en la tabla de resultados 7, confirma que el rendimiento catalítico del biocarbón podría ser controlado por la temperatura de carbonización, debido a que la relación de las especies CO / C = O en el biocarbón fabricado a 550 ° C fue casi 8,0 veces mayor que en el biocarbón fabricado a 850 ° C.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a la búsqueda de determinar la efectividad de la preparación de biocarbón que contiene grafeno y sus aplicaciones ambientales; obteniendo las siguientes conclusiones:

- Las técnicas de preparación para el biocarbón con composición de grafeno presentan una condición de calcinación de pirólisis convencional al 100%, donde la pirólisis a altas temperaturas fue mayormente empleada en un 50%, presentando temperaturas de calcinación de 300 a 550 °C en tiempos de residencia de 1 a 2 horas y pirólisis a temperaturas medias en un 35% donde las temperaturas de calcinación variaron de 600 a 800°C, mientras que en menor cantidad se encuentran los estudios que aplican la pirólisis a temperaturas altas mayores a 900°C con un 15% de los investigadores.
- El rendimiento de eliminación de los contaminantes orgánicos e inorgánicos del medio ambiente aplicando biocarbón con presencia de grafeno muestran que la capacidad de adsorción del biocarbón presenta una excelente capacidad de sorción hacia varios contaminantes como pesticidas orgánicos, mientras que los estudios sobre sorción de contaminantes inorgánicos son menores que los de contaminantes orgánicos.
- Los mecanismos involucrados en las aplicaciones medioambientales del biocarbón con grafeno son los mecanismos de eliminación sortiva y mecanismo de degradación catalítica en un 50% para cada una; debido a que el biocarbón que contiene grafeno posee una superficie específica mucho mayor que el biocarbón ordinario y, en consecuencia, se proporcionan más sitios de sorción y sitios catalíticos redox.

VI. RECOMENDACIONES

Desde el punto de vista teórico y práctico se aconseja elaborar biocarbón con presencia de grafeno ya que se ha comprobado que en comparación con el grafeno simple, este actúa principalmente como donante de electrones en la degradación catalítica de los contaminantes orgánicos e inorgánicos.

Así mismo, se recomienda realizar una base de datos mediante un estudio de los residuos que presentan menor valorización y determinar si son aprobados como precursores del biocarbón tipo grafeno, con el fin de generar nuevas utilidades a residuos sin un valor agregado y disminuir los residuos sólidos.

Por último, se recomienda estudiar los productos finales de los diferentes biocarbones con presencia de grafeno empleando análisis físicos y químicos como el FTIR, SEM y BET, donde se pueda determinar los grupos funcionales y los mecanismos de sorción que estos presentan para clasificarlos por su eficiencia.

REFERENCIAS

1. ABDUL, Ghaffar; ZHU, Xiaoying; CHEN, Baoliang. Structural characteristics of biochar-graphene nanosheet composites and their adsorption performance for phthalic acid esters. *Chemical Engineering Journal*, 2017, vol. 319, p. 9-20. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.02.074>
2. AGARWAL, S., et al. Rapid adsorption of ternary dye pollutants onto copper (I) oxide nanoparticle loaded on activated carbon: experimental optimization via response surface methodology. *Journal of environmental chemical engineering*, 2016, vol. 4, no 2, p. 1769-1779. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.03.002>
3. AHMAD, Munir, et al. Biochar composites with nano zerovalent iron and eggshell powder for nitrate removal from aqueous solution with coexisting chloride ions. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, vol. 25, no 26, p. 25757-25771. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0125-9>
4. AYOUB, Haytham A., et al. Synthesis and characterization of silica nanostructures for cotton leaf worm control. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 2017, vol. 7, no 2, p. 91-100. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40097-017-0229-2>
5. BANDARA, Tharanga, et al. Chemical and biological immobilization mechanisms of potentially toxic elements in biochar-amended soils. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2020, vol. 50, no 9, p. 903-978. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1642832>
6. BANU, Hyder Ali Thagira, et al. Adsorptive performance of lanthanum encapsulated biopolymer chitosan-kaolin clay hybrid composite for the recovery of nitrate and phosphate from water. *International journal of biological macromolecules*, 2020, vol. 154, p. 188-197. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.074>
7. BORAH, Preetismita; KUMAR, Manish; DEVI, Pooja. Types of inorganic pollutants: metals/metalloids, acids, and organic forms. En *Inorganic Pollutants*

in Water. Elsevier, 2020. p. 17-31. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818965-8.00002-0>

8. CERUTTI, Soledad, et al. Green sample preparation strategies for organic/inorganic compounds in environmental samples. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 2019, vol. 19, p. 76-86. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2019.08.007>
9. CHAUHAN, Rohit; SRIVASTAVA, Vimal Chandra. Advance reduction processes for denitrification of wastewater. En *Inorganic Pollutants in Water*. Elsevier, 2020. p. 297-314. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818965-8.00015-9>
10. CHAUHAN, Kalpana, et al. Synthesis of new benzothiazole Schiff base as selective and sensitive colorimetric sensor for arsenic on-site detection at ppb level. *Analytical Methods*, 2017, vol. 9, no 11, p. 1779-1785. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C6AY03302D>
11. CONG, Xiaowei; ZHANG, Juan; PU, Yuepu. A novel living environment exposure matrix of the common organic air pollutants for exposure assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, vol. 215, p. 112118. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112118>
12. CUI, Dongdong, et al. Non-enzymatic glucose sensor based on micro-/nanostructured Cu/Ni deposited on graphene sheets. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2019, vol. 838, p. 154-162. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2019.03.005>
13. DAI, Xiao-Hu, et al. Solvent-free synthesis of a 2D biochar stabilized nanoscale zerovalent iron composite for the oxidative degradation of organic pollutants. *Journal of Materials Chemistry A*, 2019, vol. 7, no 12, p. 6849-6858. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C8TA11661J>
14. DE MENDONÇA, Fernanda Gomes, et al. Tuning the surface properties of biochar by thermal treatment. *Bioresource technology*, 2017, vol. 246, p. 28-33. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.099>

15. DEHGHANI, Mohammad Hadi y col. Eliminación de alto rendimiento del pesticida diazinón del agua mediante nanotubos de carbono de paredes múltiples. *Revista Microquímica*, 2019, vol. 145, pág. 486-491. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.10.053>
16. DEL CARMEN GALÁN-JIMÉNEZ, María, et al. A sepiolite-based formulation for slow release of the herbicide mesotrione. *Applied Clay Science*, 2020, vol. 189, p. 105503. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.105503>
17. DEY, Sudipto, et al. Rhodamine based chemosensor for trivalent cations: Synthesis, spectral properties, secondary complex as sensor for arsenate and molecular logic gates. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2017, vol. 246, p. 518-534. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.02.094>
18. DONG, Cheng-Di; CHEN, Chiu-Wen; HUNG, Chang-Mao. Synthesis of magnetic biochar from bamboo biomass to activate persulfate for the removal of polycyclic aromatic hydrocarbons in marine sediments. *Bioresource technology*, 2017, vol. 245, p. 188-195. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.204>
19. DULZAIDES IGLESIAS, María Elinor; MOLINA GÓMEZ, Ana María. Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso. *Acimed*, 2004, vol. 12, no 2. ISSN 1024-9435
20. EFRAIM, Yael, et al. Biohybrid cardiac ECM-based hydrogels improve long term cardiac function post myocardial infarction. *Acta biomaterialia*, 2017, vol. 50, p. 220-233. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2016.12.015>
21. FANG, Zheng, et al. Continuous removal of trace bisphenol A from water by high efficacy TiO₂ nanotube pillared graphene-based macrostructures in a photocatalytically fluidized bed. *Chemical Engineering Journal*, 2019, vol. 372, p. 581-589. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.04.129>
22. FU, Haichao, et al. Activation of peroxymonosulfate by graphitized hierarchical porous biochar and MnFe₂O₄ magnetic nanoarchitecture for organic pollutants degradation: Structure dependence and mechanism. *Chemical Engineering Journal*, 2019, vol. 360, p. 157-170. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.11.207>

23. GUÉGAN, Régis. Organoclay applications and limits in the environment. *Comptes Rendus Chimie*, 2019, vol. 22, no 2-3, p. 132-141. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.crci.2018.09.004>
24. GOSWAMI, Sudipta, et al. Nanoplaquetas de óxido de grafeno sintetizadas con biomasa de residuos agrícolas carbonizada como precursor verde y su aplicación para el tratamiento de aguas residuales ricas en colorantes. *Seguridad de procesos y protección ambiental*, 2017, vol. 106, pág. 163-172. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.01.003>
25. HASAN, Md Munjur, et al. Natural biodegradable polymeric bioadsorbents for efficient cationic dye encapsulation from wastewater. *Journal of Molecular Liquids*, 2021, vol. 323, p. 114587. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114587>
26. Hernández, E. Contextos sociales de intervención comunitaria, [en línea] Editorial CEP SL.: Madrid, 2016. p. 36. CAPITULO 1: Técnicas de investigación en la intervención social. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=AcY-DwAAQBAJ&pg=PA36&dq=auditabilidad&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiexYyeyY3qAhVpG7kGHdyrDP0Q6AEINzAC#v=onepage&q=auditabilidad&f=false>
27. HU, Shui-Ming. Trace gas measurements using cavity ring-down spectroscopy. En *Advances in Spectroscopic Monitoring of the Atmosphere*. Elsevier, 2021. p. 413-441. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815014-6.00002-6>
28. HUANG, Danlian, et al. Sorptive removal of ionizable antibiotic sulfamethazine from aqueous solution by graphene oxide-coated biochar nanocomposites: influencing factors and mechanism. *Chemosphere*, 2017, vol. 186, p. 414-421. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.154>
29. IKRAM, Rabia; JAN, Badrul Mohamed; AHMAD, Waqas. Advances in synthesis of graphene derivatives using industrial wastes precursors; prospects and challenges. *Journal of Materials Research and Technology*, 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.11.043>

30. JALALI, Mohsen; RAJABI, Fahimeh; RANJBAR, Faranak. The removal of boron from aqueous solutions using natural and chemically modified sorbents. *Desalination and Water Treatment*, 2016, vol. 57, no 18, p. 8278-8288. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1020509>
31. JIA, Mingyun, et al. Sorption of sulfamethazine to biochars as affected by dissolved organic matters of different origin. *Bioresource technology*, 2018, vol. 248, p. 36-43. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.082>
32. JIA, Shiyu; FAN, Mingde. Silanization of heat-treated halloysite nanotubes using γ -aminopropyltriethoxysilane. *Applied Clay Science*, 2019, vol. 180, p. 105204. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105204>
33. JIMÉNEZ-SKRZYPEK, Gabriel, et al. Microplastic-adsorbed organic contaminants: analytical methods and occurrence. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2021, p. 116186. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116186>
34. JIN, Rong, et al. New classes of organic pollutants in the remote continental environment—Chlorinated and brominated polycyclic aromatic hydrocarbons on the Tibetan Plateau. *Environment international*, 2020, vol. 137, p. 105574. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105574>
35. KARIMI, Kian; FATEMI, Shohreh. Methane capture and nitrogen purification from a nitrogen rich reservoir by pressure swing adsorption; experimental and simulation study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, vol. 9, no 5, p. 106210. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106210>
36. KIRCHER, Philipp AT. Search design and online job search—new avenues for applied and experimental research. *Labour economics*, 2020, vol. 64, p. 101820. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.labeco.2020.101820>
37. KODERA, Toshimitsu; AKIZUKI, Shinichi; TODA, Tatsuki. Formation of simultaneous denitrification and methanogenesis granules in biological wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 2017, vol. 58, p. 252-257. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2017.04.038>

38. KUMAR, Rajesh, et al. Recent progress in the synthesis of graphene and derived materials for next generation electrodes of high performance lithium ion batteries. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2019, vol. 75, p. 100786. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2019.100786>
39. LANDÍN MIRANDA, Ma; ROSARIO, Del; SÁNCHEZ TREJO, Sandra Ivonne. El método biográfico-narrativo: una herramienta para la investigación educativa. *Educación*, 2019, vol. 28, no 54, p. 227-242. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18800/educacion.201901.011>
40. LEI, Zhiwu, et al. Enhanced adsorption of potassium nitrate with potassium cation on H₃PO₄ modified kaolinite and nitrate anion into Mg-Al layered double hydroxide. *Applied clay science*, 2018, vol. 154, p. 10-16. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.12.040>
41. LI, Chunya, et al. Adsorption of Cd²⁺ and Ni²⁺ from aqueous single-metal solutions on graphene oxide-chitosan-poly (vinyl alcohol) hydrogels. *Langmuir*, 2019, vol. 35, no 13, p. 4481-4490. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b04189>
42. LI, Huiqin, et al. An investigation into the rapid removal of tetracycline using multilayered graphene-phase biochar derived from waste chicken feather. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 603, p. 39-48. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.006>
43. LI, Huiqin, et al. An investigation of the biochar-based visible-light photocatalyst via a self-assembly strategy. *Journal of environmental management*, 2018, vol. 217, p. 175-182. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.083>
44. LI, Huiqin, et al. Development of a bio-inspired photo-recyclable feather carbon adsorbent towards removal of amoxicillin residue in aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, 2019, vol. 373, p. 1380-1388. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.03.160>
45. LI, Jianhong, et al. Sorption of lead in soil amended with coconut fiber biochar: geochemical and spectroscopic investigations. *Geoderma*, 2019, vol. 350, p. 52-60. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.05.008>

46. MANNA, Indrani; BANDYOPADHYAY, Maumita. Physicochemical perturbation of plants on exposure to metal oxide nanoparticle. En *Nanomaterials in Plants, Algae and Microorganisms*. Academic Press, 2019. p. 323-352. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811488-9.00016-0>
47. MANDAL, S., et al. Application of biochar produced from biowaste materials for environmental protection and sustainable agriculture production. En *Environmental Materials and Waste*. Academic Press, 2016. p. 73-89. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803837-6.00004-4>
48. MAO, Qiming, et al. Experimental and theoretical aspects of biochar-supported nanoscale zero-valent iron activating H₂O₂ for ciprofloxacin removal from aqueous solution. *Journal of hazardous materials*, 2019, vol. 380, p. 120848. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120848>
49. NARAYANAN, Divya P.; SANKARAN, Sugunan; NARAYANAN, Binitha N. Novel rice husk ash-reduced graphene oxide nanocomposite catalysts for solvent free Biginelli reaction with a statistical approach for the optimization of reaction parameters. *Materials Chemistry and Physics*, 2019, vol. 222, p. 63-74. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.09.078>
50. NIE, Chengrong, et al. Impact of sugarcane bagasse-derived biochar on heavy metal availability and microbial activity: a field study. *Chemosphere*, 2018, vol. 200, p. 274-282. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.134>
51. OH, Seok-Young, et al. Microbial reduction of nitrate in the presence of zero-valent iron and biochar. *Bioresource technology*, 2016, vol. 200, p. 891-896. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.11.021>
52. OLAUSSEN, Jon Olaf. Environmental problems and regulation in the aquaculture industry. Insights from Norway. *Marine Policy*, 2018, vol. 98, p. 158-163. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.08.005>
53. OMOROGIE, Martins O., et al. The sequestral capture of fluoride, nitrate and phosphate by metal-doped and surfactant-modified hybrid clay materials. *Chemical Papers*, 2018, vol. 72, no 2, p. 409-417. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11696-017-0290-9>

54. PARVIN, Fahmida; RIKTA, Sharmin Yousuf; TAREQ, Shafi M. Application of nanomaterials for the removal of heavy metal from wastewater. En Nanotechnology in water and wastewater treatment. Elsevier, 2019. p. 137-157. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813902-8.00008-3>
55. PATHAKOTI, Kavitha; MANUBOLU, Manjunath; HWANG, Huey-Min. Nanotechnology applications for environmental industry. En Handbook of nanomaterials for industrial applications. Elsevier, 2018. p. 894-907. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813351-4.00050-X>
56. PENG, Bo, et al. Nanohybrid Materials Based Biosensors for Heavy Metal Detection. En Nanohybrid and Nanoporous Materials for Aquatic Pollution Control. Elsevier, 2019. p. 233-264. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814154-0.00008-6>
57. RAMALINGAM, Baskaran, et al. Biomaterial functionalized graphene-magnetite nanocomposite: a novel approach for simultaneous removal of anionic dyes and heavy-metal ions. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2018, vol. 6, no 5, p. 6328-6341. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b00139>
58. SÁNCHEZ-CANTÚ, Manuel, et al. Evaluation of hydrotalcite-like compounds with distinct interlaminar anions as catalyst precursors in methylene blue photodegradation. Applied Clay Science, 2017, vol. 135, p. 1-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.08.028>
59. SDIRI, Ali, et al. A natural clayey adsorbent for selective removal of lead from aqueous solutions. Applied Clay Science, 2016, vol. 126, p. 89-97. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.03.003>
60. SHAHEEN, Sabry M., et al. Wood-based biochar for the removal of potentially toxic elements in water and wastewater: a critical review. International Materials Reviews, 2019, vol. 64, no 4, p. 216-247. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/09506608.2018.1473096>
61. SHAHEEN, Sabry M., et al. Biochar as an (Im) mobilizing agent for the potentially toxic elements in contaminated soils. En Biochar from biomass and

- waste. Elsevier, 2019. p. 255-274. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811729-3.00014-5>
62. SHANG, Jingge, et al. Immobilization of Cr (VI) from solution by a graphene oxide-nZVI/biochar composite. *Water Environment Research*, 2019, vol. 91, no 7, p. 565-572. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/wer.1059>
63. SHANG, Mei-rong, et al. A novel graphene oxide coated biochar composite: synthesis, characterization and application for Cr (VI) removal. *Rsc Advances*, 2016, vol. 6, no 88, p. 85202-85212. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C6RA07151A>
64. SHARMA, Hemant, et al. Optical chemosensors for water sample analysis. *Journal of Materials Chemistry C*, 2016, vol. 4, no 23, p. 5154-5194. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C6TC00605A>
65. SHARMA, Chhavi; NEGI, Yuvraj Singh. Methods of inorganic pollutants detection in water. En *Inorganic Pollutants in Water*. Elsevier, 2020. p. 115-134. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818965-8.00007-X>
66. SHENG, Guodong, et al. Adsorption and co-adsorption of graphene oxide and Ni (II) on iron oxides: a spectroscopic and microscopic investigation. *Environmental Pollution*, 2018, vol. 233, p. 125-131. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.047>
67. SHIYING, Yang, et al. Surface Mechanism of Carbon-Based Materials for Catalyzing Peroxide Degradation of Organic Pollutants in Water. *Progress in Chemistry*, 2017, vol. 29, no 5, p. 539. Disponible en: <https://doi.org/10.7536/PC170310>
68. SIDANA, Nancy; KAUR, Harminder; DEVI, Pooja. Organic linkers for colorimetric detection of inorganic water pollutants. En *Inorganic Pollutants in Water*. Elsevier, 2020. p. 135-152. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818965-8.00008-1>
69. SINGH, Surinder; WASEWAR, Kailas L.; KANSAL, Sushil Kumar. Low-cost adsorbents for removal of inorganic impurities from wastewater. En *Inorganic*

- Pollutants in Water. Elsevier, 2020. p. 173-203. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818965-8.00010-X>
70. Speight, J. G. (2017). Properties of Organic Compounds. Environmental Organic Chemistry for Engineers, 203–261. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804492-6.00005-8>
71. SIVADASAN, A. K., et al. Spectroscopically forbidden infra-red emission in Au-vertical graphene hybrid nanostructures. Nanotechnology, 2017, vol. 28, no 46, p. 465703.
72. SUN, Li, et al. From coconut shell to porous graphene-like nanosheets for high-power supercapacitors. Journal of materials Chemistry A, 2013, vol. 1, no 21, p. 6462-6470. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C3TA10897J>
73. TANG, Jingchun, et al. Preparation and characterization of a novel graphene/biochar composite for aqueous phenanthrene and mercury removal. Bioresource Technology, 2015, vol. 196, p. 355-363. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.07.047>
74. TOMEI, M. Concetta, et al. On the applicability of a hybrid bioreactor operated with polymeric tubing for the biological treatment of saline wastewater. Science of The Total Environment, 2017, vol. 599, p. 1056-1063. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.042>
75. VELAND, Siri, et al. Narrative matters for sustainability: the transformative role of storytelling in realizing 1.5 C futures. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2018, vol. 31, p. 41-47. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.12.005>
76. WANG, Ning; HU, Yunxia; ZHANG, Zongren. Sustainable catalytic properties of silver nanoparticles supported montmorillonite for highly efficient recyclable reduction of methylene blue. Applied Clay Science, 2017, vol. 150, p. 47-55. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.08.024>
77. WU, Fangjun, et al. Enhanced photocatalytic degradation and adsorption of methylene blue via TiO₂ nanocrystals supported on graphene-like bamboo

- charcoal. *Applied Surface Science*, 2015, vol. 358, p. 425-435. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.08.161>
78. ZENG, Guangyong, et al. Preparation of a novel poly (vinylidene fluoride) ultrafiltration membrane by incorporation of 3-aminopropyltriethoxysilane-grafted halloysite nanotubes for oil/water separation. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2016, vol. 55, no 6, p. 1760-1767. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b04797>
79. WANG, Zhaofeng, et al. Large-scale and controllable synthesis of graphene quantum dots from rice husk biomass: a comprehensive utilization strategy. *ACS applied materials & interfaces*, 2016, vol. 8, no 2, p. 1434-1439. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acsami.5b10660>
80. XIAO, Xin, et al. Sugar cane-converted graphene-like material for the superhigh adsorption of organic pollutants from water via coassembly mechanisms. *Environmental science & technology*, 2017, vol. 51, no 21, p. 12644-12652. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03639>
81. XIAO, Xin; CHEN, Baoliang. A direct observation of the fine aromatic clusters and molecular structures of biochars. *Environmental science & technology*, 2017, vol. 51, no 10, p. 5473-5482. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06300>
82. YE, Shujing, et al. Facile assembled biochar-based nanocomposite with improved graphitization for efficient photocatalytic activity driven by visible light. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2019, vol. 250, p. 78-88. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.03.004>
83. YIN, Renli, et al. Singlet oxygen-dominated peroxydisulfate activation by sludge-derived biochar for sulfamethoxazole degradation through a nonradical oxidation pathway: Performance and mechanism. *Chemical Engineering Journal*, 2019, vol. 357, p. 589-599. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.09.184>
84. 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>

85. YU, Jiangfang, et al. Magnetic nitrogen-doped sludge-derived biochar catalysts for persulfate activation: internal electron transfer mechanism. *Chemical Engineering Journal*, 2019, vol. 364, p. 146-159. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.01.163>
86. ZHANG, Haifeng, et al. Pt decorated 3D vertical graphene nanosheet arrays for efficient methanol oxidation and hydrogen evolution reactions. *Journal of Materials Chemistry A*, 2017, vol. 5, no 41, p. 22004-22011. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C7TA07340B>
87. ZHANG, Kaikai, et al. Characterization of biochar derived from rice husks and its potential in chlorobenzene degradation. *Carbon*, 2018, vol. 130, p. 730-740. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.01.036>
88. ZHANG, Ying, et al. Biochar-supported reduced graphene oxide composite for adsorption and coadsorption of atrazine and lead ions. *Applied Surface Science*, 2018, vol. 427, p. 147-155. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.07.237>
89. ZHANG, Ying, et al. Biochar-supported reduced graphene oxide composite for adsorption and coadsorption of atrazine and lead ions. *Applied Surface Science*, 2018, vol. 427, p. 147-155. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.07.237>
90. ZHENG, Wei; ZHAO, Xin; FU, Wenjie. Review of Vertical Graphene and its Applications. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2021, vol. 13, no 8, p. 9561-9579. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acsami.0c19188>
91. ZHU, Shishu, et al. Catalytic removal of aqueous contaminants on N-doped graphitic biochars: inherent roles of adsorption and nonradical mechanisms. *Environmental science & technology*, 2018, vol. 52, no 15, p. 8649-8658. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01817>

ANEXOS

ANEXOS N° 1:

Categoría, subcategoría y matriz de categorización

Tabla N°10: Matriz de categorización apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1
Determinar cuáles son las técnicas de preparación para el biocarbón con composición de grafeno	¿Cuáles son las técnicas de preparación para el biocarbón con composición de grafeno?	Técnicas de preparación para el biocarbón (Mao Qiming et al., 2019, p.2)	Condiciones de calcinación (Zhang Ying et al., 2018, p.2).	De acuerdo a la materia prima empleada
			Materias primas y pretratamiento Del Carmen et al., 2020, p.4).	
Determinar el rendimiento de eliminación de los contaminantes orgánicos e inorgánicos del medio ambiente aplicando biocarbón con presencia de grafeno	¿Cuál es el rendimiento de eliminación de los contaminantes orgánicos e inorgánicos del medio ambiente aplicando biocarbón con presencia de grafeno?	Rendimiento de eliminación de los contaminantes orgánicos e inorgánicos (Karimi K. y Fatemi S., 2021, p.3).	Capacidad de adsorción (Hasan M. et al., 2021, p.1).	De acuerdo al contaminante presente
			Dosis ideal (Bandara T. et al., 2020, p.3).	
Determinar los mecanismos involucrados en las aplicaciones medioambientales del biocarbón con grafeno	¿Cuáles son los mecanismos involucrados en las aplicaciones medioambientales del biocarbón con grafeno?	Mecanismos involucrados en las aplicaciones medioambientales del biocarbón con grafeno (Ikram Rabia et al., 2020, p.20).	Mecanismos de eliminación sortiva (Hasan M. et al., 2021, p.1).	De acuerdo a la interacción electrostática
			Mecanismo de degradación catalítica (Shiying Yang et al., 2017, p.1).	

ANEXOS N° 2:

		<p>FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO</p>	
<p>DATOS DEL AUTOR(ES):</p>			
<p>PÁGINAS UTILIZADAS</p>		<p>AÑO DE PUBLICACIÓN</p>	<p>LUGAR DE PUBLICACIÓN</p>
<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</p>			
<p>CÓDIGO:</p>			
<p>PALABRAS CLAVES :</p>			
<p>TÉCNICAS DE PREPARACIÓN PARA EL BIOCARBÓN</p>			
<p>CAPACIDAD DE ADSORCIÓN</p>			
<p>MECANISMOS INVOLUCRADOS EN LAS APLICACIONES</p>			
<p>RESULTADOS :</p>			
<p>CONCLUSIONES:</p>			

Elaboración propia