



Universidad César Vallejo

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

**Revisión sistemática: Obtención de biocarbón a partir de residuos
agrícolas para la adsorción de metales pesados en aguas
residuales industriales**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
Ingeniero Ambiental**

AUTOR:

Zegarra Vera, Guillermo José (orcid.org/0000-0001-9728-959X)

ASESOR:

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

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión de riesgos y adaptación al cambio climático

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

Dedicado a Dios y a la Virgen de Chapi.

Dedicado a mis padres Ernesto y Rocío, que me han apoyado en todo momento desde que inicie mi camino en mis estudios superiores, dándome fuerzas y mucha confianza para poder culminar con mis proyectos.

Dedicado a mi esposa Mayra y mi hijo Mateo, quienes son el gran motor de mi vida y han sacado lo mejor de mi para poder formar una familia unida y fuerte con mucho amor.

Agradecimiento

Agradezco al Mg. José Máximo Díaz Pinto por la confianza.

y el apoyo constante para la realización de mi tesis.

Agradezco a la Universidad César Vallejo.

quien me brindo esta oportunidad de poder culminar mi tesis.

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras.....	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA.....	22
3.1 Tipo y diseño de investigación	22
3.2 Categorías y subcategorías y matriz de categorización apriorística	23
3.3 Escenario de estudio.....	24
3.4 Participantes	24
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	24
3.6 Procedimiento	24
3.7 Rigor científico	26
3.8 Método de análisis de datos.....	26
3.9 Aspectos éticos	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
V. CONCLUSIONES.....	44
VI. RECOMENDACIONES.....	45
REFERENCIAS	46
ANEXOS	52

Índice de tablas

Tabla 1: Antecedentes.....	4
Tabla 2: Composición química de la celulosa, hemicelulosa y lignina.	16
Tabla 3: Características de la biomasa agrícola.	17
Tabla 4: Matriz de Categorización Apriorística.....	23
Tabla 5: Tipos de desechos agrícolas	28
Tabla 6: Metales pesados absorbidos por biocarbón.....	33
Tabla 7: Características de la pirolisis y resultado tras aplicación de biocarbón	38

Índice de figuras

Figura 1: Mecanismo de pirólisis	15
Figura 2: Estructura de biomasa lignocelulósica	17
Figura 3: Diagrama de recopilación de artículos en la sistematización.....	25
Figura 4: Temperatura utilizada para la obtención de Biocarbón.	31
Figura 5: Temperatura utilizada para la producción de biocarbón.....	41
Figura 6: pH del agua en la remoción de metales pesados	42

Resumen

En el trabajo de investigación tuvo como objetivo analizar la adsorción de los metales pesados, presentes en aguas residuales industriales, utilizando biocarbón, elaborado a partir de residuos agrícolas. La metodología fue de tipo revisión bibliográfica con un enfoque cualitativo. Se basó en la técnica de recolección de análisis de documentos de los últimos 5 años. Los resultados demostraron que los desechos agrícolas más usados fueron el pasto elefante, cáscara y paja de arroz, lodos de depuradora, cáscara de maní, hueso de bovino y escamas de pescado, biomasa de madera, ramas de *Camellia sinensis*, palo de yute y bagazo de caña de azúcar. Logrando una remoción de metales pesados en cuanto al cobre 47.53%, manganeso, fierro, magnesio y zinc en 54%, plomo 87%, esto mediante la aplicación del biocarbón de paja de arroz y bagazo de caña de azúcar. Concluyendo que los residuos agrícolas en elaboración de biocarbón son muy eficientes en tratar a las aguas con presencia de metales pesados recuperando a su calidad, ya que tienen propiedades fisicoquímicas, destacan en área superficial, poseen macro y microporos, cabe señalar que estos poros están asociados a la adsorción de compuestos líquidos, sólidos y gaseosos, además de la presencia de grupos funcionales.

Palabra clave: Biocarbón, residuos agrícolas, metales pesados, aguas residuales.

Abstract

In the research work, the objective was to analyze the adsorption of heavy metals, present in industrial wastewater, using biochar, made from agricultural waste. The methodology was a bibliographic review type with a qualitative approach. It was based on the document analysis collection technique of the last 5 years. The results showed that the most used agricultural wastes were elephant grass, rice husks and straw, sewage sludge, peanut shells, bovine bone and fish scales, wood biomass, *Camellia sinensis* branches, jute stick and bagasse. of sugar cane. Achieving a removal of heavy metals in terms of copper 47.53%, manganese, iron, magnesium and zinc in 54%, lead 87%, this through the application of biochar from rice straw and sugar cane bagasse. Concluding that agricultural residues in the production of biochar are very efficient in treating water with the presence of heavy metals, recovering its quality, since they have physicochemical properties, stand out in surface area, have macro and micropores, it should be noted that these pores are associated to the adsorption of liquid, solid and gaseous compounds, in addition to the presence of functional groups.

Keyword: Biochar, agricultural residues, heavy metals, wastewater

I. INTRODUCCIÓN

El intenso crecimiento de las industrias ha hecho que el desarrollo de la humanidad tenga grandes avances, pero al mismo tiempo todas estas industrias utilizan diariamente agua en grandes cantidades, lo que a su vez genera aguas residuales que muchas veces son vertidas sin tratamiento previo y que suelen contener una serie de sustancias químicas dañinas para el ecosistema, entre ellas los metales pesados (Cobbina et al. 2019). Viendo el gran impacto negativo que provoca, se vio la necesidad de buscar métodos efectivos y económicamente rentables de tratamiento de aguas residuales, que permitan la recirculación de agua para su uso en diversas actividades antrópicas (Każmierczak et al., 2021).

La gran diversidad de metales pesados en la lista de toxicidad superior tenemos cromo hexavalente, plomo, cadmio y mercurio (Islam et al. 2021). Son los metales más comunes que se encuentran en el agua residuales industriales como el Cu, Pb, Zn y Cr, siendo este último uno de los metales pesados más difíciles de eliminar y más tóxicos en soluciones acuosas, además que genera serios problemas ambientales y de salud, y esto suele provenir de las industrias metalúrgicas (Każmierczak et al., 2021).

La quema de desechos agrícolas no solo desperdicia energía, sino que también daña el medio ambiente local. Por lo tanto, el uso eficiente de los residuos ayudará a desarrollar productos innovadores que sean buenos para el medio ambiente. La producción de biocarbón contribuye al desarrollo sostenible y apoya una economía eficiente y baja en carbono (Katiyar et al. 2021). Tiene propiedades únicas el biocarbón, tales como: la estructura de los poros, el área de superficie específica, los grupos funcionales de la superficie y la composición mineral, lo convierten en un adsorbente para la eliminación de contaminantes como los metales pesados (Azadi et al. 2018) Existen estudios sobre la disminución de las concentraciones de metales pesados en suelo y agua y su biodisponibilidad en base a la adsorción. El cadmio y el plomo son los más comunes y son dañinos tanto para las plantas como para los humanos debido a su largo tiempo de residencia y no degradabilidad (Wang et al.,

2021). El biocarbón se puede producir mediante varios métodos, incluida los pirólisis, la carbonización hidrotermal y la gasificación (Ambaye et al., 2021)

Se sabe cómo tratar soluciones acuosas que contienen metales pesados, por ejemplo: intercambio iónico, electrólisis de membrana, precipitación química, adsorción de resinas de impregnación, ósmosis inversa, método biológico y adsorción (Każmierczak et al., 2021). Entre todos estos métodos, la adsorción tiene una alta eficiencia y una forma de relativamente de bajo costo, para agua contaminada con metales pesados (Sun et al., 2019). La capacidad de adsorción se ha utilizado para gestionar los recursos de desecho, mejorar la calidad del agua, mitigar el cambio climático y como biocombustibles renovables (Ambaye et al., 2021).

El biocarbón es un compuesto de carbono elaborado a partir de biomasa lignocelulósica, principalmente residuos agrícolas (Wu et al., 2021) y (Adesemuyi et al. 2020). La capacidad de adsorción específica del biocarbón para la adsorción de metales pesados se vio respaldada por la partición de la estructura de los poros, el aumento del área superficial y la mejora de la química de la superficie. El biocarbón es un adsorbente potencial debido a su abundante materia prima, que es más económica que cualquier otro método de adsorción (Azzi et al. 2021).

Los procesos de pirólisis es una degradación térmica de la materia lignocelulósica utilizando una baja concentración de oxígeno y que puede ser controlado, por lo que dicha materia se descompone por medio del calor, sin que se produzcan reacciones de combustión, porque las temperaturas de trabajo son inferiores a la de gasificación, oscilando entre 300°C y 800°C y además que el único oxígeno presente es el contenido en el residuo a tratar (Barry et al., 2019).

El objetivo de esta investigación es realizar un análisis de la efectividad del biocarbón derivado de residuos agrícolas en metales pesados con mayor toxicidad. Por ejemplo, el plomo y el níquel utilizados en la producción de baterías y los minerales de sulfuro fundido son altamente tóxicos incluso en bajas concentraciones (Sajjadi et al., 2021). Con esta investigación se desea realizar un estudio teórico con el fin de garantizar un aporte de conocimiento científico sobre la adsorción de metales altamente tóxicos mediante el uso de biocarbón. Teniendo en cuenta que al realizar investigaciones en esta área se brindan argumentos para promover el desarrollo continuo de proyectos

de investigación en temas relacionados con la mitigación de contaminantes altamente tóxicos como los metales pesados.

En este marco, se planteó el siguiente problema general:

PG: ¿Cuál es la eficiencia del biocarbón de residuos agrícolas con respecto a la adsorción de metales pesados en aguas residuales industriales?

Por otro lado, se plantearon los siguientes problemas específicos:

PE1: ¿Cuáles son los residuos agrícolas más utilizados y qué relación tiene con las características del biocarbón?

PE2: ¿Cuáles son los tipos de metales pesados adsorbidos por el biocarbón a base de residuos agrícolas?

PE3: ¿Cuáles son las características finales de las aguas residuales tras la aplicación de biocarbón?

En base a la descripción del problema presentado, se planteó como objetivo general el siguiente:

OG: Analizar la adsorción de los metales pesados, presentes en aguas residuales industriales, utilizando biocarbón, elaborado a partir de residuos agrícolas.

Mientras que los objetivos específicos fueron:

OE1: Analizar la relación entre los residuos agrícolas más utilizados y las características del biocarbón.

OE2: Analizar los tipos de metales pesados adsorbidos por biocarbón a base de residuos agrícolas.

OE3: Analizar las características finales de las aguas residuales tras la aplicación de biocarbón.

II. MARCO TEÓRICO

Para la elaboración de la revisión sistemática se realizó la recopilación de información de las fuentes: Sciencedirect y Springer Link. El periodo de búsqueda se fijó de 2015 a 2022. La información se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 1: Antecedentes

Nº	Autor	Metodología / descripción	Variables	Resultados
1	Kaźmierczak et al., 2021	El biocarbón se obtiene a partir de residuos de maíz. La paja de lino se pirolizó a una temperatura de 500°C.	Adsorción de cromo Soluciones acuosas Residuos vegetales	purificación de cromo (III) a partir de soluciones acuosas usando biocarbón. El biocarbón de la estufa de maíz fue del 97 % (en 210 minutos) y el biocarbón de la estufa de lino fue del 32 % (en 210 minutos).
2	Li et al., 2020	Producción de biocarbón de nitrógeno-oxígeno microporoso (NOMB) utilizando residuos de hidrólisis de desechos de cocina (KWHR) como precursor	Eliminación de Cr (VI) Biocarbón con nitrógeno/oxígeno Biomasa residual	El NOMB obtenido con alta área superficial (2417 m ² /g) y microporosidad (~ 90%) mostró una excelente capacidad de remoción de Cr (VI) (526.1 mg/ga pH 2).
3	Cobbina et al., 2019	biochar de cáscara de maní (GB350 y GB700) se utilizaron como adsorbentes en situaciones de pirólisis lenta y rápida para eliminar iones de cadmio (Cd ²⁺), mercurio (Hg ²⁺) y plomo (Pb ²⁺) de soluciones acuosas.	Biocarbón de cáscara de maní Adsorción de metales pesados Pirólisis lenta y rápida	El GB700 pudo determinar que la eficiencia de eliminación de Cd ²⁺ y Pb ²⁺ era del 100 %. La eficiencia de eliminación de GB350 fue del 100 % para Pb ²⁺ y Hg ²⁺ , y la eficiencia de eliminación para Cd ²⁺ fue de 99,05, 99,46 y 99,69 %.
4	Zhou et al., 2019	tabaco se pirolizan con cuerpos seleccionados a diferentes temperaturas para producir	Condición de pirólisis Adsorción de metales pesados	A medida que se eliminan los minerales, la capacidad de adsorción disminuye significativamente.

N°	Autor	Metodología / descripción	Variables	Resultados
		biocarbón con diferentes químicas superficiales.	Biocarbón del tabaco	
5	Komkiene & Baltreinaite, 2016	Se realizó el estudio de la eficiencia de adsorción de iones de metales pesados [Cu (II), Cd (II), Pb (II) y Zn (II)] en biocarbón.	Biocarbón Adsorbente Eliminación de Metales pesados	Las capacidades máximas de adsorción de biocarbón de cobre (II) (128,7 yog-1), zinc (II) (107,0 yog-1) y plomo (II) fueron 1,29-3,77 y 2,37-4,49 yog, respectivamente.
6	Guo et al., 2020	El biocarbón dopado con N se produce por carbonización hidrotermal de residuos de ramas de camelia utilizando KOH/NH ₄ Cl a 120-280 °C a 0,4-6,5 MPa durante 2 h.	Análisis estructural y adsorción de metales pesados Biocarbón dopado con N camelia desperdiciada	El contenido de N más alto medido por análisis elemental fue tan alto como 6.18% en biocarbón.
7	Ambaye et al., 2021	Se revisan los últimos métodos de producción de biocarbón, propiedades fisicoquímicas y mecanismos de adsorción.	Capacidad de adsorción biocarbón Eliminación de contaminantes en aguas residuales	La tasa de adsorción de biochar para tintes industriales es tan alta como 80%.
8	Wang et al., 2021	En un ambiente anaerobio se hizo el control de la temperatura y el tiempo de pirólisis en ambiente anaerobio, se adquirió un nuevo residuo de biomasa agrícola: 15 especies de biocarbón (BC) de Caragana.	Características de Pb y Cd basura caragana Biomasa	Los modelos de Freundlich y Langmuir pueden recrear el proceso de adsorción isotérmica de CB en Cd ²⁺ y Pb ²⁺ .
9	Sun et al., 2019	Biocarbón tiene una alta capacidad de adsorción de metales pesados Cd (II) y Pb (II).	Adsorción mejorada Biocarbón magnetizado	La capacidad total de adsorción de Langmuir de BCMF alcanza 79 mg/g

N°	Autor	Metodología / descripción	Variables	Resultados
			Cáscara de arroz	Cd (II) y 148 mg/g Pb (II), que es casi 7 veces la de BCF.
10	Wu et al., 2021	La paja o Biocarbón se complementó con 0, 1,8 y 3,6 Mg de carbono ha-1, es decir, CK, Paja-L o -H y Biocarbón-L o -H.	Biocarbón Retención de fósforo Rendimiento de arroz	Los resultados mostraron que el rendimiento de arroz bajo el tratamiento con Biocarbón-H fue más alto con 9,1 Mg hm ⁻² seguido de Straw-L (9,0 Mg hm ⁻²), Biochar-L (8,6 Mg hm ⁻²) y Straw-H (8,5). Mg hm ⁻²).
11	Barry et al., 2019	El rendimiento de pirólisis lenta disminuyó del 51,6 % en peso a 300 °C al 32 % en peso a 500 °C.	Pirólisis Tratamiento de lodos municipales	Se determinó que la inversión de capital anual total y los gastos anuales eran de \$13,5 millones. y CAD 1,32 millones.
12	Frišták et al., 2018	Productos de solución térmica (pH, conductividad, FTR, SEM, composición base CHN, hidruro de carbono aromático poligonal (PAH) y concentración de metales tóxicos).	Tratamiento de pirólisis Lodos de depuradora Fertilizante de fósforo	Investigaron la posibilidad de convertir lodos de depuradora en productos estables y valiosos con un aumento de 2 a 3 veces en el contenido de fósforo a través del proceso de pirólisis.
13	Ndong et al., 2021	Una revisión exhaustiva de los métodos de producción de biocarbón enriquecido y su desempeño como enmienda del suelo agrícola.	Fertilizante Biocarbón Técnicas y aplicaciones	Demostraron que la aplicación de BCF fue más efectiva para mejorar las propiedades del suelo y el rendimiento que el biocarbón puro u otros fertilizantes solos.
14	Yaashikaa et al., 2020	Se centra en una descripción general del uso de biocarbón para el tratamiento de contaminantes nocivos. Se ha discutido el uso de diferentes sistemas para la producción de biocarbón.	Producción de biocarbón Caracterización Bioeconomía circular	Los métodos de producción de biocarbón descentralizados sirven como una forma efectiva de brindar oportunidades de empleo, gestionar los desechos y aumentar la competencia por los recursos en una bioeconomía circular.

Nº	Autor	Metodología / descripción	Variables	Resultados
15	Adesemuyi et al., 2020	El biocarbón se preparó mediante espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR), microscopía electrónica de barrido (SEM), rayos X de dispersión de energía (EDX) y difracción de rayos X (XRD).	Biocarbón de hierba elefante Eliminación de nitrato Temperatura de pirólisis	Biochar B fue mejor que Biochar A en la eliminación de nitratos del agua.
16	Kwon et al., 2020	Se basa en optimizar las propiedades del material aportando la funcionalidad deseada.	Biomasa Residuos industriales Biocarbón diseñado	Contiene conocimientos muy avanzados para crear biocarbón de ingeniería de alto rendimiento con mayor versatilidad y capacidad.
17	Khan et al., 2020	Se basa en el papel del biocarbón en la optimización de la biodisponibilidad de nutrientes del suelo, el PTE y la mitigación de los riesgos para la salud.	Características, aplicaciones del biocarbón Riesgo de salud Inmovilización de metales	La información sobre el efecto del biocarbón en la biodisponibilidad de la PTE es muy variable, ya que las propiedades del biocarbón están influenciadas por el método de síntesis, la temperatura de pirólisis y las materias primas.
18	Qayyum et al., 2020	A) Tipos de biocarbón i) sin control de biocarbón, ii) biocarbón de cáscara de arroz (RHB), iii) biocarbón de paja de trigo (WSB) y iv) biocarbón de paja de arroz (RSB), -1 y iii) K 30 kg/ha -1 (4x3x3, n = 36	Biocarbón de paja Crecimiento y rendimiento del algodón.	El crecimiento del algodón y el rendimiento del monte bajo aumentaron significativamente con mayores tasas de aplicación de potasio.
19	Kazemi Shariat Panahi et al., 2020	La producción y uso de biocarbón se ha desarrollado resumiendo la gran cantidad de investigación y conocimiento en este campo.	Biocarbón de ingeniería Producción Función	Se evaluó la contribución de cada técnica de activación/modificación física y química para optimizar el rendimiento del biocarbón.

Nº	Autor	Metodología / descripción	Variables	Resultados
			uso del medio ambiente	
20	Oginni & Singh, 2020	El biocarbón se preparó a temperaturas de carbonización de 500, 700 y 900 °C.	Biomasa herbácea Biocarbón Temperatura de carbonización	Esto indica que el porcentaje atómico de grupos funcionales de oxígeno disminuye al aumentar la temperatura de carbonización.
21	Gong et al., 2019	Los experimentos se realizaron a varias temperaturas de carbonización (300, 400, 600 y 800 °C) y varias atmósferas de carbonización (gas activador (vapor y CO ₂) y gas inerte (N ₂)) para producir biocarbón.	Preparación de biocarbón Adsorción de nutrientes	La cinética de adsorción está bien explicada por el modelo de pseudo segundo orden. (4) Después de 5 ciclos de biocarbón, la adsorción de nutrientes es > 40% de la primera adsorción.
22	Côrtés et al., 2019	Se utilizaron huesos bovinos (BB) y escamas de pescado (FS) como ancestros alternativos para la producción de biocarbón.	Biocarbón de desechos animales Tratar efluentes red básica 9	La pirólisis BB generó CO ₂ mientras que la pirólisis FS generó H ₂
23	Yaashikaa et al., 2019	Producción de biocarbón a partir de diferentes fuentes de biomasa lignocelulósica (hemicelulosa, celulosa y lignina).	Contaminante toxico Producción de Biocarbón Biomasa lignocelulósica	Dada la amplia disponibilidad de materias primas, el biocarbón muestra un potencial increíble para la gestión eficaz de los contaminantes del agua.
24	Xu et al., 2021	Tomando como ejemplo los desechos de cocina, la temperatura de pirólisis para la producción de biocarbón se incrementó de acuerdo con el riesgo de metales pesados y el	Producción de biocarbón Metales pesados Desperdicios de cocina	Los perfiles XPS Y SEM-EDS señalaron que KWB suprimo el Cd (II) por precipitación, complejación de carboxilo/hidroxilo, intercambio de iones con cationes metálicos y coordinación de electrones π.

Nº	Autor	Metodología / descripción	Variables	Resultados
		rendimiento de remediación de cadmio (II).		
25	Azzi et al., 2021	Un modelo que: i) simule la operación de un sistema de energía agrícola equipado con una unidad de pirólisis; ii) evaluar la producción potencial de biocarbón y su variabilidad bajo diferentes escenarios y planes de demanda energética; iii) calcular el impacto ambiental del ciclo de vida.	Biocarbón en granjas Potencial, variabilidad y desempeño ambiental	El sistema de calefacción de la granja proporciona una exclusión neta de CO2 a través del secuestro de Biocarbono, pero aumenta su impacto en varias otras categorías ambientales.
26	Nkomo et al., 2021	Los residuos fueron pirolizados a 300, 400 y 500 °C y caracterizados por sus propiedades químicas, biológicas y físicas.	Optimización de pirólisis Biocarbón de calidad Heces de mosca	El biocarbón pirolizado a 500 °C se puede utilizar para mejorar los suelos ácidos.
27	Islam et al., 2021	Se investigaron las propiedades físicas, el análisis próximo, el análisis termogravimétrico y el análisis elemental de residuos agrícolas clasificados.	Residuos en energía Conversión de pirólisis	Los desperdicios de llantas y la cascarilla de arroz tuvieron el mayor contenido de cenizas: 4,38 y 19,70 (porcentaje en peso), respectivamente.
28	Rueangsan et al., 2021	Se analizaron cuatro acondicionadores: acondicionador de suelo granular TPI pH11, roca volcánica, fertilizante orgánico granular TPI y ultra dolomita, y se adicionó 50% (p/p) de rizomas.	Bioaceite y biocarbón Rizomas de yuca Pirólisis rápida	los rendimientos de petróleo y gas disminuyeron, mientras que los rendimientos de carbón vegetal aumentaron, produciendo un 57-59 % de biopetróleo, un 14-20 % de gas y un 23-28 % de carbón.

N°	Autor	Metodología / descripción	Variables	Resultados
29	Wijeyawardana et al., 2022	Los reactores de pirólisis se han utilizado para separar cobre, plomo y zinc utilizando biocarbón sintetizado a partir de cáscaras de arroz y aserrín.	Eliminación de Cu, Pb y Zn Agua de lluvia Cáscara de arroz y aserrín	La capacidad máxima de adsorción de carbono de Cu y Zn de la biomasa de cascarilla de arroz fue de 10,27 y 6,48 mg/g, y la total capacidad de adsorción de carbono de la biomasa de aserrín para Pb fue de 17,57 mg/g.
30	Kumar Sakhiya et al., 2020	El biocarbón producido a diferentes temperaturas utiliza la adsorción por lotes.	Paja de arroz Eliminación de cobre Biocarbón	Los resultados óptimos del estudio mostraron que la adsorción de Cu fue a pH = 5, dosis de adsorbente de 0,1 g L ⁻¹ y duración de contacto de 180 min.
31	Katiyar et al., 2021	En este estudio, examinamos sistemáticamente la adsorción de Cu (II) en biocarbón derivado de algas marinas (<i>Ascophyllum nodosum</i>).	Adsorción de cobre Biocarbón de algas Solución acuosa	La eficiencia del medio acuoso CU (II) es del 99%, observándose un capital de adsorción de 223 mg de G-Cu (II) a 700 °C y pH 5.
32	Hoslett et al., 2019	Centrarse en la eliminación de Cu (II) de soluciones acuosas de cobre utilizando carbón activado procedente de la pirólisis de residuos municipales mixtos (MMDM)	Eliminación de cobre Solución acuosa Biocarbón a partir de residuos urbanos	El biocarbón tuvo una eficiencia de adsorción de cobre (4-5 mg/g) utilizando soluciones de Cu con una concentración de menos de 100 mg/l y un pH > 4,5.
33	Godwin et al., 2019	Se revisa la preparación, operación y uso de biocarbón modificado (BC) en el tratamiento y regeneración de aguas residuales.	Iones de metales pesados Alcantarillado Biocarbón modificado	La base BC tiene la función de superficie más alta. Tanto los compuestos de BC modificados con álcali como los compuestos de BC impregnados con nanomateriales son muy útiles para optimizar la adsorción de diversos

Nº	Autor	Metodología / descripción	Variables	Resultados
				contaminantes en las aguas residuales.
34	Nkoh et al., 2022	Evaluación del uso de biocarbón para la mitigación de la contaminación por metales pesados y la mitigación de la toxicidad de metales pesados en las plantas.	Adsorción de metales pesados Riesgo de salud Biocarbón modificado	La remediación de suelos contaminados con metales pesados con biocarbón reduce la ingesta diaria total de metales pesados (12,5 %), la tasa de riesgo (30,0 %) y el riesgo de cáncer (30,6 %).
35	Rangabhashiyam S. & Balasubramanian P., 2019	Evalúa el uso de varios precursores de biomasa lignocelulósica para la producción de biocarbón.	Biomasa lignocelulósica Producción de biocarbón Aplicación de aguas residuales	Mayor investigación sobre la investigación sostenible del biocarbón, el proceso de adsorción continua, la gestión del biocarbón residual y utilización a escala industrial.
36	Wiśniewska & Nowicki, 2019	Eliminación simultánea de macromoléculas de poli (ácido acrílico)-PAA e iones de plomo (II) de soluciones mixtas.	Eliminación de plomo Biocarbón de Mazorca de maíz y cáscara de maní	El biocarbón microporoso/mesoporoso sería un adsorbente económico y eficiente para la eliminación simultánea de macromoléculas poliméricas y iones de metales pesados de medios líquidos.
37	Sajjadi et al., 2021	Síntesis de compuestos de biocarbón bicapa magnetizados/funcionalizados mediante pirólisis híbrida seguida de magnetización.	Eliminación de metales pesados Biocarbón magnetizado	El aclaramiento de Pb casi completo (91 %) se determinó a través de BC magnético y el adsorbente se pudo eliminar fácilmente utilizando un imán de neodimio.
38	Gęca et al., 2022	El biocarbón se fabrica mediante pirólisis de biomasa, a través de la cual el carbón activado es biocarbón químicamente activado o no.	Biocarbón Adsorción Carbón activado	Los sistemas de adsorción explicados se han dividido en aquellos compuestos por: dos o más iones inorgánicos, dos o más

N°	Autor	Metodología / descripción	Variables	Resultados
				compuestos orgánicos y ambos (inorgánicos y orgánicos).
39	Shamsollahi & Partovinia, 2019	Proporciona una descripción general de las principales características científicas relacionadas con el uso de cascarilla de arroz para la eliminación de contaminantes.	Cáscara de arroz Eliminación de contaminantes pretratamiento	La cáscara de arroz tiene un buen potencial para inmovilizar biocatalizadores.
40	Azadi et al., 2018.	Evaluamos estadísticamente nuestro modelo cuadrático obtenido por análisis de varianza, prueba y prueba residual.	Cáscara de arroz Adsorción continua	En condiciones óptimas, la eficiencia de eliminación de iones Ni (II) es del 63,57 %.

De acuerdo con la revisión de los antecedentes de la investigación se obtienen los siguientes conceptos básicos que fueron utilizados en la elaboración del presente trabajo.

El biocarbón es un producto obtenido por pirólisis de biomasa extraída térmicamente en un sistema cerrado o un sistema con condiciones de aire cerrado entre 350°C y 700°C (Adesemuyi et al. 2020). Además, se logran muchos beneficios, como el secuestro de carbono, la gestión de residuos, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la producción de energía, el tratamiento y fertilización de suelos y la adsorción de contaminantes (Ndoung et al., 2021).

Asimismo la capacidad de adsorción de contaminantes del biocarbón no modificado fue menor que la de algunos biocarbón modificados. Actualmente, los estudios científicos se han dirigido a la modificación del biocarbón utilizando nuevas estructuras, superficies mejoradas y métodos de activación para mejorar la eficiencia de adsorción para la eliminación de contaminantes de las aguas residuales, que incluyen: Activación física, donde el biocarbón mejora un área de superficie específica, las propiedades de los poros, la estructura de biocarbón, así como el hecho de que en su mayoría son simples, económicos y no se ven afectados por los productos químicos. La activación química mostró una mejor eficacia en la formación de microporos de biocarbón, disminución de minerales, activación de materiales carbonosos y aumento de grupos funcionales superficiales, proporcionando propiedades de intercambio aniónico y catiónico (Rangabhashiyam S. & Balasubramanian P., 2019).

La viabilidad económica de convertir el carbono de la biomasa en biocarbón está determinada por los mercados de carbono como el CO₂, los precios de compensación y los precios de adsorción de carbono. Los precios están entre \$40 y \$80 por tonelada métrica de dióxido de carbono en 2020 y seguirán aumentando. Además, el requisito de energía promedio para la producción de biocarbón (6,1 MJ kg⁻¹) es unas 15 veces menor que para la producción de carbón activado (97 MJ kg⁻¹).

Además, la producción de biocarbón genera GEI negativos netos (-0,9 kg CO₂ kg eq. -1), mientras que en la elaboración de carbón activado se adquirieron 6,6 kg CO₂ kg

eq. -1. Estas claras ventajas del biocarbón podrían convertirlo en un medio ambiental viable si la procesabilidad del biocarbón se puede optimizar para que sea comparable al carbón activado.(Kwon et al., 2020)

El proceso de pirólisis es una reacción endotérmica que transforma la biomasa en 3 productos: biocarbón, un producto sólido, un vapor condensable llamado bioaceite y un producto gaseoso no condensable. El producto sólido se compone principalmente de carbono. En la pirólisis se pueden controlar determinados parámetros, como la temperatura de reacción, los tiempos de residencia del vapor y la velocidad de calentamiento de la biomasa. Hay dos tipos de pirólisis, se clasifican en: pirólisis lenta y pirólisis rápida (Barry et al., 2019)

Pirólisis rápida: la pirólisis puede licuar biomasa sólida en bioaceite líquido, que tiene un gran potencial para el uso de energía. Las condiciones de pirólisis rápida se caracterizan por velocidades de calentamiento de gránulos de biomasa rápidas (>100-C/min) y temperatura de procesamiento de pirólisis moderada (400-600-C). Pirólisis lenta: la velocidad de calentamiento es mucho más baja que 5-7-C/min y el tiempo de residencia es más largo, más de 1 hora.(Yaashikaa et al., 2020).

El biocarbón hecho a alta temperatura (alrededor de 600°C-700°C) tiene menos grupos funcionales H y O debido a la deshidratación y la biomasa, pero tiene diversas propiedades aromáticas, buena organización de la capa C y bajos de intercambio iónico relativamente bajos. El biocarbón hecho a una temperatura más baja (alrededor de 300 °C a 400 °C) tiene diversas propiedades orgánicas, incluidas estructuras alifáticas y similares a la celulosa, y contiene más grupos funcionales CH y C=C. Es esta composición química y física compleja y heterogénea del biocarbón la que proporciona un excelente rendimiento para la purificación de contaminantes por adsorción.

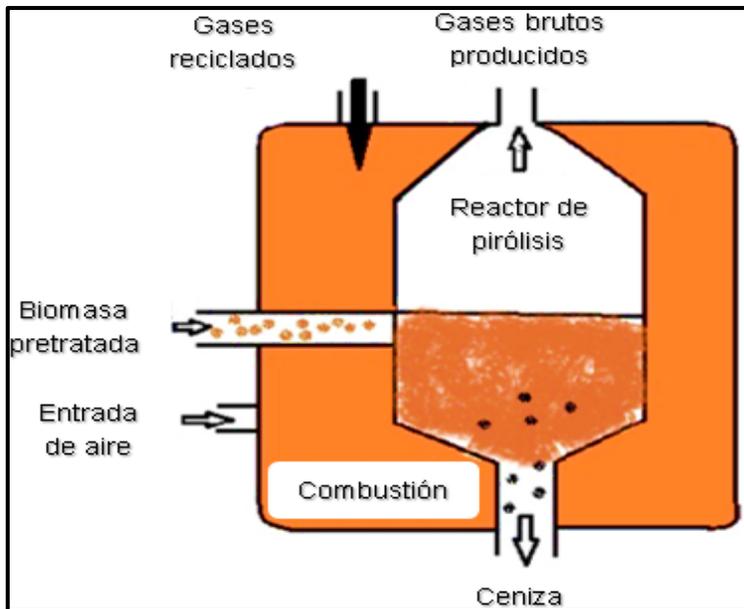


Figura 1: Mecanismo de pirólisis

Fuente: Yaashikaa et al., 2020

Entre los tipos de biomasa, los residuos de pesticidas son la materia prima más utilizada para la producción de biocarbón. Grandes cantidades de residuos de cultivos se producen como subproducto de la producción de cultivos a gran escala. En India, la cosecha de producción anual de biomasa residual es de unas 686 toneladas.(Rangabhashiyam S. & Balasubramanian P., 2019) Casi toda la biomasa agrícola consiste en lignocelulosa, que contiene diversos grados de celulosa, hemicelulosa, lignina y cenizas inorgánicas. La descomposición térmica suele comenzar a los 340, 240 y 370 °C. Además, la tasa de degradación térmica indica que las propiedades y el rendimiento del biocarbón dependen del contenido relativo de cada componente en la biomasa. En general, tener un alto contenido de lignina tiende a aumentar el rendimiento del biocarbón, ya que no se descompone por completo en los rangos típicos de temperatura pirolítica. El biocarbón, por su parte, elaborado a partir de biomasa con un alto contenido en celulosa y hemicelulosa (residuos de la cosecha), tiene una alta concentración de compuestos volátiles y nutrientes.(Kwon et al., 2020)

Tabla 2: Composición química de la celulosa, hemicelulosa y lignina.

Residuo de biomasa	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)
Bambú	26–43	15–26	21–31
Paja de cebada	30–35	24–29	14–15
Yute de fibra basta	45–53	18–21	21–26
Elote	35–45	35–45	5–15
Médula de coco	29	15	31
Desperdicio de algodón	80–95	5–20	–
Esparto	33–38	27–32	17–19
Paja de lino	29	27	22
Cáscara de maní	36	19	30
Césped	30–40	35–50	10–25
Corteza de madera dura	22–40	20–38	30–55
Cáscara de mijo	33	27	14
Cáscara de nuez	25–35	25–30	30–40
Roble	43	22	35
Hueso de oliva	30–35	20–30	20–25
Paja de avena	31–37	27–38	16–19
Hierba de huerto	32	40	5
Pino	46	24	27
Madera de álamo	35	17	26
Paja de arroz	25–35	20–30	10–15
Paja de centeno	33–35	27–30	16–19
Bagazo de caña de azúcar	32–44	25–35	19–24
Cambiar hierba	45	31	12
Madera subabul	40	24	25
Bagazo de sorgo dulce	45	25	18
Paja de trigo	30–35	26–32	16–21

Fuente: Rangabhashiyam S. & Balasubramanian P., 2019

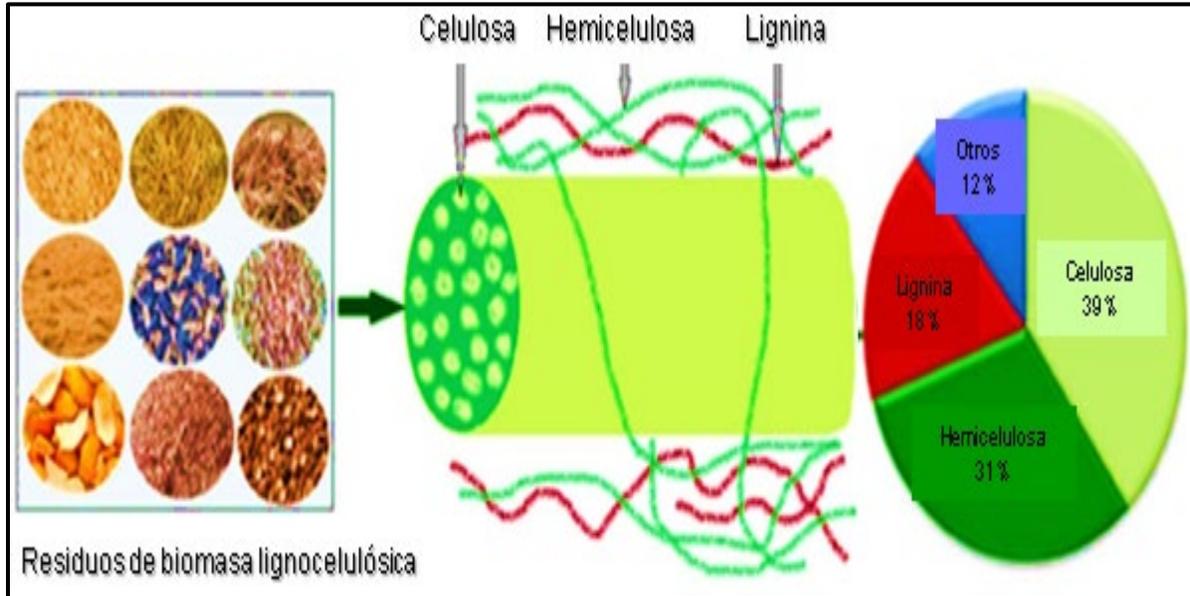


Figura 2: Estructura de biomasa lignocelulósica

Fuente: Rangabhashiyam S. & Balasubramanian P., 2019

Tabla 3: Características de la biomasa agrícola.

Biomasa lignocelulósica					
Especie	Humedad contenida (% en peso)	Volátil (% en peso)	Carbón fijado (% en peso)	Ceniza (% en peso)	Rendimiento de biocarbón
Lignina	7.0	58.4	31.9	2.7	50% peso a 700 °C
Celulosa	7.0	87.5	4.67	0.9	20% peso a 700 °C
Cáscara de arroz	6.1	58.2	19.8	15.9	28% peso a 700 °C
Paja de arroz	6.9	63.4	19.7	9.9	20% peso a 700 °C
Paja de trigo	Sin datos	76.4	16.1	7.1	Sin datos
Residuos de aceituna	5.9	80.1	19.9	7.6	Sin datos
Tallo de pimiento rojo	4.3	82.5	11.3	1.5	21% peso a 650 °C
Tallo de maíz	5.4	73.8	15	5.8	24% peso a 600 °C
Cáscara de coco	7.9	71.5	19.5	1.3	31% peso a 500 °C
Cáscara de nuez	4.5	79.2	15.2	1.1	67% peso a 300 °C
Madera de pino	6.9	74.8	17.8	0.4	25% peso a 700 °C

Biomasa lignocelulósica					
Especie	Humedad contenida (% en peso)	Volátil (% en peso)	Carbón fijado (% en peso)	Ceniza (% en peso)	Rendimiento de biocarbón
Aserrín de bambú	9.1	74.5	14.7	1.7	25% peso a 700 °C
Cáscara de semilla girasol	6.1	79.8	18.1	2.1	25% peso a 700 °C
Pellet de madera blanca	6.7	84.3	15.7	0.8	Sin datos

Fuente: Kwon et al., 2020

La cinética de adsorción de metales por biocarbón ha sido discutida previamente en detalle por varios autores y, por lo tanto, se desarrollaron varios modelos para estimar la cinética de adsorción en biocarbón, que se clasifican ampliamente en modelos basados en difusión que describen la velocidad de reacción y el transporte difusivo. El modelo PTE en el entorno modificado y el modelo basado en respuestas. La difusión de PTE en biocarbón implica la difusión de líquidos a granel, seguida de la difusión de líquidos a partir de adsorbentes porosos y la difusión entre partículas. Los que se utilizan con frecuencia incluyen el modelo de Langmuir ((1), (2)), los modelos de ecuaciones de Freundlich (3), la fórmula de Langmuir-Freundlich (4), la fórmula del modelo de difusión intrapartícula (5), la fórmula de Elovich (6) , la fórmula de pseudoprimer orden. (7) y la forma del pseudocuadrante (8)(Khan et al., 2020).

$$S = \frac{S_{max}KC}{1 + KC} \quad (1)$$

$$S = \frac{S_{max1}K_1C}{1 + K_1C} + \frac{S_{max2}K_2C}{1 + K_2C} \quad (2)$$

$$S = K_f C^n \quad (3)$$

$$S = \frac{S_{max} (KC)^n}{1 + (KC)^n} \quad (4)$$

$$q_t = k_1 t^{1/2} + W \quad (5)$$

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha \beta t + 1) \quad (6)$$

$$q_t = q_e(1 - e^{-K_1 t}) \quad (7)$$

$$q_t = \frac{k_2 q_e t}{1 + k_2 q_e t} \quad (8)$$

Los metales pesados son los contaminantes presentes en la escorrentía de aguas pluviales debido a su toxicidad, bioacumulación y no degradabilidad. Cabe señalar que algunos metales pesados son oligoelementos necesarios para la vida, y una acumulación excesiva puede causar una intoxicación grave. (Nkoh et al. 2022) Los metales pesados se acumulan en los tejidos de plantas y animales cuando se exponen al agua y al suelo contaminado. (Ndoung et al. 2021) Los metales pesados, cuando se ingieren, hacen que se acidifiquen en el estómago y se oxiden, siendo que esto es mucho más tóxico que en su forma natural. (Wijeyawardana et al., 2022).

Los metales son elementos químicos con tres propiedades generales: son buenos conductores del calor y la electricidad, pueden formar cationes y se unen a compuestos no metálicos a través de enlaces iónicos (Sajjadi et al. 2021). El término metal pesado se ha utilizado en la medicina clínica durante mucho tiempo, pero los químicos critican el término por la falta de una definición precisa o datos científicos (Islam et al., 2021). En toxicología clínica, dichos metales basados en la secuencia de energía nuclear generalmente se consideran un concepto de metal "tóxico" y pueden causar envenenamiento, desde un punto de vista clínico, el plomo y el mercurio son los metales más importantes asociados con el envenenamiento humano (Kazemi et al., 2020).

Los metaloides son elementos químicos con propiedades intermedias entre los metales y los no metales (Sun et al. 2019). Aunque no existe una definición precisa,

los metaloides suelen tener dos propiedades generales: son semiconductores de electricidad y forman óxidos anfóteros (Kumar et al., 2020). En orden ascendente de peso atómico, los siguientes elementos se consideran metaloides: boro, silicio, germanio, arsénico, antimonio, telurio y polonio; el arsénico es el metaloide más relevante clínicamente (Komkiene y Baltreinaite, 2016).

Las aguas cuya calidad se ha visto afectada negativamente por la influencia antrópica son denominadas aguas residuales. (Wu et al. 2021) Estas aguas no tienen un valor inmediato, ni por el uso que se les dio anteriormente, por su calidad, cantidad incluso en el momento en que estuvieron disponibles (Qayyum et al., 2020). Así observamos que son aguas con impurezas provenientes de vertidos de diferente origen como: industriales o urbanos. (Zhou et al. 2019) Los metales pesados son muy solubles en estas aguas, en ellas encontramos los principales: cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cadmio. Se consideran potencialmente devastadores para la salud humana y el ecosistema, por lo que es tan importante reducir su concentración en el suelo, el aire y el agua (Sajjadi et al., 2021).

Propiedades Físicas del Agua. Desde un punto de vista físico, las propiedades o características del agua son:

- Su densidad es de 1 g/cm^3 .
- Amplio rango de temperaturas en fase líquida (0-100°C): su punto de congelación es de 0°C, mientras que su punto de ebullición es de 100°C al nivel del mar.
- Alta constante dieléctrica: permite la disociación de la mayoría de las sales inorgánicas en su interior y permite que las soluciones conduzcan la electricidad.
- Alto calor específico y calor de vaporización: esto significa que el calor liberado en las reacciones bioquímicas exotérmicas se adsorbe y/o elimina fácilmente con poca variación en la temperatura del individuo.

Propiedades químicas del agua. En cuanto a las propiedades químicas del agua, las principales son:

- Su fórmula química es H_2O : un átomo de oxígeno unido a dos átomos de hidrógeno.

- La molécula de agua tiene una carga eléctrica positiva por un lado y una carga eléctrica negativa por el otro, propiedad que hace que sus moléculas se unan entre sí.
- Tienen un carácter dipolar: las moléculas de agua se orientan alrededor de las partículas polares o iónicas, formando una capa de solvatación. Esto da como resultado una modificación de las propiedades de estas partículas.
- Contiene minerales y nutrientes de gran valor.
- El agua pura tiene un pH neutro de 7: esto significa que no es ni ácida ni básica.
- Reacciona con óxidos ácidos, óxidos básicos y metales.
- Cuando el agua y las sales se unen, se forman hidratos.

La bioeconomía circular se caracteriza por la mejora del uso de la biomasa producida por la ciencia bioeconómica pertinente como una producción basada en el conocimiento y el uso de procesos, recursos y métodos biológicos para lograr un desarrollo sostenible en todos los sectores de la economía, que también es la base para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y también ayuda a reducir los costes de eliminación de residuos. Proporciona una forma de promover la economía circular (EC) a través de enfoques creativos y enfoques para abordar la agricultura (Yaashikaa et al., 2020).

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

La presente investigación buscó aportar conocimiento científico sobre el uso de biocarbón producido a partir de residuos agrícolas para la adsorción de metales pesados en aguas residuales. Esto dio una mejor visión de la gran oportunidad que ofrecen los biocarbonos, tanto para reducir los residuos agrícolas como para adsorber contaminantes que causan daños al ecosistema y a la salud humana; Asimismo, esta investigación nos permitió ver la gran importancia que tiene este producto para generar investigaciones con mayores avances, donde se aprovechará todo su potencial para ser aplicado en diferentes métodos de mejoramiento de aguas residuales.

La investigación que se realizó es del tipo de revisión bibliográfica, porque analiza y discute artículos e informes, generalmente científicos y académicos, publicados en o sobre un área del conocimiento. Los informes científicos pueden ser de carácter empírico, teórico, crítico, analítico o metodológico (Yaashikaa et al., 2019)

El enfoque del trabajo es cualitativo, analiza los métodos, técnicas e interpreta los estudios por medio de revisiones bibliográficas; busca información de manera ordenada, que tiene como objetivo recopilar información empírica de diferentes fuentes y estudios. También se discutieron diferentes fuentes de materias primas de biomasa lignocelulósica y diferentes enfoques para la producción de biocarbón y procedimientos de modificación. Estudios recientes muestran que el biocarbón es eficiente para adsorber contaminantes de aguas residuales y los mecanismos involucrados (Rangabhashiyam S. & Balasubramanian P., 2019).

3.2 Categorías y subcategorías y matriz de categorización apriorística

Tabla 4: Matriz de Categorización Apriorística

Objetivo General	Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	subcategoría	Criterios	
Analizar la adsorción de los metales pesados, presentes en aguas residuales industriales, utilizando biocarbón, elaborado a partir de residuos agrícolas	Analizar la relación entre los residuos agrícolas más utilizados y las características del biocarbón.	¿Cuáles son los residuos agrícolas más utilizados y qué relación tiene con las características del biocarbón?	Origen de la actividad agrícola	Residuos agrícolas	<ul style="list-style-type: none"> • Bambú • médula de coco • cáscara de maní • corteza de madera dura • bagazo de caña de azúcar • lignina • Cáscara de arroz 	
	Analizar los tipos de metales pesados adsorbidos por biocarbón a base de residuos agrícolas.	¿Cuáles son los tipos de metales pesados adsorbidos por el biocarbón a base de residuos agrícolas?	tipos de metales	<ul style="list-style-type: none"> • Metales • Metaloides 	<ul style="list-style-type: none"> • Cadmio • Mercurio • Zinc • Cromo 	
					<ul style="list-style-type: none"> • Boro • Arsénico • Silicio • Telurio 	
	Analizar las características finales de las aguas residuales tras la aplicación de biocarbón.	¿Cuáles son las características finales de las aguas residuales tras la aplicación de biocarbón?	aguas residuales industriales		metales contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> • % Guiar • %Cadmio • %Mercurio • %Arsénico • %Zinc • %Níquel • %Cromo
					Propiedades fisicoquímicas del agua.	<ul style="list-style-type: none"> • La temperatura • pH • Color

3.3 Escenario de estudio

En la investigación, el escenario fueron las descargas de aguas residuales de las industrias, las cuales son producidas por la operación de actividades mineras que incluyeron el uso de residuos químicos de metales y otros agentes que generaron aguas residuales contaminantes. Así como también existen estudios realizados en laboratorios donde se simula con una solución de agua contaminada para realizar el examen del estudio de adsorción de metales pesados.

3.4 Participantes

Para la presente investigación se realizó el material recolectado a través de una revisión sistemática, revistas indexadas y/o científicas, estas fueron encontradas en la plataforma Sciencedirect desde el año 2015 al 2022.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica utilizada es el análisis documental, que es el conjunto de operaciones que tiene como finalidad detallar y presentar los documentos de manera sistemática y ordenada. Contiene el proceso analítico-sintético, que incluye revisión de literatura, traducción, clasificación, redacción de reseñas, entre otros.(Islam et al., 2021)

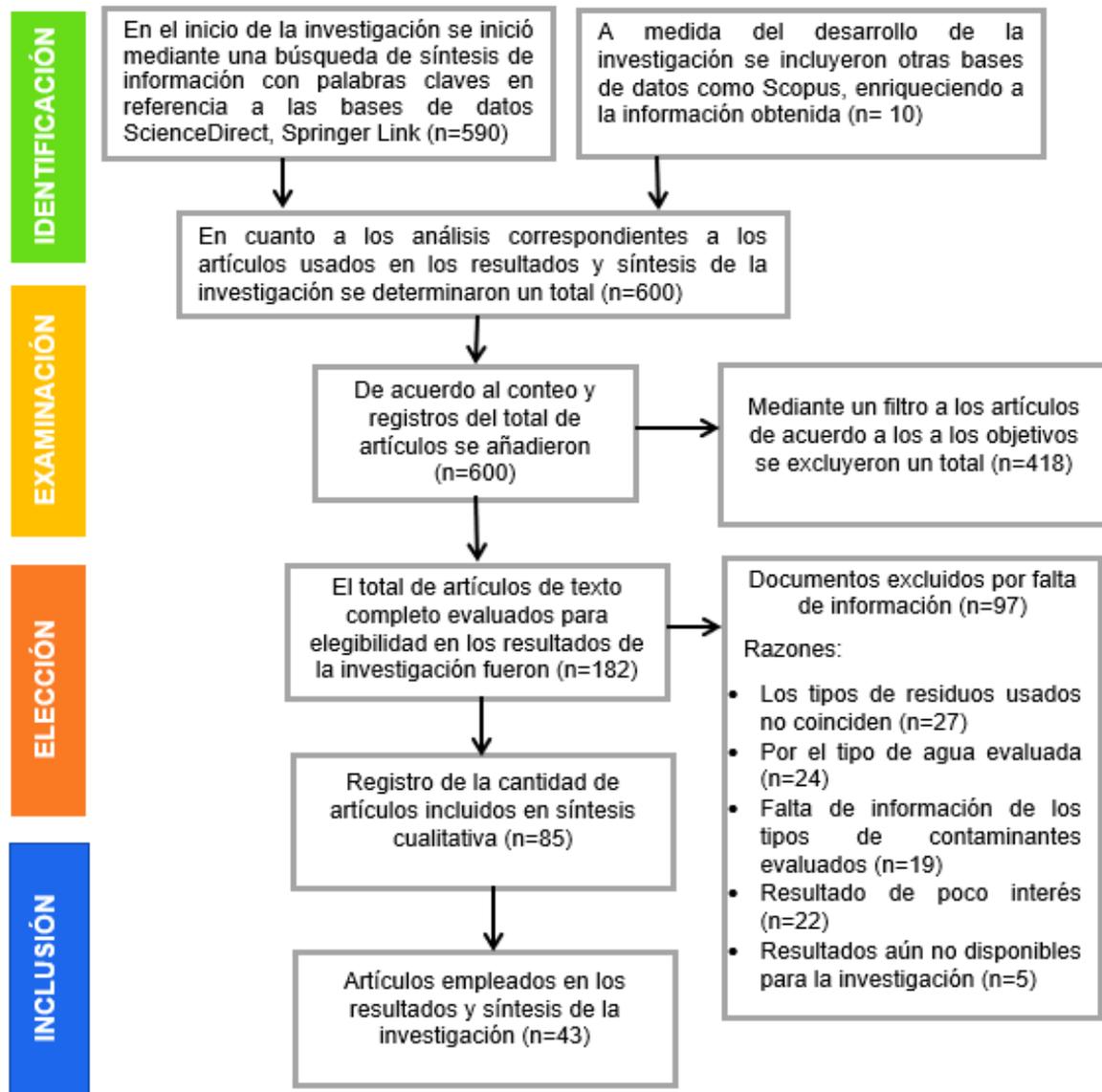
En este estudio se investiga la metodología de los diferentes autores en relación a las variables del tema; y nos enfocamos en identificar, seleccionar y posteriormente evaluar los estudios correspondientes al proyecto a tratar. No se facilitará directamente la recogida de información, sino que se analizarán sus publicaciones en páginas científicas.

3.6 Procedimiento

Lo primero que se hizo fue revisar fuentes de información científica donde se buscaron artículos científicos con palabras clave como producción de biochar, características y propiedades del biochar, técnicas de mejoramiento de biochar,

método pirolítico para generación de biochar, adsorción de metales pesados por biochar, tratamiento de aguas residuales en biocarbón. En estas búsquedas se encontraron artículos científicos, cabe señalar que la mayoría de estos artículos se encuentran en el idioma inglés, por lo que se tuvo que realizar las traducciones correspondientes para poder tener una mejor comprensión de los temas investigados.

Figura 3: Diagrama de recopilación de artículos en la sistematización.



3.7 Rigor científico

En la investigación cualitativa, el rigor pertenece al proceso válido y confiable. Es de suma importancia investigar los datos, analizar la información y sus posibles relaciones, ver los datos obtenidos desde diferentes puntos de vista para su mejor comprensión y de esta manera se pueda llegar a una mejor conclusión.

Para evitar el cruce de ideas u opiniones y lograr la independencia de una investigación, todos los datos analizados deben ser interpretados y tomados en cuenta antes de emitir sus conclusiones de cada investigación analizada.(Azzi et al., 2021)

Con base en el contexto antes descrito, se realizó una búsqueda informada sobre la obtención de biocarbón a partir de residuos agrícolas para la adsorción de metales pesados en aguas residuales industriales, que garantice que se minimice el impacto negativo generado en el medio ambiente.

Del apoyo técnico de los autores antes mencionados y del proceso llevado a cabo en esta investigación, tenemos la garantía de que estamos cumpliendo con los parámetros de calidad necesarios para promover el conocimiento.

Para esta investigación, la confirmación indica que existen varios autores realizando las investigaciones correspondientes en diferentes escenarios y contextos que tienen resultados confiables y creíbles.

3.8 Método de análisis de datos

El análisis que se pretende realizar estará encaminado al desarrollo señalado en las categorías, fuente de actividad agrícola y aguas residuales industriales, teniendo en un campo específico las subcategorías que se describen en la matriz de categorización (Tabla 4).

En la primera categoría se realizó la búsqueda del impacto que genera la cantidad de residuos agrícolas y su mala disposición; y el proceso para generar un biocarbón con mejores características y propiedades.

En la segunda categoría, se determinó la capacidad de adsorción del biocarbón con diferentes metales pesados y su comportamiento con ellos, con el fin de encontrar la relación de la adsorción de metales pesados con residuos agrícola.

La evaluación se llevó a cabo utilizando la metodología que incluye grupos por categoría, teniendo en cuenta que las anteriores se basan en sus objetivos específicos, recopilando la información de los artículos, a partir de los parámetros que permitan su procesamiento de acuerdo con el objeto de la investigación. Lo que incluirá el análisis de los trabajos contemplados para la extracción de datos fundamentales que permitan obtener un aspecto concluyente.

3.9 Aspectos éticos

Cabe mencionar que para el presente trabajo la ética y la honestidad son parte importante de este trabajo, nos permitirá mostrar la autenticidad y veracidad de la información, de acuerdo a la política antiplagio del artículo 15 del código de ética en investigación de la Universidad César Vallejo, aceptado en resolución de Consejo Universitario N° 0126-2017-UCV emitida el 23 de mayo de 2017.7

A partir de la recopilación de la información de diferentes investigaciones elaboradas por expertos de los temas relacionados con el presente trabajo, esta fue analizada e interpretada citando y poniendo las referencias de acuerdo a la norma ISO 690-2, esto con la finalidad de respetar la autoría de los trabajos de investigación. revisados.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el desarrollo de la investigación en relación a los residuos agrícolas utilizados en la elaboración de Biocarbón con la finalidad de adsorber los metales pesados que se encontraban en las aguas residuales domésticas, Tabla 5

Tabla 5: Tipos de desechos agrícolas

Desechos agrícolas				
Tipo de desechos	Temperatura	Tiempo	Resultados	Fuente
Hierba elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> S.)	Se consideró la temperatura de 400°C y 600°C respectivamente para obtener biocarbón.	6 horas	La aplicación de biocarbón demostró la eliminación de iones de nitrato hasta 140,7 y 237,5 mg/g de aguas residuales industriales.	Adesyumi et al. 2020
cáscara de arroz	25°C	24 horas	La eficiencia de eliminación de los iones de Ni (II) es del 63,57 % mediante la aplicación de biocarbón a base de cáscara de arroz.	Azadi et al. 2018
aguas residuales lodo	70°C	3 horas	Los beneficios que se obtuvieron por la pirolisis lenta del biocarbón se redujeron del 51,6	Barry et al. 2019

Desechos agrícolas				
Tipo de desechos	Temperatura	Tiempo	Resultados	Fuente
			% en peso a 300 °C al 32 % en peso a 500 °C.	
maní caparazón	50°C	2 horas	La tasa de exclusión de cadmio del biocarbón de cáscara de maní fue del 99,60 % en los tres límites máximos de contaminación.	Cobina et al. 2018
Hueso bovino y escamas de pescado	60°C	48 horas	Obtuvieron capacidades de adsorción de 50 mg y remoción de colorante en un 90% del total acumulado en el agua.	Cortez et al 2019
aguas residuales lodo	430°C	72 horas	Durante la pirólisis parcial del carbón, el contenido total de C, H, N y S disminuyó (49,87%).	Fristak et al. 2018
madera biomasa	600°C y 700°C	72 horas	Lo que se mostró como resultado del biocarbón modificado con metanol aumentó la capacidad de adsorción en aprox. 45,6% en 12	Godwin et al. 2019

Desechos agrícolas				
Tipo de desechos	Temperatura	Tiempo	Resultados	Fuente
			h y el tiempo de equilibrio en 17,2% en comparación con el biocarbón original.	
paja de arroz	600°C	72 horas	Los poros de biocarbón con la mayor efectividad de adsorción de nutrientes están entre 0,6 y 2 nm.	Gong et al. 2019
camelia sucursales sinensis .	120°C a 280°C	2 horas	Los resultados señalaron que el contenido de esterilización determinado mediante análisis básico fue de hasta 6,18%.	Guo et al. 2020
Sólido urbano desperdicio	30°C	5 horas	Los residuos municipales mixtos (MMDM) eliminan el Cu en concentraciones >0,005 mol/l.	Hoslet et al. 2019
Paja, paja de trigo, cascarilla de arroz, palos de yute y bagazo.	250°C y 450°C	8 horas	Eliminación del 85,1% de metales en aguas industriales.	islam et al. 2021

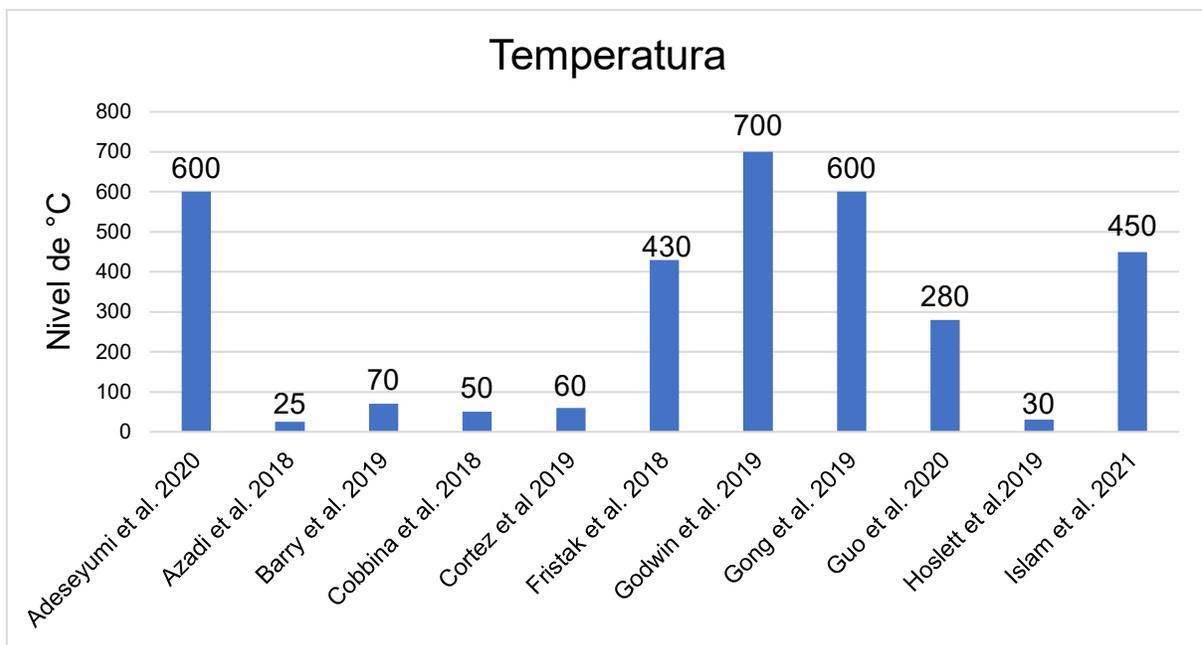


Figura 4: Temperatura utilizada para la obtención de Biocarbón.

De acuerdo con la Figura 4, que revela la temperatura utilizada por cada investigador, en la que se destaca la mayor eliminación de contaminantes debido a que estos residuos usados son sometidos a altas temperaturas. Tal es el caso de Adeseyumi et al. (2020), quienes utilizaron pasto elefante para la producción de biocarbón y una temperatura de 400° a 600°C para eliminar hasta 140,7 y 237,5 mg/g de iones de nitrato de las aguas residuales industriales. Este también es el caso de la investigación realizada por Fristak et al. (2018), quienes utilizaron lodos de depuradora como insumo para la producción de biocarbón a una temperatura de 430°C, lograron reducir el alto contenido de carbono en un 49,87% en 72 horas. A diferencia del estudio realizado por Azadi et al. 2018 que, a base de cascarilla de arroz, elaboro biocarbón y sometido a una temperatura de 25°C logra eliminar el 63,57% de Níquel. Así también Hoslett et al. (2019), utilizo residuos sólidos urbanos y una temperatura de 30°C, logrando eliminar Cu en concentraciones >0.005 mol/l en 5 horas.

En la investigación de Barry et al. (2019), indica que utilizó lodos de depuradora para producir biocarbón y que a una temperatura de 70 °C los rendimientos del biocarbón de pirólisis lenta disminuyeron un 51,6 % en peso. Un estudio similar tiene Cobbina et

al. (2018), que a base de cáscara de maní se elaboró biocarbón y bajo una temperatura de 50°C se logró eliminar el 99,60% de cadmio después de 2 horas, demostrando así la eficiencia de la cáscara de maní como purificador de contaminantes. Asimismo, Cortez et al. (2019), señala que utilizó huesos de bovino y escamas de pescado como adsorbente, indica que utilizó 60°C de temperatura y luego de 48°C de tratamiento se logró la remoción del 90% del colorante acumulado en el agua, esto demuestra que dichos insumos son efectivos para la remoción de contaminantes, pero lleva más tiempo alcanzar una alta eficiencia.

En el estudio de Godwin et al. (2019), se utilizó biomasa de madera como insumo para la producción de biocarbón, también señalan que utilizaron temperaturas que oscilaron entre 600°C y 700°C, luego de 72 horas mostró una mejora de aproximadamente 45.6% en la capacidad de adsorción. en 12 h y 17,2 % en tiempo de equilibrio en comparación con el biocarbón prístino. Un estudio similar tiene Gong et al. (2019), quienes utilizaron paja de arroz para hacer biocarbón, sometieron estos contaminantes a una temperatura de 600°C, logrando un mejor efecto de adsorción de nutrientes entre 0.6 y 2 nm, luego de un tratamiento de 72 horas.

Por último, en un estudio de Guo et al. (2020) encontraron que usaron una temperatura de 120° a 280°C y un tiempo de procesamiento de 2 h para demostrar que el mayor contenido de N determinado por análisis elemental podría llegar a 6.18% en el biocarbón obtenido de las ramas. del árbol del té. Asimismo, Islam et al. (2021), indica que a base de paja de arroz , cascarilla de arroz, paja de trigo, bagazo de caña de azúcar y palo de yute, en un tratamiento de 8 horas y con temperaturas de 250° a 450°C, se logró eliminar el 85.1% de metales en aguas industriales. Cabe recalcar que la eficiencia de cada biocarbón depende del ambiente en el que se encuentra y en el que se aplica.

De acuerdo al objetivo específico 2, los resultados obtenidos por cada investigador se dan a conocer en la Tabla 6, en la cual se indica cada metal pesado removido y cuáles fueron los residuos vegetales utilizados para la elaboración de cada biocarbón, con el fin de lograr un alto porcentaje de remoción.

Tabla 6: Metales pesados adsorbidos por biocarbón

Metales Pesados	Residuos utilizados	% de remoción	Fuente:
Zn (II), Pb (II), Cu (II), Cd (II) y Cr (VI).	Paja de trigo, paja de arroz, salvado de arroz, cascarilla de arroz y paja de maíz.	Consiguió eliminar hasta el 90% de los metales pesados, de una concentración de 450 mg/g a 45.2 mg/g en un tratamiento de 32 días.	Yang et al. 2019
Cd (II) y Cu (II)	cama de aves de corral; brote de alfalfa; brote de guisante; brote de canola; pajas de trigo; y madera de goma	El biocarbón de alfalfa tuvo la mejor adsorción de Langmuir Cd (II) (6,28 mg/g) y la mejor adsorción de Cu (II) (18,0 mg/g) a pH 5,5 tuvo el biocarbón de guisantes. La capacidad de adsorción de todos los biocharres para Cu (II) fue mayor que para Cd (II).	Bandara et al. 2020
Pb(II)	tallo de maíz	En el que la capacidad máxima de adsorción de Pb 2+ (Q m) de CSB450 es de 49,70 mg/g en condiciones óptimas.	Liu et al. 2019

Metales Pesados	Residuos utilizados	% de remoción	Fuente:
Pb (II)	Aserrín y conchas.	Biochar mostró una alta adsorción de plomo (II) hasta el 80%.	Ambaye et al. 2020
Cr (VI)	granos de maíz y tallo	Eliminación del 58% del cromo presente en una superficie.	Azzi et al. 2021
Mercurio (Hg 2+), cadmio (Cd 2+), y plomo (Pb 2+)	cáscara de maní	La efectividad de eliminación de GB350 fue del 100 % para Pb2+ y Hg 2+ mientras que Cd 2+ mostró 99,05, 99,46 y 99,69 %.	Cobina et al. 2018
Pb2+ y Cd2+	caragana korshinsky	El equilibrio de adsorción de Pb2 y Cd2 se alcanzó en 3 h, y las cantidades totales de adsorción alcanzaron 220,94 mg g-1 y 42,43 mg g-1, respectivamente.	Wang et al. 2020
Pb (II)	Mazorcas de maíz y cáscaras de maní	La adsorción máxima de PAA y Pb (II) alcanza aproximadamente 200 y 400 mg/g, respectivamente.	Wisniewska & Nowicki 2019
Cd y Cu	tallo de tabaco	La capacidad de almacenamiento de Cu2+ y Cd2+ alcanzó el equilibrio en torno a 110, 80 y 40 mg/gy 160, 120 y 50 mg/g, respectivamente.	Zhou et al. 2019

Metales Pesados	Residuos utilizados	% de remoción	Fuente:
CD (II)	cenizas de residuos de cocina	La mejor adsorción de biocarbón en equilibrio para Cd (II) se clasificó como: 23,6 mg/g (400 °C), 18,2 mg/g (300 °C), 49,0 mg/g (600 °C) y 46,5 mg/g (500 °C).	Xu et al. 2021

En Tabla 6 se detallaron a los metales pesados adsorbidos por el biochar, y los residuos utilizados por cada investigador para lograr una alta remoción de metales pesados presentes en aguas contaminadas. En la investigación de Yang et al. (2019), indica que utilizó paja de trigo, paja de arroz, salvado de arroz, cascarilla de arroz y paja de maíz, las cuales lograron remover hasta un 90% de Pb (II), Cd (II), Cu (II), Zn (II) y Cr (VI) en un tratamiento de 32 días. Del mismo modo, Bandara et al. 2020 marcó la producción de biocarbón a partir de estiércol avícola; brotes de alfalfa; brotes de guisantes; brotes de colza; paja de trigo; y madera de achicoria, lo que indica que el biocarbón de alfalfa tenía la mayor capacidad de adsorción de Langmuir (6,28 mg/g) para Cd (II), guisantes. Quien tuvo la mayor capacidad de adsorción de Cu (II) (18,0 mg/g) a pH 5,5 fue el biocarbón derivado. La capacidad de adsorción de todos los biocharres para Cu (II) fue mayor que para Cd (II). A diferencia de Liu et al. (2019), quienes solo utilizaron tallo de maíz como insumo para la producción de biocarbón, en el que la capacidad máxima de adsorción de Pb^{2+} (Q_m) de CSB450 es de 49,70 mg / g⁻¹ en condiciones óptimas. Lo mismo se aplica al estudio de Cobbina et al. (2018) La efectividad de remoción de Pb 2 y Hg 2 utilizando solo cáscara de maní fue GB350, que fue del 100 %, excepto Cd 2, que fue de 99.05, 99.46 y 99.69 %.

Una comparación de los siguientes estudios que utilizaron dos insumos para cada tratamiento. Ambaye et al. (2020), señala en su investigación que utilizó aserrín y conchas para la producción de biocarbón, el cual presentó una alta adsorción del 80% de plomo II. De igual forma, también se encuentra el estudio de Azzi et al. (2021), quienes también utilizaron dos insumos como granos y tallos de maíz para eliminar el 58% del cromo presente en una superficie. Wisniewska & Nowicki (2019), también utilizaron dos insumos como mazorcas de maíz y cáscaras de maní para lograr una adsorción máxima de 400 mg/g de plomo. Estos resultados varían según la eficiencia de cada insumo utilizado para la producción de biocarbón y el entorno en el que se realiza el tratamiento.

Wang et al. (2020), utilizaron *Caragana korshinskii* para que el equilibrio de adsorción de Pb^{2+} y Cd^{2+} se alcanzara en 3 h, y la mayor capacidad de adsorción alcanzara

220,94 mg/g y 42,43 mg/g, respectivamente. En la investigación de Zhou et al. (2019) usaron solo tallo de tabaco para que la capacidad de almacenamiento de Cu^{2+} y Cd^{2+} alcanzara el equilibrio en alrededor de 110, 80 y 40 mg/g y 160, 120 y 50 mg/g, respectivamente. Y Xu et al. (2021), señala que utilizaron cenizas de desechos de cocina para lograr el equilibrio de las capacidades de adsorción de biocarbón para Cd (II) y se clasificaron de la siguiente manera: 49,0 mg/g (600 °C), 46,5 mg/ g (500 °C), 23,6 mg/ g (400 °C), 18,2 mg/g (300 °C). Cada estudio realizado para ser efectivo dependía en gran medida de la temperatura a la que se aplicaba oa la que se sometía cada contaminante.

La siguiente Tabla 7 muestra los resultados obtenidos de acuerdo al objetivo específico 3, en la cual demuestra las propiedades de cada agua residual en la que se aplicó el tratamiento con biocarbón, con respecto a la temperatura, pH y el tipo de metal encontrado y eliminado.

Tabla 7: Características de la pirolisis y resultado tras aplicación de biocarbón

Temperatura	pH	Tipo de metales	Resultados	Fuente
450°C	6.8	Cadmio (II), plomo (II), cobre (II) y zinc (II)	La capacidad máxima de adsorción de cobre (II) en biocarbón de abedul plateado (<i>B. pendula</i>) (128,7 $\mu\text{g g}^{-1}$) y zinc (II) en biocarbón de pino silvestre (<i>P. sylvestris</i> L.) (107, 0 $\mu\text{g g}^{-1}$). La adsorción de plomo (II) en biocarbón de pino silvestre (<i>P. sylvestris</i> L.) y abedul plateado (<i>B. pendula</i>) varió de 3.77 a 1,29 y de 4.49 a 2,37 $\mu\text{g g}^{-1}$.	Komkiene et al. 2018
300 -500°C	5	Cobre II	El rendimiento de biocarbón disminuyó de 57,87 a 37,19 % cuando la temperatura aumentó de 300 a 500 °C.	Kumar et al. 2020
700°C	dos	cromo VI	El NOMB obtenido con alta área superficial (2417 m ² /g) y microporosidad (~ 90%) mostró una excelente capacidad de remoción de Cr (VI) (526.1 mg/ga pH 2).	Li et al. 2020
300 - 500°C	12.6	Mg, K, Zn, Cu, Fe y Mn	Los rendimientos de biocarbón disminuyeron significativamente al	Nkomo et al. 2021

			aumentar la temperatura de pirólisis ($p < 0,001$) del 51,5 al 56,9 % a 300 y 500 °C, respectivamente.	
500, 700 y 900 °C.	6.9	N, Mn	El análisis XPS aumentó el porcentaje atómico de grupos funcionales de oxígeno al aumentar la temperatura de carbonización.	Oginni et al. 2020
65°C	5.6	cr	El biocarbón de paja incrementó la altura de la planta (11,71 % a 22,47 %), el número de cápsulas por planta (0,74 % a 13,75 %) y el peso promedio del caldo (35,44 % a 36,22 %).	Qayyunm et al. 2020
400 – 600°C	6.1	Pb	La aplicación de biochar tuvo una reducción de plomo del 87%.	Ruangsan et al. 2021
60°C	7.5	Pb	Eliminación casi completa de Pb (91%) con BC magnético y el adsorbente podría separarse usando un imán de neodimio.	Sayjadi et al. 2021
300°C	3.5	Cd (II) y Pb (II)	Las capacidades de adsorción de FMBC podrían quedarse por encima del 87 % y el 50 % después de cuatro ciclos para Cd (II) y Pb (II).	sol et al. 2019

650°C	3	Pb y Cd	El equilibrio de adsorción de Pb ²⁺ y Cd ²⁺ se alcanzó en 3 h, y las cantidades máximas alcanzadas de adsorción fueron 220,94 mg g ⁻¹ y 42,43 mg g ⁻¹ .	Tong et al. 2020
700°C	5	Cobre II	Biochar mostró una eficiencia de eliminación de > 99% con una capacidad de adsorción 223 mg g ⁻¹ Cu (II).	Katiyar et al. 2021
500°C	4.2	Cromo III	Se encontró que el grado de solución de eliminación de carbono (III) biológico del residuo de maíz era del 97%.	Kazmierczak et al. 2021
350–450 °C y 450–550 °C	3.9	Cu, Pb y Zn	La adsorción máxima de Cu, Pb y Zn fue de 10,27, 17,57 y 6,48 mg/g, respectivamente.	Wijeyawardana et al. 2022

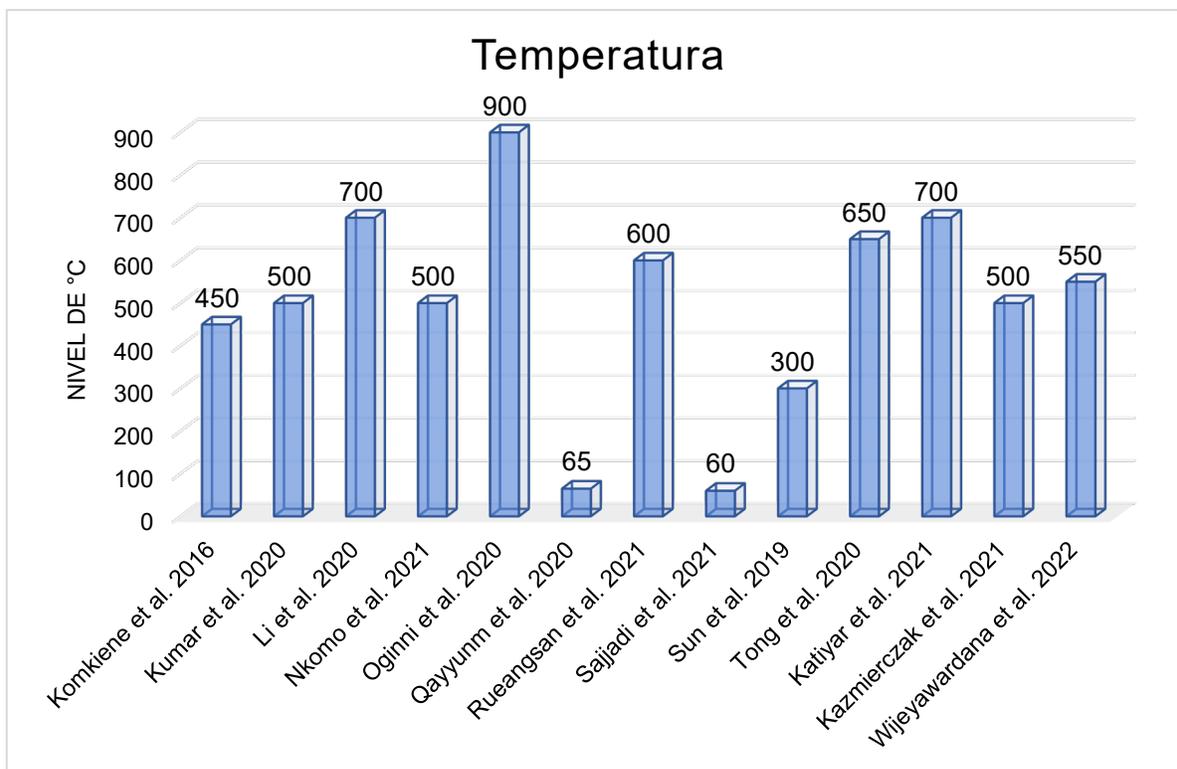


Figura 5: Temperatura utilizada para la producción de biocarbón.

De acuerdo con la Figura 5 revela la temperatura utilizada para la remoción de metales pesados en cada estudio de Komkiene et al. 2018 Quién utilizó biocarbón de abedul (*B. pendula*) (128,7 $\mu\text{g g}^{-1}$) y zinc (II) en biocarbón de abeto (*P. sylvestris* L.) (107,0 $\mu\text{g g}^{-1}$). Birkebiokul (*B. pendula*) y pino silvestre (*P. sylvestris* L.) oscilaron entre 1,29 y 3,77 y entre 2,37 y 4,49 $\mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente. Así también Kumar et al. 2020 indica que utilizó temperaturas que oscilan entre 300° - 500°C para tener un excelente rendimiento de biorcarbón, el cual disminuyó del 57,87 al 37,19% del cobre presente en el agua. En el estudio realizado por Li et al. 2020 utiliza 700°C para obtener una alta área de superficie (2417 m^2/g) y microporosidad (~90%) y mostró una excelente capacidad de eliminación de Cr (VI) (526,1 mg/g a pH 2).

En un estudio de Nkomo et al. Se utilizaron temperaturas entre 300 °C y 500 °C en 2021 para disminuir significativamente el rendimiento del biocarbón al aumentar las temperaturas de pirólisis a 300 °C y 500 °C ($p < 0,001$) del 51,5 % al 56,9 %. Con una

gran diferencia en el uso de las temperaturas es el estudio de Oginni et al. 2020 que establece que usó temperaturas de 500, 700 y 900 °C para indicar que el análisis XPS mostró una reducción en el porcentaje atómico de grupos funcionales de oxígeno a medida que aumentaba la temperatura de carbonización.

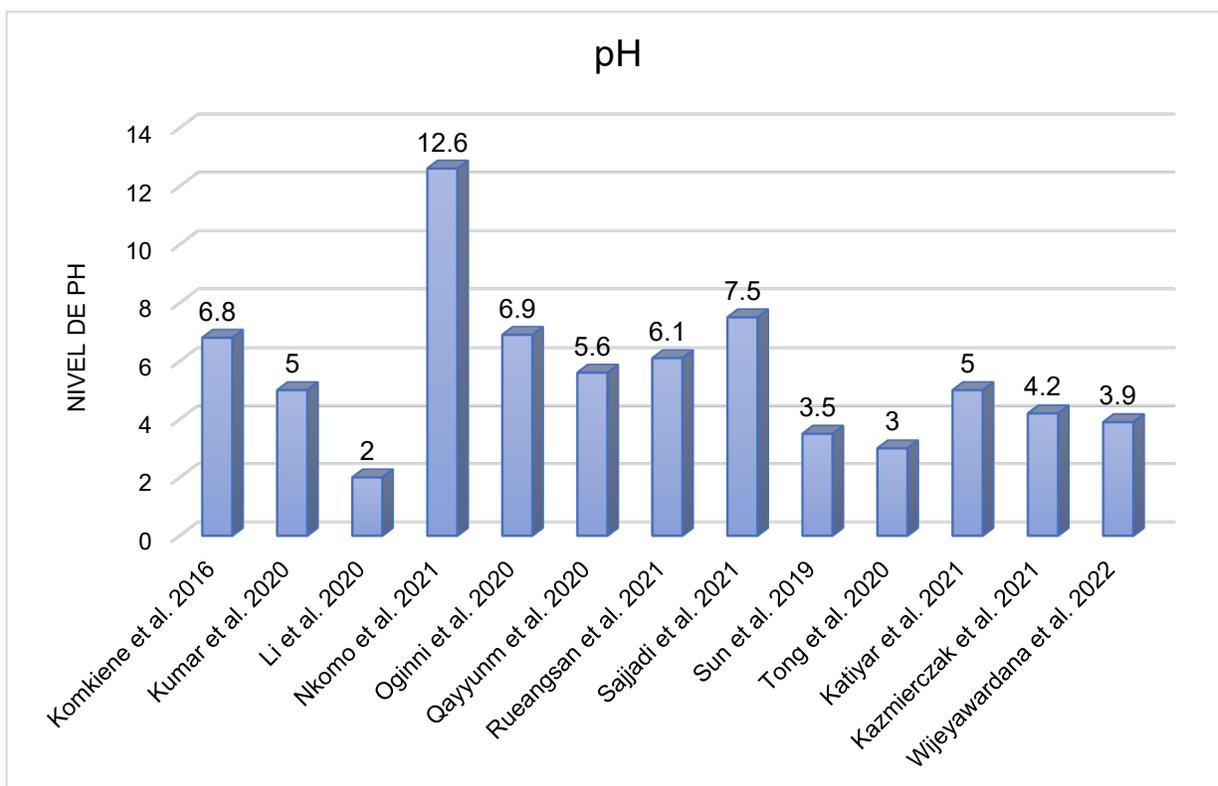


Figura 6: pH del agua en la remoción de metales pesados

De acuerdo a la Figura 6 donde se da a conocer el pH necesario y utilizado para remover metales pesados en aguas contaminadas. En la investigación de Qayyunm et al. (2020), indica que el pH utilizado fue de 5,6, lo que favoreció la eliminación del cromo presente en el agua. A diferencia de Rueangsan et al. (2021), señala que utilizó 6.1 de pH para reducir hasta un 87% el plomo presente en el agua. En el estudio realizado por Sajjadi et al. (2021), señala que con base en pH 7.5 fue adecuado para eliminar hasta el 91% del plomo. Se encontró una gran diferencia de pH en la investigación de Sun et al. (2019) quienes utilizaron un nivel de pH de 3,5 para que el biocarbón pueda adsorber más del 50 % y el 87 % luego de cuatro ciclos para Pb (II) y Cd (II).

En la investigación de Tong et al. (2020), se utilizó un pH de 3, nivel muy bajo pero propicio para tener un equilibrio de adsorción para Pb^{2+} y Cd^{2+} que se alcanzó en 3 h, y su total capacidad de adsorción alcanzó $220,94 \text{ mg g}^{-1}$ y $42,43 \text{ mg g}^{-1}$, respectivamente. En comparación con Katiyar et al. (2021) quienes en su estudio demostraron que bajo una temperatura de 700°C y con un pH de 5 muestran una eficiencia de remoción $>99\%$ con una capacidad de adsorción 223 mg g^{-1} Cu(II) . Kazmierczak et al. 2021 usó 4.2 pH para tener un alto grado de remoción de cromo del 97%, el obtenido luego de la aplicación de biocarbón hecho a partir de residuos de maíz. Finalmente, Wijewardana et al. (2022) en su investigación revela que, bajo un pH de 3,9, la adsorción máxima de Cu, Pb y Zn fue de 10,27, 17,57 y 6,48 mg/g, respectivamente.

Para demostrar la eficacia de cada biocarbón utilizado en cada investigación, es necesario contar con un medio adecuado, como altas temperaturas, pH favorable y residuos vegetales reconocidos por su gran valor de remoción.

V. CONCLUSIONES

Análisis correspondientes en relación a los residuos agrícolas más utilizados en la producción de biocarbón, tales como pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), cascarilla y paja de arroz, lodos de depuradora, cáscara de maní, hueso de bovino y escamas de pescado, biomasa de madera, ramas de *camelia sinensis*, palo de yute y bagazo de caña de azúcar, siendo muy eficiente en la adsorción de metales pesados en aguas residuales industriales.

Los tipos de metales pesados adsorbidos por el biocarbón elaborado a partir de residuos agrícolas se analizaron mediante los análisis correspondientes; como plomo, cadmio, cobre, cromo, zinc, mercurio, metales que alteran la calidad de las aguas superficiales por efluentes de actividades industriales.

Las características finales de las aguas residuales luego de la aplicación de biocarbón, reflejaron una disminución significativa de los metales pesados depositados por las actividades industriales en cuanto a remoción de cobre 47.53%, manganeso, hierro, magnesio y zinc en 54%, plomo 87%, adsorbido de las aguas por biocarbón a base de residuos agrícolas como paja de arroz y bagazo de caña de azúcar y así lograr recuperar la calidad de las aguas para fines de aprovechamiento en actividades agropecuarias.

De acuerdo a los análisis correspondientes de cada estudio realizado a nivel mundial y con 5 años de antigüedad, es posible concluir que los residuos agrícolas más utilizados fueron cascarilla y paja de arroz, cascarilla de maní, hueso bovino y biomasa de madera, reconocida por su capacidad de adsorción de metales. Asimismo, la gran parte de los metales encontrados y removidos en cada investigación fueron plomo, cromo, zinc, cobre y mercurio. Cada biochar elaborado a partir de residuos vegetales ha logrado una alta tasa de remoción de 47% a 87% de eficiencia, logrando recuperar la calidad del agua destinada a diversas actividades.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar desarrollando investigaciones utilizando residuos agrícolas en la producción de biocarbón para el tratamiento de aguas residuales industriales con presencia de metales pesados, ya que este tratamiento es muy eficiente y de fácil aplicación, especialmente más económico que los tratamientos convencionales.

A los futuros investigadores, continuar desarrollando investigaciones respecto a los tipos de metales pesados que son absorbidos por el biocarbón a base de diferentes residuos agrícolas, determinando así otros que no son considerados en la información ya publicada, dando un aporte valioso al mundo científico.

Se fomenta el uso del biocarbón ya que es muy eficiente en la reducción del grado de contaminación del agua, logrando recuperar las características adecuadas de las aguas residuales que son producto de las actividades humanas y ponen en riesgo las aguas superficiales, la salud de las personas. y la biodiversidad de especies acuáticas.

De acuerdo a lo analizado en cada artículo, se recomienda el uso de residuos vegetales, por su alto porcentaje de absorción de metales y metaloides presentes en las aguas residuales industriales, además de que este tratamiento no requiere el uso de energía como los convencionales. Los tratamientos que se suelen utilizar a menudo son respetuosos con el medio ambiente y la duración del tratamiento exige poco tiempo.

REFERENCIAS

1. Adesemuyi, M. F., Adebayo, M. A., Akinola, A. O., Olasehinde, E. F., Adewole, K. A., & Lajide, L. (2020). Preparation and characterisation of biochars from elephant grass and their utilisation for aqueous nitrate removal: Effect of pyrolysis temperature. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(6). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104507>
2. Ambaye, T. G., Vaccari, M., van Hullebusch, E. D., Amrane, A., & Rtimi, S. (2021). Mechanisms and adsorption capacities of biochar for the removal of organic and inorganic pollutants from industrial wastewater. In *International Journal of Environmental Science and Technology* (Vol. 18, Issue 10, pp. 3273–3294). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-03060-w>
3. Azadi, F., Saadat, S., & Karimi-Jashni, A. (2018). Experimental Investigation and Modeling of Nickel Removal from Wastewater Using Modified Rice Husk in Continuous Reactor by Response Surface Methodology. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, 42(3), 315–323. <https://doi.org/10.1007/s40996-017-0090-z>
4. Azzi, E. S., Karlun, E., & Sundberg, C. (2021). Small-scale biochar production on Swedish farms: A model for estimating potential, variability, and environmental performance. *Journal of Cleaner Production*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124873>
5. Tharanga Bandara, Jianming Xu, Ian D. Potter, Ashley Franks, J.B.A.J. Chaturika, Caixian Tang, Mechanisms for the removal of Cd(II) and Cu(II) from aqueous solution and mine water by biochars derived from agricultural wastes, *Chemosphere*, Volume 254, 2020, 126745, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126745>
6. Barry, D., Barbiero, C., Briens, C., & Berruti, F. (2019). Pyrolysis as an economical and ecological treatment option for municipal sewage sludge. *Biomass and Bioenergy*, 122, 472–480. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.041>
7. Cobbina, S. J., Duwiejuah, A. B., & Quainoo, A. K. (2019). Single and simultaneous adsorption of heavy metals onto groundnut shell biochar produced under fast and

- slow pyrolysis. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(7), 3081–3090. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1910-9>
8. Côrtes, L. N., Druzian, S. P., Streit, A. F. M., Godinho, M., Perondi, D., Collazzo, G. C., Oliveira, M. L. S., Cadaval, T. R. S., & Dotto, G. L. (2019). Biochars from animal wastes as alternative materials to treat colored effluents containing basic red 9. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(6). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103446>
 9. Frišták, V., Pipíška, M., & Soja, G. (2018). Pyrolysis treatment of sewage sludge: A promising way to produce phosphorus fertilizer. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1772–1778. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.015>
 10. Geça, M., Wiśniewska, M., & Nowicki, P. (2022). Biochars and activated carbons as adsorbents of inorganic and organic compounds from multicomponent systems – A review. In *Advances in Colloid and Interface Science* (Vol. 305). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2022.102687>
 11. Godwin, P. M., Pan, Y., Xiao, H., & Afzal, M. T. (2019). Progress in Preparation and Application of Modified Biochar for Improving Heavy Metal Ion Removal From Wastewater. In *Journal of Bioresources and Bioproducts* (Vol. 4, Issue 1, pp. 31–42). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.21967/jbb.v4i1.180>
 12. Gong, H., Tan, Z., Zhang, L., & Huang, Q. (2019). Preparation of biochar with high absorbability and its nutrient adsorption–desorption behaviour. *Science of the Total Environment*, 694. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133728>
 13. Guo, S., Wang, Y., Wei, X., Gao, Y., Xiao, B., & Yang, Y. (2020). Structural analysis and heavy metal adsorption of N-doped biochar from hydrothermal carbonization of *Camellia sinensis* waste. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(15), 18866–18874. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08455-3>
 14. Hoslett, J., Ghazal, H., Ahmad, D., & Jouhara, H. (2019). Removal of copper ions from aqueous solution using low temperature biochar derived from the pyrolysis of municipal solid waste. *Science of the Total Environment*, 673, 777–789. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.085>
 15. Islam, M. K., Khatun, M. S., Arefin, M. A., Islam, M. R., & Hassan, M. (2021). Waste to energy: An experimental study of utilizing the agricultural residue, MSW, and e-

- waste available in Bangladesh for pyrolysis conversion. *Heliyon*, 7(12).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08530>
16. Katiyar, R., Patel, A. K., Nguyen, T. B., Singhanian, R. R., Chen, C. W., & Dong, C. di. (2021). Adsorption of copper (II) in aqueous solution using biochars derived from *Ascophyllum nodosum* seaweed. *Bioresource Technology*, 328.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124829>
 17. Kazemi Shariat Panahi, H., Dehghani, M., Ok, Y. S., Nizami, A. S., Khoshnevisan, B., Mussatto, S. I., Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., & Lam, S. S. (2020). A comprehensive review of engineered biochar: Production, characteristics, and environmental applications. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 270). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122462>
 18. Kaźmierczak, B., Molenda, J., & Swat, M. (2021). The adsorption of chromium (III) ions from water solutions on biocarbons obtained from plant waste. *Environmental Technology and Innovation*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101737>
 19. Khan, A., Khan, S., Lei, M., Alam, M., Khan, M. A., & Khan, A. (2020). Biochar characteristics, applications and importance in health risk reduction through metal immobilization. In *Environmental Technology and Innovation* (Vol. 20). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101121>
 20. Komkiene, J., & Baltreinaite, E. (2016). Biochar as adsorbent for removal of heavy metal ions [Cadmium(II), Copper(II), Lead(II), Zinc(II)] from aqueous phase. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(2), 471–482.
<https://doi.org/10.1007/s13762-015-0873-3>
 21. Kumar Sakhiya, A., Aier, I., Pathak, S., Anand, A., Jha, S., Vijay, V. K., & Kaushal, P. (2020). Copper(II) removal from aqua solution using rice straw derived biochar. *Materials Today: Proceedings*, 43, 740–745.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.953>
 22. Kwon, G., Bhatnagar, A., Wang, H., Kwon, E. E., & Song, H. (2020). A review of recent advancements in utilization of biomass and industrial wastes into engineered biochar. *Journal of Hazardous Materials*, 400.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123242>

23. Li, P., Hu, M., Suo, J., Xie, Y., Hu, W., Wang, X., Wang, Y., & Zhang, Y. (2020). Enhanced Cr(VI) removal by waste biomass derived nitrogen/oxygen co-doped microporous biocarbon. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(5), 5433–5445. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07330-0>
24. Lingqin Liu, Yaji Huang, Shuping Zhang, Yan Gong, Yin Hai Su, Jianhua Cao, Huajun Hu, Adsorption characteristics and mechanism of Pb(II) by agricultural waste-derived biochars produced from a pilot-scale pyrolysis system, *Waste Management*, Volume 100, 2019, Pages 287-295, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.08.021>. ISSN 0956-053X,
25. Ndoung, O. C. N., Figueiredo, C. C. de, & Ramos, M. L. G. (2021). A scoping review on biochar-based fertilizers: enrichment techniques and agro-environmental application. In *Heliyon* (Vol. 7, Issue 12). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08473>
26. Nkoh, J. N., Ajibade, F. O., Atakpa, E. O., Baquy, M. A.-A., Mia, S., Odii, E. C., & Xu, R. (2022). Reduction of heavy metal uptake from polluted soils and associated health risks through biochar amendment: A critical synthesis. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 6, 100086. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100086>
27. Nkomo, N., Odindo, A. O., Musazura, W., & Missengue, R. (2021). Optimising pyrolysis conditions for high-quality biochar production using black soldier fly larvae faecal-derived residue as feedstock. *Heliyon*, 7(5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07025>
28. Oginni, O., & Singh, K. (2020). Influence of high carbonization temperatures on microstructural and physicochemical characteristics of herbaceous biomass derived biochars. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104169>
29. Qayyum, M. F., Haider, G., Raza, M. A., Mohamed, A. K. S. H., Rizwan, M., El-Sheikh, M. A., Alyemeni, M. N., & Ali, S. (2020). Straw-based biochar mediated potassium availability and increased growth and yield of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of Saudi Chemical Society*, 24(12), 963–973. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2020.10.004>

30. Rangabhashiyam S., & Balasubramanian P. (2019). The potential of lignocellulosic biomass precursors for biochar production: Performance, mechanism and wastewater application—A review. In *Industrial Crops and Products* (Vol. 128, pp. 405–423). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.041>
31. Rueangsan, K., Kraisoda, P., Heman, A., Tasarod, H., Wangkulangkool, M., Trisupakitti, S., & Morris, J. (2021). Bio-oil and char obtained from cassava rhizomes with soil conditioners by fast pyrolysis. *Heliyon*, 7(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08291>
32. Sajjadi, B., Shrestha, R. M., Chen, W. Y., Mattern, D. L., Hammer, N., Raman, V., & Dorris, A. (2021). Double-layer magnetized/functionalized biochar composite: Role of microporous structure for heavy metal removals. *Journal of Water Process Engineering*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101677>
33. Shamsollahi, Z., & Partovinia, A. (2019). Recent advances on pollutants removal by rice husk as a bio-based adsorbent: A critical review. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 246, pp. 314–323). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.145>
34. Sun, C., Chen, T., Huang, Q., Wang, J., Lu, S., & Yan, J. (2019). Enhanced adsorption for Pb(II) and Cd(II) of magnetic rice husk biochar by KMnO₄ modification. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(9), 8902–8913. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04321-z>
35. Wang, T., Zheng, J., Liu, H., Peng, Q., Zhou, H., & Zhang, X. (2021). Adsorption characteristics and mechanisms of Pb²⁺ and Cd²⁺ by a new agricultural waste—*Caragana korshinskii* biomass derived biochar. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(11), 13800–13818. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11571-9>
36. Wijeyawardana, P., Nanayakkara, N., Gunasekara, C., Karunarathna, A., Law, D., & Pramanik, B. K. (2022). Removal of Cu, Pb and Zn from stormwater using an industrially manufactured sawdust and paddy husk derived biochar. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102640. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102640>
37. Wiśniewska, M., & Nowicki, P. (2019). Simultaneous removal of lead(II) ions and poly(acrylic acid) macromolecules from liquid phase using of biocarbons obtained

- from corncob and peanut shell precursors. *Journal of Molecular Liquids*, 296. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111806>
38. Wu, L., Zhang, S., Chen, M., Liu, J., & Ding, X. (2021). A sustainable option: Biochar addition can improve soil phosphorus retention and rice yield in a saline–alkaline soil. *Environmental Technology and Innovation*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102070>
39. Xu, C., Tan, X., Zhao, J., Cao, J., Ren, M., Xiao, Y., & Lin, A. (2021). Optimization of biochar production based on environmental risk and remediation performance: Take kitchen waste for example. *Journal of Hazardous Materials*, 416. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125785>
40. Yaashikaa, P. R., Kumar, P. S., Varjani, S., & Saravanan, A. (2020). A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy. In *Biotechnology Reports* (Vol. 28). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00570>
41. Yaashikaa, P. R., Senthil Kumar, P., Varjani, S. J., & Saravanan, A. (2019). Advances in production and application of biochar from lignocellulosic feedstocks for remediation of environmental pollutants. In *Bioresource Technology* (Vol. 292). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122030>
42. Shan-Shan Yang, Yi-di Chen, Ye Zhang, Hui-Min Zhou, Xin-Yu Ji, Lei He, De-Feng Xing, Nan-Qi Ren, Shih-Hsin Ho, Wei-Min Wu,. A novel clean production approach to utilize crop waste residues as co-diet for mealworm (*Tenebrio molitor*) biomass production with biochar as byproduct for heavy metal removal, *Environmental Pollution*, Volume 252, Part B, 2019, Pages 1142-1153, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.028>.
ISSN 0269-7491
43. Zhou, N., Zu, J., Feng, Q., Chen, H., Li, J., Zhong, M. e., Zhou, Z., & Zhuang, S. (2019). Effect of pyrolysis condition on the adsorption mechanism of heavy metals on tobacco stem biochar in competitive mode. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(26), 26947–26962. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05917-1>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Título: Revisión Sistemática: Obtención de Biocarbón de los Residuos Agrícolas para la absorción de Metales Pesados en Aguas Residuales Industriales				
Problema	Objetivo	Categorías	Subcategorías	Indicadores
¿Cuál es la eficiencia del biocarbón de residuos agrícolas con respecto a la absorción de metales pesados en aguas residuales industriales?	Analizar la absorción de los metales pesados, presentes en aguas residuales industriales, utilizando biocarbón, elaborado a partir de residuos agrícolas	Fuente de actividad Agrícola	<ul style="list-style-type: none"> Desechos agrícolas 	<ul style="list-style-type: none"> Bambú Médula de coco Cáscara de maní Corteza de madera dura Bagazo de caña de azúcar Lignina Cáscara de arroz
Problema específico	Objetivo Específicos			
¿Cuáles son los residuos agrícolas más utilizados y qué relación tiene con las características del biocarbón?	Analizar la relación entre los desechos agrícolas más usados y las características del biocarbón.			
¿Cuáles son los tipos de metales pesados absorbidos por el biocarbón a base de residuos agrícolas?	Analizar los tipos de metales pesados absorbidos por el biocarbón a base de residuos agrícolas.	Tipos de Metales	<ul style="list-style-type: none"> Metales Metaloides 	<ul style="list-style-type: none"> Plomo Cadmio Mercurio Zinc Cromo
				<ul style="list-style-type: none"> Boro Arsénico Silicio Telurio
¿Cuáles son las características finales de las aguas residuales luego de la aplicación del biocarbón?	Analizar las características finales de las aguas residuales luego de la aplicación del biocarbón.	Aguas residuales industriales	<ul style="list-style-type: none"> Metales contaminantes 	<ul style="list-style-type: none"> % Plomo % Cadmio % Mercurio % Arsénico % Zinc % Níquel % Cromo
			<ul style="list-style-type: none"> Propiedades físico químicas del agua 	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura pH Color



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Revisión Sistemática: Obtención de Biocarbón a partir de Residuos Agrícolas para la Absorción de Metales Pesados en Aguas Residuales Industriales", cuyo autor es ZEGARRA VERA GUILLERMO JOSE, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 15.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

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

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

LIMA, 15 de Noviembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO DNI: 10473562 ORCID: 0000-0001-6017-1192	Firmado electrónicamente por: CUGARTEA el 28-11- 2022 10:49:19

Código documento Trilce: TRI - 0441410