



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión bibliográfica del uso de biochar elaborado con  
residuos de cosecha para la adsorción de metales  
pesados en agua**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniera Ambiental

**AUTORA:**

Pacheco Álvarez, Geraldine Damaris (ORCID:0000-0003-4716-825X)

**ASESOR:**

Dr. Sernaqué Auccahuasi, Fernando Antonio (ORCID: 0000-0003-1485-5854)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y gestión de los Recursos Naturales

LIMA - PERÚ

2021

## Dedicatoria

A mis padres, por darme la vida, brindarme su amor, confianza y paciencia en todo momento, por apoyarme con una buena educación y por haberme inculcado los mejores valores, para ser una persona de bien y una excelente profesional.

### Agradecimiento

A mis seres amados y familia por su apoyo incondicional, buenos consejos y cariño permanente; a mis amistades y docentes que fueron parte fundamental para la culminación de esta tesis.

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	v
Índice de gráficos .....	v
Resumen .....	vi
Abstract .....	vii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA .....	15
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	15
3.2. Categorías, subcategoría y matriz de categorización apriorística .....	16
3.3. Escenario de estudio.....	17
3.4. Participantes .....	17
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	17
3.6. Procedimientos .....	18
3.7. Rigor científico .....	19
3.8. Método de análisis de información.....	19
3.9. Aspectos éticos.....	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	21
V. CONCLUSIONES .....	30
VI. RECOMENDACIONES .....	31
REFERENCIAS.....	32
ANEXOS	

## Índice de tablas

Tabla 1: Antecedentes de elaboración de biochar con residuos de cosecha aplicados a la adsorción de metales pesados en agua .....	10
Tabla 2: Matriz de categorización apriorística .....	16
Tabla 3: Influencia de precursores .....	21

## Índice de gráficos y figuras

Figura 1: Proceso de elaboración de biochar .....	5
Figura 2: Proceso de adsorción.....	6
Figura 3: Imágenes de cáscaras de nueces crudas (A) sometidas a pirólisis (B). Las imágenes de microscopio (SEM) de las cáscaras originales (C) y cáscaras pirolizadas (D). .....	8
Figura 4: Imágenes SEM de (a) residuos de planta jacinto de agua cruda y (b) biocarbón pirolizado (b) .....	8
Figura 5: Micrografías SEM de a) biocarbón de cáscara de nuez y frutas b) biocarbón de residuos vegetales.....	9
Gráfico 1: Procedimiento de selección de investigaciones.....	18
Gráfico 2: Metodologías de activación del biochar .....	25
Gráfico 3: Identificación de los parámetros que influyen en la adsorción de HM	26

## Resumen

La presente revisión sistemática se realizó con el objetivo de analizar el uso de biochar elaborado con residuos de cosecha, para la adsorción de metales pesados en agua; el tipo de investigación fue básica, de diseño narrativo descriptivo, en donde se revisaron 70 artículos a nivel nacional e internacional. Los resultados indicaron que la aplicación de los residuos de cosecha en la elaboración de biochar influye significativamente en la capacidad de adsorción de los metales pesados como el Pb, Cd, Cu, Zn; logrando niveles de adsorción de 80 a 90%. Las metodologías de elaboración de biochar más eficaces son la físico y química; donde la primera es la más empleada de acuerdo al 60% de investigaciones, la química por el 35% y ambas solo un 5%. Como conclusiones se determinaron que, el parámetro de temperatura más empleado por los autores es la pirólisis media, que se genera de 550 a 800°C, de acuerdo al 57% de los investigadores; el tiempo de contacto de entre el adsorbato y el adsorbente acuerdo al 70% de los autores es de 20 a 30 min; por último, el 80% de las investigaciones coinciden en que lograron alcanzar la adsorción de los metales pesados de manera eficiente, utilizando el biochar elaborado con residuos de cosecha.

**Palabras clave:** Biochar, agua, metales pesados, residuos de cosecha, pirólisis.

## Abstract

The present systematic review was carried out with the objective of analyzing the use of biochar made with harvest residues, for the adsorption of heavy metals in water; the type of research was basic, descriptive narrative design, where 70 articles were reviewed at the national and international level. The results indicated that the application of harvest residues in the production of biochar significantly influences the adsorption capacity of heavy metals such as Pb, Cd, Cu, Zn; achieving adsorption levels of 80 to 90%. The most effective biochar manufacturing methodologies are physical and chemical; where the first is the most used according to 60% of investigations, chemistry by 35% and both only 5%. As conclusions, it was determined that the temperature parameter most used by the authors is the average pyrolysis, which is generated from 550 to 800°C, according to 57% of the researchers; the contact time between the adsorbate and the adsorbent according to 70% of the authors is 20 to 30 min; Finally, 80% of the investigations agree that they managed to achieve the adsorption of heavy metals efficiently, using biochar made from crop residues.

**Keywords:** Biochar, water, heavy metals, crop residues, pyrolysis.

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental en el mundo, es un hecho que ha crecido exponencialmente debido a causas antropogénicas; cuyo efecto degrada la flora, fauna, así como los demás recursos naturales. Es así que se conoce que la contaminación del agua como principal recurso biológico, es causado por metales pesados (MP), que se transportan y usan a este recurso como su medio de proliferación, este hecho hace que se vean afectados diversos ecosistemas (Kumar et al., 2019, p. 2).

La contaminación del agua a causa de MP, es motivo de preocupación a nivel mundial debido a la toxicidad de estos y los efectos negativos conferidos a los organismos acuáticos, seres humanos y biodiversidad, además de ello las investigaciones por contaminación de metales pesados en aguas dulces en América latina, han sido poco abordadas (Karaouzas et al., 2020, p.3).

Estos hechos significan un problema de suma importancia debido a los efectos adversos que causa en todo el mundo por la concentración de estos metales afectando las funciones biológicas de plantas y el crecimiento, así como acumulación en los órganos causando enfermedades (Briffa et al., 2016, p.4).

En un estudio realizado por Zhou et al., (2020, p.4) se determinó que las concentraciones medias de metales pesados en ríos y lagos, eran más bajas entre los años 1960 y 1980, pero desde los años 1990 y 2010 en adelante esta situación se ha acrecentado. Así también, dicha concentración fue menor en los países desarrollados que conforman Europa y América del Norte, y mayor en los países que conforman África, y América del Sur.

Además de ello el nivel de contaminación ha variado de un solo metal a metales mixtos con concentraciones superiores a los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental (APA). Así también la contaminación de las aguas subterráneas y acuíferos fueron estudiadas determinando la hidroquímica del agua subterránea, determinando la contaminación por MP que exceden los límites máximos permisibles para beber (Nigar S., y Ahmad S., 2020, p.1).

La contaminación del recurso hídrico en la Amazonía peruana, causado por metales pesados se ha incrementado con los años. Dicha situación ha generado también conflictos socioambientales (García et al., 2017, p.371).

En los Andes centrales del Perú la concentración de MP en los lagos, se debe en gran medida a la acumulación de arsénico (As), manganeso (Mn) entre otros metales (Cooke C., y Abbott M., 2008, p.263).

Otra problemática viene a ser la contaminación ambiental por residuos de cosecha o agrícolas, esta se asocia debido a la quema de biomasa abierta y la aplicación de fertilizantes químicos en la agricultura (Harindintwali et al., 2020, p.2) De acuerdo con (Trujillo et al., 2019, p.4). La contaminación de ríos, lagos y lagunas en el departamento de Cajamarca en Perú, se debe a metales pesados como As, Cd, Hg, Pb, Zn, Al, Cr y Cu.

Los proyectos mineros en Perú contaminan las aguas debido a los relaves de los procesos de flotación en la extracción metalúrgica de minerales, aumentando el grado de contaminación en ríos, lagos, lagunas y mar (Quispe et al., 2019, p.84). Los MP emitidos por las industrias ligados a partículas se transportan por el aire y depositan en el agua y suelos agrícolas, transfiriéndose a las plantas y otras partes del ecosistema ingresando a la cadena trófica (Middelanis T., 2019, p. 29)

Debido a la problemática de la contaminación del agua por metales pesados, En los últimos años, se han desarrollado diversos tipos de tratamientos para contrarrestar la contaminación del agua por MP. Uno de estos tratamientos o procedimientos es la producción y uso de Biochar o Biocarbón, que se basa en la incineración (estado de pirolisis) de restos de cultivos, residuos ganaderos, residuos sólidos urbanos y otros residuos orgánicos (Calvo L., 2019, p. 29).

Por lo antes expuesto la presente investigación tiene como objetivo general: Analizar el uso de biochar utilizando residuos de cosecha para la adsorción de metales pesados en agua.

Así mismo los objetivos específicos fueron los siguientes:

OE1: Describir la influencia de los precursores de residuos de cosecha en la elaboración del biochar., OE2: Identificar las metodologías de preparación más eficaces en la elaboración de biochar para la remoción de metales pesados., OE3: Identificar los parámetros que influyen en la adsorción de metales pesados.

Del mismo modo, se plantea como problema general ¿Cuál es el análisis del uso de biochar utilizando residuos de cosecha para la adsorción de metales pesados en agua?

Los problemas específicos de la investigación fueron los siguientes: PE1: ¿Cuál es la influencia de los precursores de residuos de cosecha en la elaboración del biochar? PE2: ¿Cuáles son las metodologías de preparación más eficaces en la elaboración de biochar para la remoción de metales pesados? PE3: ¿Qué parámetros influyen en la adsorción de los metales pesados?

El Perú es un país en el cual existe informalidad por parte de las industrias generando desequilibrio como resultado de la adición de los MP al ambiente; agua, suelo y aire por acción de fuentes antropogénicas causando daños adversos en la salud del ecosistema y seres humanos. Se genera también un aumento por contaminación de residuos como lo son los agrícolas, por falta de conocimientos, información y a su vez pocas investigaciones sobre las propuestas de solución, desconociendo los métodos de eliminación y reducción de estos contaminantes y su reaprovechamiento, como es la elaboración del biochar; producto carbonoso a partir de la materia prima que ayuda a la adsorción de los MP del agua.

Este estudio se justifica teóricamente; debido a que se hará uso de investigaciones existentes acerca del uso de biochar elaborado con residuos de cosecha, para ampliar los conocimientos de los futuros investigadores analizando su aplicación e importancia en la adsorción de metales pesados en agua, mediante un punto de vista teórico se realizará un estudio de diversas investigaciones a nivel nacional e internacional para ayudarnos a esclarecer temas en los que no se ha estudiado o mantiene desconocido, como la eficiencia de la aplicación del biochar para la adsorción de metales en agua utilizando residuos de cosecha, y de esta manera poder servir como respaldo de futuros investigadores y ampliar los conocimientos referentes al tema ya mencionado.

## II. MARCO TEÓRICO

El biochar o biocarbón es un material sólido orgánico producto de la descomposición térmica de precursores orgánicos (biomasa) con escaso o limitado suministro de oxígeno (pirólisis), a temperaturas relativamente bajas (inferiores a los 700 °C).

Es aplicado para la recuperación de nutrientes en el suelo o eliminación y/o adsorción de contaminantes del agua (López et al., 2016, p.369). Desde el punto de vista de producción, el biochar es un carbón vegetal estable y altamente poroso obtenido mediante la descomposición térmica de materia orgánica bajo un entorno con suministro de oxígeno limitado (O<sub>2</sub>) (Middelani T., 2019, p. 431).

De acuerdo con Zhang et al., (2020, p.3) el biochar permite la eliminación de metales del agua como nitrógeno (N) y fósforo (P) considerándose una forma económicamente viable a diferencia de otros métodos.

Por otro lado (López et al., 2016) explica que la elaboración del biochar se realiza utilizando diferentes tipos de precursores, tales como materia orgánica de origen vegetal o animal; incluyendo los residuos y desechos orgánicos, entre los materiales más citados en la literatura, se tienen los residuos de cosecha, plantas secas, hojas de árboles, desechos de arroz, residuos de aceituna, estiércol, camas de aves, algas, cáscaras de naranja, nueces, bambú, caña, cascaras de maní, café y paja (p.373).

Así mismo Guerra, (2015, p.14) por lo general, las materias primas y sus propiedades deseadas para elaborar el biochar, se encontrarán en función de su selección, así como del método de producción empleado. Se puede aprovechar cualquier tipo de biomasa, desde residuos agrícolas, forestales y de granja hasta residuos domésticos e industriales.

Según Kwapinski et al., (2010, p. 56) La biomasa que compone a los residuos orgánicos de cosecha se consideran materias primas recomendadas para el proceso de pirólisis y posterior producción de biochar, gas y bioaceite. Sin embargo, debido al gran efecto de las propiedades físico-químicas del carbón (tamaños de partícula, composición, porosidad, pH, aromaticidad) se debe realizar una cuidadosa elección de la materia prima que resulte más adecuada para el uso final previsto para el biochar.

La pirolisis es la descomposición termo-química de una sustancia orgánica por calentamiento en ausencia de oxígeno. De esta manera Orbegozo, (2013, p.54) el término pirólisis deriva del griego “pyro” que significa fuego y “lisis” que indica la descomposición en sus partes constituyentes, en este sentido el proceso de pirólisis transforma los materiales orgánicos en tres componentes diferentes: gas, líquido y sólido carbonizado (también llamados syngas/gas, bioaceite/bio-oil y char/biochar, respectivamente), dependiendo tanto de la materia prima como de la temperatura a la cual está expuesta la biomasa.



Figura 1: Proceso de elaboración de biochar.

Fuente: Elaboración propia.

Lehmann et al., (2009, p.47) nos indica que en mucho de los casos los residuos orgánicos obtenidos de las cosechas no son utilizados de forma adecuada, indicando en su investigación, que la mejor manera de generarles valor es como biochar.

Así también Zhao et al., (2019, p.5). indica que la biomasa formada por residuos de cosecha toma una estructura porosa después de la pirolisis; por ello no todas las biomazas pueden ser útiles o tener la misma característica y eficacia

para la adsorción de metales pesados, como lo tienen la biomasa formada por residuos de cosecha.

(Ríos, C., 2018) Se conocen dos tipos de procesos de pirolisis; proceso lento y rápido. El proceso de pirolisis lenta se caracteriza por trabajar en velocidades ínfimas de calentamiento, con tiempos relativamente largos de residencia sólida y de vapor y por lo general, con temperaturas de producción inferiores a 500°C. Por otro lado, la pirolisis rápida se caracteriza por velocidades de calentamiento elevadas y por tiempos cortos de residencia de vapor, por ello la temperatura en pirolisis rápida es superior a los 500°C (p.37).

Por otro lado, Orbegozo A. (2013, p.58) establece que la adsorción es el proceso que se presenta cuando el biochar es utilizado para la retención de metales pesados presentes en el agua, por tal se reconoce como el momento más eficiente puesto que en este punto ocurre una transferencia de masa, donde los metales pesados se transfieren desde la fase líquida directamente a la superficie de la fase sólida del biochar.

Por su parte, Al-Saydeh et al., (2017, p.13) expone que el proceso de adsorción encapsula y elimina contaminantes que se encuentran acumulados en algún tipo de superficie, en este caso el agua.

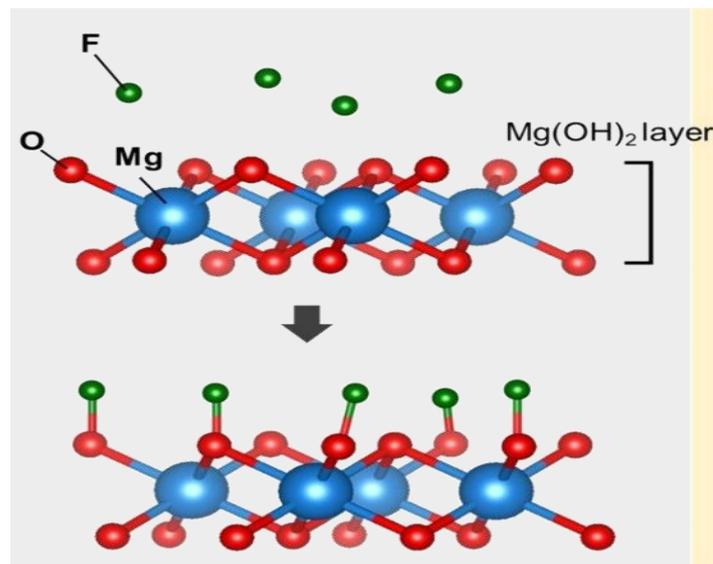


Figura 2: Proceso de Adsorción.

Fuente: Ersan et al., 2019.

Este fenómeno superficial se basa en un proceso donde los átomos o moléculas de un tipo de sustancia son retenidas en la superficie de otras con características específicas; generando una capa líquida o gaseosa en la superficie del adsorbente (Ersan et al., 2019, p.516).

El proceso de adsorción es utilizado para separar sustancias, en el que un contaminante soluble (adsorbato) o metal pesado es eliminado del agua mediante el contacto con una superficie sólida porosa (adsorbente) o biochar (López et al., 2016, p.375).

La adsorción se clasifica en cinética y termodinámica, de acuerdo con Lehmann et al., (2009, p.51), la adsorción cinética puede estar expresada en pseudo primer orden y pseudo segundo orden; siendo la primera quien asume que solo una especie del adsorbato se relaciona con solo un sitio activo del adsorbente, mientras que la segunda considera que 2 sitios activos pueden ser ocupados por una especie de adsorbato.

Para el estudio de la termodinámica se utilizará las isothermas de Langmuir, la cual se realiza utilizando resultados obtenidos por la capacidad de adsorción en función a las concentraciones en equilibrio (Lehmann et al., 2009, p.55)

De acuerdo con Deng et al (2020, p.32) la isoterma de adsorción de Freundlich está basada en la observación de hechos y experiencia, los sitios en la superficie del adsorbente no necesariamente son idénticos, permitiendo que se ocurra una mayor incorporación del adsorbato, aunque la adsorción se vaya haciendo progresivamente más dificultosa a medida que se va acumulando adsorbato sobre el sólido adsorbente.

Así mismo, Wu et al. (2019, p.14) señala que hoy en día se realiza una correcta caracterización estructural del biochar, utilizando instrumentos de análisis en imágenes avanzados como son el FTIR, XRD Y SEM. Mediante estos se llega a conocer la composición de la biomasa pirolizada y sus características que determinan la calidad del biochar. Adicional a ello se conoce que el grado de carbonización tiene efecto en las propiedades fisicoquímicas del biochar.

La técnica de Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (de FTIR), se realiza en un espectroscopio, el cual nos permite identificar la presencia o ausencia de material orgánico e inorgánico en la superficie de un sólido adsorbente; Por tal es una técnica instrumental rápida y sencilla, que proporciona

valiosa información cuantitativa acerca de la composición del biochar u otro material en estudio, de acuerdo con Gallignani et al., (2012, p.2).

Wang et al., (2019, p.17) El SEM es un tipo de microscopio el cual permite escanear una superficie adsorbente, la técnica de SEM se considera una extensión de varias técnicas que permite brindar imágenes de alta resolución sobre la morfología de la superficie de un sólido adsorbente, permitiendo determinar la porosidad del sólido y saber cuan eficiente puede ser la adsorción de metales pesados.

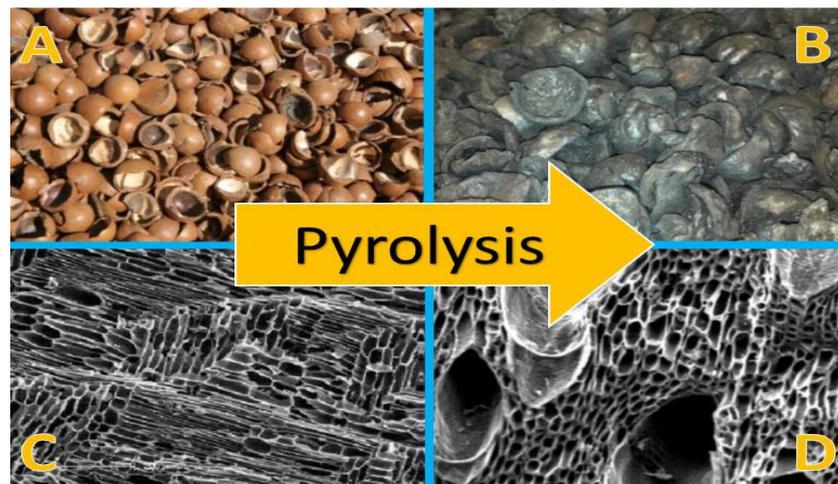


Figura 3: Imágenes de cáscaras de nueces crudas (A) sometidas a pirólisis (B). Las imágenes de microscopio (SEM) de las cáscaras originales (C) y cáscaras pirolizadas (D).

Fuente: (Kurt Spokas, 2013).

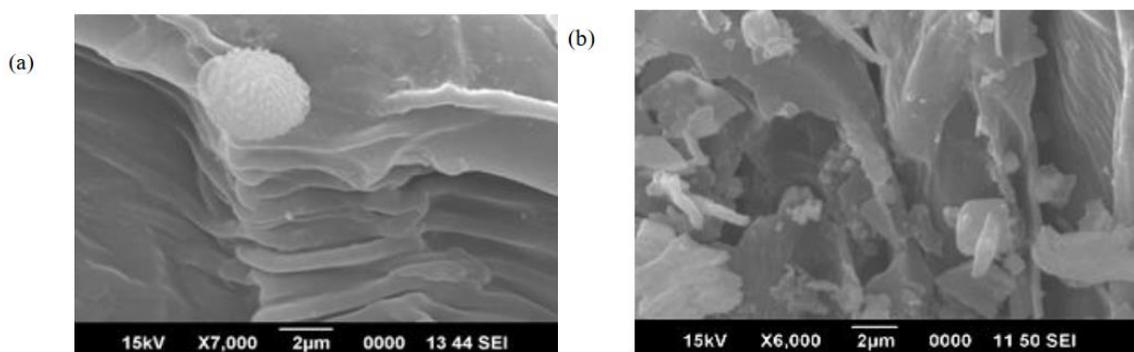


Figura 4: Imágenes SEM de (a) residuos de planta jacinto de agua cruda y (b) biocarbón pirolizado (b)

Fuente: (Najmudeen et al., 2019)

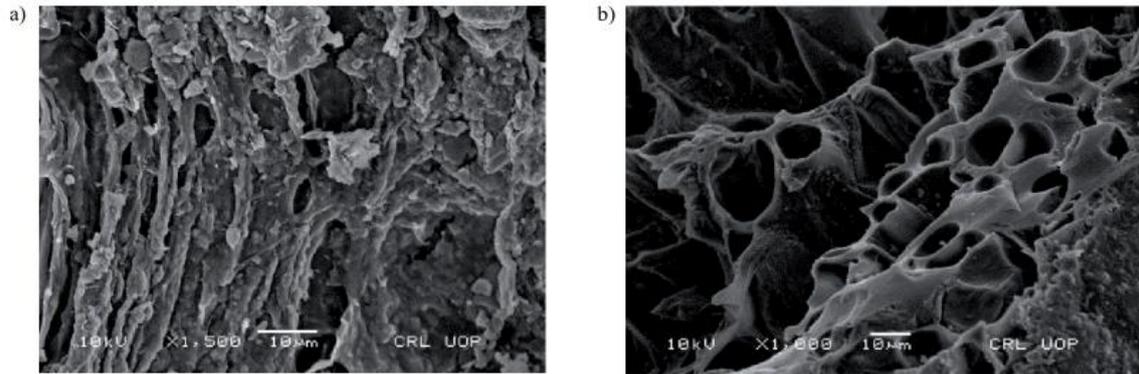


Figura 5: Micrografías SEM de a) biocarbón de cáscara de nuez y frutas b) biocarbón de residuos vegetales

Fuente: (Aziz et al., 2018)

De acuerdo con (Ersan et al., 2019, p.125) La difracción de rayos X (XRD) es una técnica muy sofisticada, utilizada para el análisis cualitativo de diversos tipos de materia, pues proporciona información detallada acerca de su estructura morfológica. Es utilizado en industrias como fabricación de cemento, extracción de petróleo, energía y productos farmacéuticos para caracterizar los materiales desde la fase de investigación básica hasta el control de calidad. También es una importante técnica utilizada por estudiantes de geología, ciencia, química y cristalografía.

Existen diferentes tipos de investigaciones usando biocarbón de residuos de cosecha para adsorber metales pesados; por ello en la presente investigación se seleccionaron las siguientes investigaciones, detalladas en la tabla N°1:

Tabla 1:

Antecedentes de elaboración de biochar con residuos de cosecha aplicados a la adsorción de metales pesados en el agua.

Autor	Materia Prima	Tipo de Pirolisis	Parámetros		Técnica o equipo utilizado
			Elaboración	MP Adsorción	
Chen et al., 2020	Tallo de maíz (CB) Rama de sauce (WB)	Pirolisis lenta	-Temperatura: 500°C -Tiempo: 2h. --pH: 3.0–7.0 -Tiempo de contacto: 24h.	-Metal adsorbido: Cd -Dosis Cd: 20 mg/L -Biocarbón: 80mg -Tiempo contacto: 24h.	FTIR SEM
Yu et al., 2020	<i>Axonopus compressus</i>	Pirolisis lenta	-Secado a 80°C y triturado -Mezcla A. compressus(5g) + H2SO4(50ml) -Tiempo 30min. -pH: 6 a7	-biocarbón(SBC): 0,15g -Metal pesado(HM): 50mg/L -HM contiene: Pb, Cd -pH: 4,5 añadiendo HNO3	FTIR SEM XPS
Zhang Weiwen et al., 2020	Estiércol de vaca (CM) vermicompost (CV)	Pirolisis media	H2SO4(50ml) -Tiempo 30min. -600°C -pH: 6 a7 -Tiempo de contacto: 25 min.	-Tiempo contacto: 30min. -Concentración inicial Pb2: 100-1000 mg/L -pH: 5,0	FTIR
Wang Y., y Liu R., 2018	Estiércol de yak	Pirolisis media	-Temperatura: 350 y 700 ° C -Tiempo: 2h. -pH CM: 2,0 y 6,0 -pH CV: 2.0 y 3.0 -Tiempo de contacto: 30 min.	-Madre de metales pesados (Pb, Cu, Cd y Zn) =1000 mg/L -Biocarbón: 0.2g en 200 mL de soluciones de metales pesados Tiempo: 30min. -18rpm	BET SEM FTIR

Wu et al., 2019	Cáscara de camelia	Pirolisis lenta	-Temperatura: 350°C -Tiempo: 4h. -Mezcla 20 mL 10% Soluciones de H2O2. -Tiempo de contacto: 30 minutos	-Biochar: 20mg en 20ml de solución. -Tiempo: 30min. -pH: 2 a 8 -Solución madre (Pb y Cd): 1000mg/L	SEM EDX FTIR BET
Deng Yiyi, et al., 2016	Paja de arroz	Pirolisis lenta	-Secado 80°C -Tiempo: 1h. -Tiempo de contacto: 30 min.	-Solución madre (Cd <sup>2+</sup> , Ni <sup>2+</sup> y NH <sub>4</sub> ): 1000 mg/L -pH: 5,5 ± 0,1 -Centrifugado: 4000 rpm Tiempo: 20min.	SEM FTIR XRD
Zhao et al., 2019	Paja de trigo	Pirolisis media	-Pirolisis: 400 y 700°C -Proporción de biocarbón: HCl fue de 50 g de biocarbón L-1 -Tiempo de contacto: 20 min.	-pH inicial: 2 a 6 -Centrifugado: 30rpm -Tiempo de muestreo (1/12, 1/6, 1/3, 2/3, 1, 2, 4, 8 y 24 h) 2mL -Filtro: acetilcelulosa de 0,22 µm para separar el sólido de la solución. -Concentración inicial de Pb: 5-1500 mg/L	FTIR SEM
Xia et al., 2020	Spartina alterniflora	Pirolisis rápida	-Temperatura: 800°C -Tiempo 2h. -Tiempo de contacto: 30 min.	-Concentración de Cd: 0,5, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 mg/L Cd <sup>2+</sup> ) -pH: 7 -Agitación: a 120rpm durante 24 h a 25°C	SEM BJH BET FTIR

Wang Yan, Li Y., et al., 2019	Caña (BC)	Pirolisis lenta	- pH: 9,85–10,95 -Pirolisis: -Temperatura: 450°C -Tiempo: 2h -Tiempo de contacto: 25 min.	-pH: 4.0 a 8.0 -BC: 0,05g en frascos de 150 ml con 50 ml de solución que contienen Cd -Agitación: 150rpm	XRD FTIR
Tan et al., 2019	Ramas del manzano	Pirolisis lenta	-Biocarbón (BC) fue activado con HNO3 - Pirolisis 500°C tiempo 2h. - Bc añadido a 50 mL de solución de KNO3 0.1 mol/L -pH: 3 a 10 -Tiempo de contacto: no indica	-Dosis: En un tubo de pvc se llenó de 10 <sup>a</sup> 30 cm con la muestra de biocarbón. -Temperatura de incubación: 40°C -Tiempo: 20 min.	FTIR SEM BET
Nzediegwu Christopher et al., 2021	Paja de canola + Aserrín	Pirolisis media	-Temperatura de pirolisis: 400 y 500°C N2 + ZnCl2 -Tiempo de contacto: 20 min.	-Tiempo de adsorción en las primeras 3 horas -pH: pH < 2	SEM FTIR XRD
Yang Shan Shan et al., 2019	Paja de trigo (WS), Paja de arroz (RS), Salvado de arroz (RB), Cáscara de arroz (RH) y Paja de maíz (CS).	Pirolisis lenta	-Temperatura: 300, 400 y 500 ° C -pH: pH < 2 -Tiempo: 4 horas Adición: HNO3 -Tiempo de contacto:3 horas	-Dosis: 10g. -pH: 5,5 -Después de 12 horas de equilibrio	FTIR SEM-EDX
Narayanan Mathiyazhagan et al., 2021	Paja de jacinto de agua	Pirolisis media	-Temperatura: 600°C -Tiempo: 1 hora y 30 minutos -pH: 5,5 -Tiempo de contacto: 30 minutos	-Dosis 15: 3 g de Biocarbón de Jacinto (WHBC) + A. niger (amalgama).	No indica
Abedinzadeh Motahhareh et al., 2020	Residuos de maíz	Pirolisis lenta	-Temperatura: 350 ° C -Tiempo: 60 minutos -pH: 7,9 -Tiempo de contacto: 20 min.	-pH: 7,4 -Incubación: 30 días --Cd (5 mg/L) y Pb (100 mg/L)	SEM

Rodriguez José et al., 2021	Cama de aves de corral (PL) Estiércol de cerdo (SM)	Pirolisis media	-Temperatura: 600 ° C -Tiempo: 4 horas -pH: 7,4 -Tiempo de contacto: no indica	Remoción: Metales pesados: >52%	SEM XPS
Bandara Tharanga et al., 2020	Plantas secas de alfalfa, brote de arveja; brote de canola; pajitas de trigo; y madera de goma de azúcar.	Pirolisis lenta	-Temperatura: 500 °C -Tiempo: No indica -pH: 6 -Tiempo de contacto: 30 min.	-Dosis biocarbón: 0,4 g -pH 3,20 - Cu (II): (18,0 mg g <sup>-1</sup> )	BET
Wang Shenwan et al., 2021	Cáscaras de coco	Pirolisis media	-Temperatura: 550 °C -Tiempo: 45 minutos -pH: 3,20 -Tiempo de contacto: 35 min.	Remoción de: -Cu (II): 87,7%	FTIR SEM XPS
Pan Jingweng et al., 2020	Desechos de residuos agrícolas	Pirolisis media	-Temperatura: 600 °C -Tiempo: No indica -pH: 5 -Tiempo de contacto: 25 min.	Remoción de: -Cu 2+: 75,76 mg / g -Pb 2+: 181,82 mg / g >80%	SEM-EDX
Lin Sen et al., 2020	Eichhornia crassipes de raíz larga	Pirolisis media	-Temperatura: 600 °C -Tiempo: No indica -pH: 6 -Tiempo de contacto: 30 min.	Remoción de: -Pb 2+: 0,57 mmol / g -Cu 2+: 0,41 mmol / g -Cd 2+: 0,44 mmol / g -Zn 2+: 0,48 mmol / g	SEM FTIR XRD

Lang J. et al., 2021	Desechos de raquis de plátano, cáscaras de cacao de la vaina, y cáscaras de arroz	Pirolisis media	-Temperatura: 800 °C -Tiempo: 1 hora y 40 minutos -pH: 4 Adición: HNO <sub>3</sub> -Tiempo de contacto: 35 min.	Remoción más alta: -Pb: 179,7 mg / g 83%	FTIR
Zhang Fengsong et al., 2021	-Estiércol de aves de corral + residuos de plantas (tallos de maíz, residuos de hongos y paja vegetal) -Biocarbón de tallo de trigo (WB) -Biocarbón de cáscara de arroz (RB)	Pirolisis media	-Temperatura: 600 °C -Tiempo: 2 horas -pH: 5 Adición: H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> -Tiempo de contacto: no indica	La fracción extraíble de As se redujo a: - WB: 0–53% -RB: 50–84% Mientras que la de Cd: -WB: 5–28 -RB en abono de estiércol de aves de corral: 25–41%.	SEM BET

Fuente: Elaboración propia

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipo y Diseño de Investigación**

El enfoque de la investigación es de tipo cualitativa, ya que en el método cualitativo la intersubjetividad es una pieza clave de la investigación cualitativa y de donde empieza los significados sociales donde el objetivo y lo objetivo es el sentido intersubjetivo que se atribuye a una acción; es el método de observación y recopilación de información donde puede ser vista como el intento de obtener una comprensión profunda de los significados y definiciones de la situación tal como nos la presentan las personas, más que la producción de una medida cuantitativa de sus características o conductas (Salgado A., 2007, p.71).

Debido a ello este estudio es una investigación cualitativa; ya que, los contextos de investigación no son artificiales; son naturales, nada está predefinido ni se da por sentado y un investigador cualitativo se sumerge en el campo, en un entorno natural (Veland, Siri, et al., 2018, p.3).

Además, la presente investigación es de tipo aplicada, de acuerdo con Gersbach et al., (2018, p.8) dado que la investigación aplicada consiste sobre todo en determinar la eficacia de las soluciones de un problema. Además, está enfocado en el estudio científico de una realidad problemática; buscando resolver problemas prácticos. Por ello en esta investigación se busca resolver la contaminación de metales pesados en medio hídrico; para lo cual se estudiarán diversos estudios a nivel nacional e internacional de la aplicación del biochar elaborado con residuos de cosecha.

Por otro lado, el diseño empleado es narrativo de tópico, ya que, nos permite contar una historia ayudándonos a esclarecer interrogantes o temas no tan claros, siendo la temática abordada en las narrativas acontecimientos o experiencias personales que se acota tanto histórica como socialmente ya que hace referencia a un fenómeno espaciotemporal muy preciso (Blanco M., 2011, p.136).

De tipo tópico, de acuerdo con Salgado A., (2007, p.73) ya que se va enfocar en los sucesos o fenómenos ocurridos en tiempos pasados, de una persona, comunidad o grupos; enfocándose en analizar el uso del biochar elaborado con residuos de cosecha para la adsorción de metales pesados en agua.

### 3.2 Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística

Tabla N° 2:

Matriz de Categorización Apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 1
Describir la influencia de los precursores de residuos de cosecha en la elaboración del biochar.	¿Cuál es la influencia de los precursores de residuos de cosecha en la elaboración del biochar?	Influencia de Precursores  (Yu Jie et al., 2017, p.2)	-Restos de cultivos industriales -Residuos de cosecha -Residuos de cultivos herbáceos (Rangabhashiyam S. et al., 2019, p.4)	Por la materia prima utilizada	De acuerdo al porcentaje de remoción
Identificar las metodologías de preparación más eficaces en la elaboración de biochar para la remoción de metales pesados.	¿Cuáles son las metodologías de preparación más eficaces en la elaboración de biochar para la remoción de metales pesados?	Metodologías de preparación  (Nejadshafiee et al., 2019, p.43)	-Metodología Físicas -Metodología Químicas -Físico-Químicas (Zhou Nan et al., 2017, p.2)	Por el método de elaboración del biochar	De acuerdo al reactivo químico empleado
Identificar los parámetros que influyen en la adsorción de metales pesados.	¿Qué parámetros influyen en la adsorción de los metales pesados?	Parámetros de adsorción  (Omulo Godfrey, 2020, p.7)	-Temperatura -Tiempo -Dosis de biochar (Iriarte Velasco Unai et al., 2016, p.1)	Por el parámetro aplicado en la elaboración del biochar	De acuerdo al aumento de eficacia con su correcta aplicación

Fuente: Elaboración propia

### **3.3 Escenario de estudio**

La presente investigación no cuenta con un escenario de estudio definido ya que no hay un entorno físico en el cual se realizará la investigación; se trata de una revisión sistemática en la cual se basará en la recaudación de revisiones nacional e internacional de todos los artículos acerca de los diferentes residuos de cosecha que se utilicen a nacional e internacional para la elaboración de biochar, aplicado en agua para la adsorción de metales pesados. Por ende, el escenario es el campo o laboratorio en los que se hayan realizados de manera práctica los estudios; siendo estos extraídos de artículos científicos, de diversas plataformas web.

### **3.4 Participantes**

Los participantes serán todas las fuentes de donde se extraigan los artículos científicos analizados que se obtendrán en la presente investigación en referencia a las investigaciones que hablen de la elaboración de biochar utilizando residuos de cosecha para la adsorción metales en agua; estas fuentes son portales web o bibliotecas virtuales indizadas de donde se puede encontrar una variedad de estudios a nivel del mundo, como artículos de revistas científicas, que son únicas que se emplearan para este estudio; todos ellos obtenidos de las bases de datos de: Science direct y Scopus.

### **3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

En la presente investigación se utilizará la ficha de análisis propuesta, la cual clasificará las investigaciones de acuerdo a: El título de la investigación, autor, palabras claves, año de publicación, lugar de publicación, Doi, ISBN, página, tipo de documento, metodología, objetivos y resultados; este será un instrumento de recolección de datos de las investigaciones obtenidas quienes pasaran por los diferentes filtros para poder ser seleccionadas y utilizadas como las categorías y sub categorías.

### 3.6 Procedimientos

Los procedimientos realizados en la metodología de la presente investigación son plasmados en el Gráfico 1, donde mostrará las diversas revistas indexadas, y los criterios:

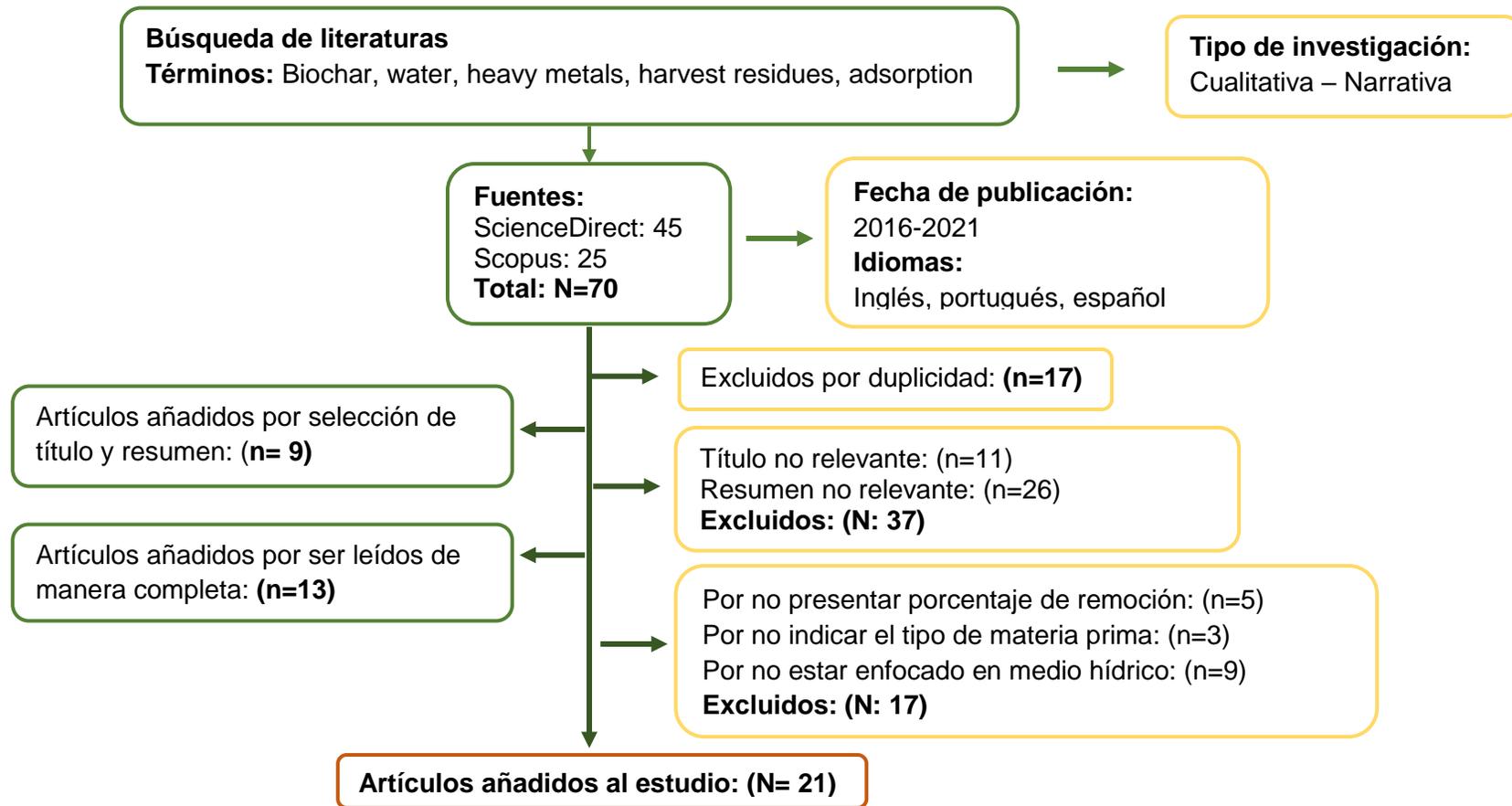


Gráfico N° 1: Procedimiento de Selección de investigaciones.

Fuente: elaboración propia.

### **3.7 Rigor científico**

La presente investigación presenta como validez y confiabilidad el cumplimiento de los criterios: credibilidad, confirmabilidad y dependencia como se describe a continuación.

La credibilidad se ha demostrado en la investigación en base a las revistas obtenidas de las fuentes de: science direct, scielo, Scopus y ProQuest, así, Arias M., Giraldo C., (2011, p. 504). Nos indica que la credibilidad se enfoca en la valoración de los resultados obtenidos por los autores en las situaciones que generan que la investigación sea creíble basándose en argumentos demostrativos como resultados obtenidos de las investigaciones de los estudios.

Así también la confirmabilidad, se basará en la interpretación de los resultados obtenidos en las investigaciones a nivel mundial las cuales servirán como fuentes para futuras investigaciones. Por ello

El presente trabajo cumplirá con el rigor científico de dependencia, de acuerdo con Salgado, A., (2007 p. 74) la dependencia recopila información específica y estable de los artículos de investigación, detallándose con claridad descripciones y metodología de la actividad insecticida de los aceites esenciales para el control de plagas en granos almacenados.

La confirmabilidad de acuerdo con Janice M., (1994, p. 95) se refiere a la forma en la cual un investigador puede seguir la pista, o ruta, de lo que se hizo en una investigación; se refiere a la neutralidad de la interpretación o análisis de la información teniendo datos necesarios del registro o documentos que se utilizaron en el estudio y es por ello que es aplicado. Siendo en la presente investigación aplicado de acuerdo a la recolección de datos de las diversas investigaciones para esclarecer dudas o temas no tratados.

### **3.8 Método de análisis de la Información**

El método de análisis fue desarrollado en base a la matriz de categorización apriorística como se muestra y detalla en la tabla 1; enfocándose en el problema general de ¿Cuál es el análisis del uso de biochar utilizando residuos de cosecha

para la adsorción de metales pesados en agua?, para ello, los objetivos específicos fueron:

Describir la influencia de los precursores de residuos de cosecha en la elaboración del biochar, Identificar las metodologías de preparación más eficaces en la elaboración de biochar para la remoción de metales pesados e Identificar los parámetros que influyen en la adsorción de metales pesados; siendo detallado también los métodos de procesamiento de análisis de datos, analizando las categorías, subcategorías e indicadores (Gras, 1996, p.24).

Seguido de ello se plantearon 3 categorías: de donde se expusieron sus respectivas sub categorías para brindar un resultado preciso a los objetivos específicos planteados:

Sub. C.1: Restos de cultivos industriales, residuos de cosecha, residuos de cultivos herbáceos. Sub. C.2: Metodología físicas, metodologías químicas, físico-químicas. Sub. C.3: Temperatura, tiempo, dosis de biochar.

### **3.9 Aspectos éticos**

Con el fin de garantizar la calidad del informe de investigación que lleva como título: Revisión sistemática del uso de biochar elaborado con residuos de cosecha para la adsorción de metales pesados en agua.

Se consideraron los aspectos éticos:

Respeto a la autoridad, para lo cual se respetó cada dato de autoría de las investigaciones utilizadas demostrado en las citas hechas. Se cumplió con los códigos de ética de la investigación de la universidad que autoriza su publicación o de ser el caso. Respecto de la guía de productos observables de la universidad Cesar Vallejo y a los autores de los documentos que aportaron en nuestra investigación los cuales fueron debidamente citados de acuerdo a la norma ISO 690, por todo ello, se puede decir que las informaciones utilizadas en la investigación son auténticas y veraces.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como adsorbente eficiente y de bajo costo, el biocarbón ha atraído una gran atención e investigación en el campo del tratamiento del agua contaminada por metales pesados debido a su superioridad en la adsorción de metales pesados (Qiu Bingbing et al., 2021, p.2).

Sin embargo, a medida que avanza la investigación sobre las propiedades fisicoquímicas del biocarbón, el mecanismo de adsorción, el biocarbón modificado y los factores que afectan la adsorción de metales pesados (Li Yuanling et al., 2021, p.1).

Aún existe una falta de información relevante en la aplicación de campo de cuerpos de agua contaminados con metales pesados, es por ello se busca analizar el uso de biochar utilizando residuos de cosecha para la adsorción de metales pesados en agua.

La propiedad del biocarbón producido depende en gran medida de la composición y el tipo de biomasa y de las condiciones en las que se carboniza la biomasa; es por ello que se busca determinar la influencia de los precursores de residuos de cosecha en la elaboración del biochar; detallando en la Tabla N°3; la materia prima empleada; siendo sub categorizados en residuos de cosecha y residuos agrícolas.

Tabla N°3:

Influencia de precursores.

Recurso	Biomasa	Porcentaje de remoción	Fuente de investigación
Residuos agrícolas o de cosecha	Tallo de maíz (CB)	Remoción de Cd con:	Chen et al., 2020
	Rama de sauce (WB)	-CB: 80% -WB: 65%	
	Estiércol de vaca (CM) vermicompost (CV)	Remoción de Pb con CM: 80% CV: 92%	Zhang weiwèn et al., 2020
	Estiércol de yak	Remoción del Cd en 42%	Wang Y., y Liu R., 2018

Cáscara de semilla de camelia	Remoción de: -Pb: 80,61–89,03% -Cd: 53,57–75,84%	Wu et al., 2019
Paja de arroz	Remoción: -Cd: >60% -Ni: >60%	Deng Yiyi et al., 2016
Paja de trigo	Remoción: -Pb: 79%	Zhao Yueling et al., 2019
Spartina alterniflora	Remoción: -Cd: 64,44–73,25%	Xia Huijuan et al., 2020
Planta fanerógama	-Pb: 94% -Cd: 70%	Yu et al., 2020
Caña (BC)	Remoción: -Cd: 72%	Wang Yan, Li Y., et al., 2019
Ramas del manzano	Remoción de: -Pb: 60 a 70%	Tan et al., 2019
Paja de canola + Aserrín	Remoción de: -Pb: 80%	Nzediegwu Christopher et al., 2021
Paja de trigo (WS), Paja de arroz (RS), Salvado de arroz (RB), Cáscara de arroz (RH) y Paja de maíz (CS).	Remoción de: Pb(II), Cd(II), Cu(II), Zn(II) y Cr(VI) RS: 93.03 ± 3.34% RB: 92.49 ± 2.87%; CS: 90.10 ± 2.87%; WS: 34.33 ± 1.02%; RH: 25.30 ± 0.57%	Yang Shan Shan et al., 2019
Paja de jacinto de agua	Remoción de: Cr: 91,5% Cd: 95,6% Pb: 93,9% Reducción promedio de todos los contaminantes: 91-95%	Narayanan Mathiyazhagan et al., 2021
Residuos de maíz	Remoción de: -Pb: 78 a 80% -Cd: 72 a 76%	Abedinzadeh Motahhareh et al., 2020
Cama de aves de corral (PL) Estiércol de cerdo (SM)	Remoción: Metales pesados: >52%	Rodriguez José et al., 2021
Plantas secas de alfalfa, brote de arveja; brote de canola; pajitas de trigo; y madera de goma de azúcar.	Remoción de: Cd(II) en el agua de mina mostraron el siguiente orden PBC (>99%) > LBC (82%) >	Bandara Tharanga et al., 2020

VBC (55%) > CBC  
(20%) > WBC (6,5%)  
> SBC (6%).

Remoción de:  
Orden de eficiencia de  
eliminación de Cu(II):  
PBC (99,9%) > LBC  
(99,8%) > VBC  
(99,7%) > CBC  
(95,0%) > WBC  
(0,55%) > SBC  
(0,34%).

Cáscaras de coco	Remoción de: -Cu (II): 87,7%	Wang Shenwan et al., 2021
Desechos de residuos agrícolas	Remoción de: -Cu 2+: 75,76 mg / g -Pb 2+: 181,82 mg / g >80%	Pan Jingweng et al., 2020
<i>Eichhornia crassipes</i> de raíz larga	Remoción de: -Pb 2+: 0,57 mmol / g -Cu 2+: 0,41 mmol / g -Cd 2+: 0,44 mmol / g -Zn 2+: 0,48 mmol / g	Lin Sen et al., 2020
Desechos de raquis de plátano, cáscaras de cacao de la vaina, y cáscaras de arroz	Remoción más alta: -Pb: 179,7 mg / g 83%	Lang J. et al., 2021
-Estiércol de aves de corral + residuos de plantas (tallos de maíz, residuos de hongos y paja vegetal) -Biocarbón de tallo de trigo (WB) -Biocarbón de cáscara de arroz (RB)	La fracción extraíble de As se redujo a: -WB: 0–53% -RB: 50–84% Mientras que la de Cd: -WB: 5–28 -RB en abono de estiércol de aves de corral: 25–41%.	Zhang Fengsong et al., 2021

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la comparación de 21 estudios empleando residuos de cosecha se indica que la influencia de la aplicación de este tipo de precursores como materia prima en la elaboración de biochar influye significativamente en la capacidad de adsorción de los metales pesados como el Pb, Cd, Cu, Zn, entre otros; alcanzando niveles de adsorción que van en promedios de 80 a 90%.

Además, el metal que más adsorción generó el biochar elaborado de residuos de cosecha es el Pb; siendo ello apoyado por Zhang weiwèn et al., 2020 y Wu et al., 2019; quienes utilizando residuos estiércol de vaca y cáscaras de semilla de camelia obtuvieron una adsorción del Pb en 92% y 89,03%. Esto también apoyado por Yu et al., 2020, Nzediegwu Christopher et al., 2021, Narayanan Mathiyazhagan et al., 2021 y Abedinzadeh Motahhareh et al., 2020; quienes presentaron una eficiencia del 94%, 80%, 93.9%, 80% en la adsorción.

El biocarbón derivado de residuos de cultivos se ha convertido en un material viable y respetuoso con el medio ambiente, además, el biocarbón basado en residuos de cultivos tiene algunas ventajas (como un menor contenido de cenizas y una mayor superficie), en comparación con otros biocarbones de materias primas, lo que podría atribuirse a las mayores proporciones de lignocelulosa en el biocarbón de residuos de cultivos (Kumar Abhishel et al., 2021, p.4).

Esto es también apoyado por Yang Yang et al., (2021, p.8) quien señala que, entre las materias primas, los residuos de cultivos representan la fuente más accesible de enmiendas para aplicaciones ambientales. Además, la conversión de residuos de cultivos en biocarbón mediante pirólisis y su uso final en las explotaciones agrícolas proporcionará múltiples beneficios como la remediación de metales, la reducción del flujo de residuos y la mejora del secuestro de carbono (Haris Muhammad et al., 2021, p.2).

Así también un 75% de los investigadores que aplican los residuos de cosecha como materia prima para elaborar biocarbón presentan porcentajes de remoción mayores al 80% (Hamid Yasir et al., 2019, p.3).

Siendo esto respaldado por los autores Chen et al., 2020, Zhang weiwèn et al., 2020, Wu et al., 2019, Yu et al., 2020, Wang Yan, Li Y., et al., 2019, Nzediegwu Christopher et al., 2021, Yang Shan Shan et al., 2019, Narayanan Mathiyazhagan et al., 2021, Bandara Tharanga et al., 2020, Wang Shenwan et al., 2021, Pan Jingweng et al., 2020, Lang J. et al., 2021. Obteniendo porcentajes de remoción de 70 a 99,7%.

Las metodologías de preparación más eficaces en la elaboración de biochar para la remoción de metales se muestran en el Gráfico N°2:

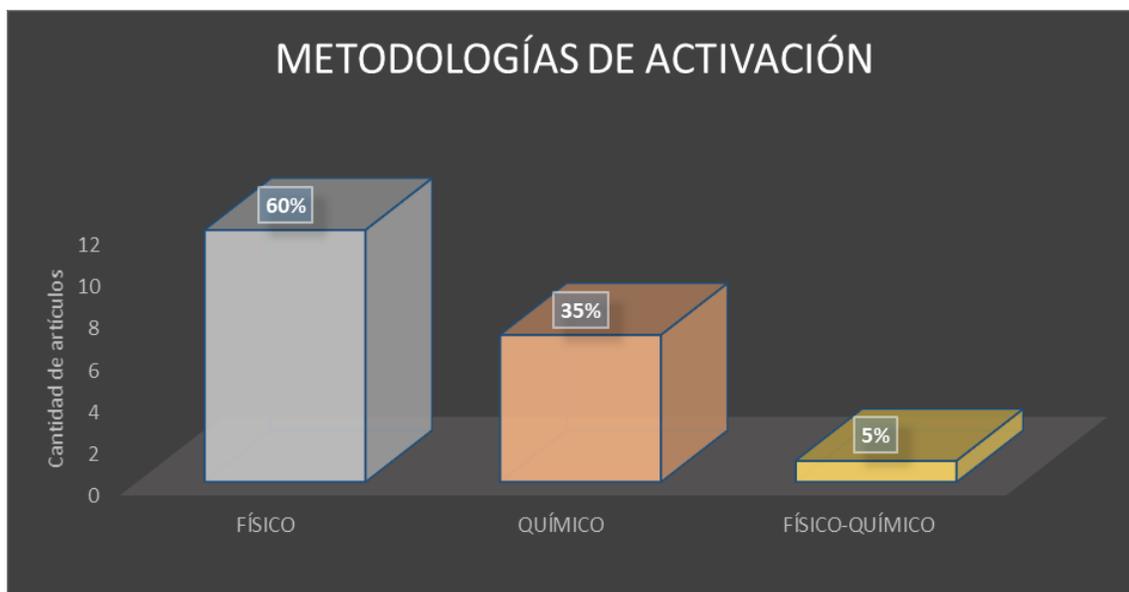


Gráfico 2: Metodologías de activación del biochar.

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de los métodos de preparación del biochar se encuentran sub categorizadas como son las físicas, químicas o ambas; mostrando los resultados de acuerdo al grafico 2 respecto al anexo N°1 el método de activación más eficaz y empleado es el físico, siendo ello respaldado por el 60% de los investigadores; mientras que un 35% emplea la activación química y el 5% ambas.

Esto se debe según Sakhiya Anil Kumar et al., (2021, p.1) a que el biocarbón activado de manera física y química tienen una estructura interna microporosa, con una superficie específica de 105,21 y la capacidad de adsorción de 255,88 m del biocarbón activado con acetato de potasio era mayor que la del biocarbón activado con vapor; debido a ello la cinética sugiere reacciones espontáneas y endotérmicas.

Al respecto Sharma Sakshi et al., (2019, p.4) señala que no se utiliza ampliamente la activación química por el coste de producción; ya que de 1 kg de biocarbón activado física y químicamente en (USD) incurrido para derivar 1 kg de R-H<sub>2</sub>O y R-CH<sub>3</sub>COOK a partir de paja de arroz a escala de laboratorio fue de 103,70 y 193,08 INR respectivamente; observando que el gasto de la producción de biocarbón activado químicamente fue mayor debido a la utilización de productos químicos, sin

embargo el coste de producción del biocarbón activado físicamente era relativamente barato. El precio casi se duplica en el caso del biocarbón activado químicamente.

Por último, los parámetros que influyen en la adsorción de los metales pesados se encuentran sub categorizados por temperatura, tiempo de pirólisis y dosis de biochar; mostrando los resultados de la identificación de los parámetros de temperatura de pirolisis en el gráfico 3.

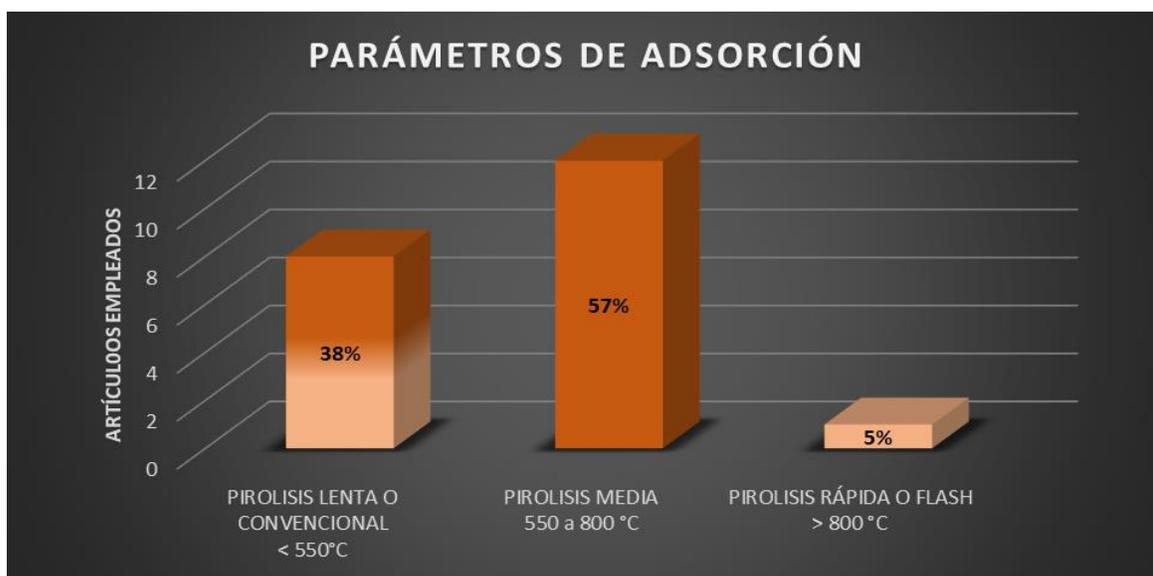


Gráfico N°3: Identificación de los parámetros que influyen en la adsorción de MP  
Fuente: Elaboración propia

La temperatura de pirolisis más usada por los autores de acuerdo al anexo 1 es la pirolisis media; presentando un rango de 550 a 800°C. De acuerdo con el gráfico 3 respecto al anexo 1 un 57% son los que utilizan este tipo de pirolisis; siendo ello corroborado por 12 de los 21 autores; Yu et al., 2020, Zhang Weiwen et al., 2020, Deng Yiyi, et al., 2016, Tan et al., 2019, Yang Shan Shan et al., 2019, Abedinzadeh Motahhareh et al., 2020, Bandara Tharanga et al., 2020, Wang Shenwan et al., 2021, Pan Jingweng et al., 2020, Lin Sen et al., 2020, Lang J. et al., 2021 y Zhang Fengsong et al., 2021.

Esto es también apoyado por Tomczyk Agnieszka et al., (2020, p.5) señalando que los biocarbones mostraron mayores grupos funcionales orgánicos cuando se

prepararon a una temperatura moderada temperatura (por ejemplo, 550 °C) que a alta temperatura y mostraron una mayor área superficial, porosidad y estabilidad cuando se preparaban a temperatura moderada que a baja temperatura. Esto es también corroborado por Zhang Fengsong et al., 2021, quien realizó una pirólisis media con una temperatura de 550 °C y observó un aumento en la porosidad y adsorción de los metales pesados.

Respaldando lo anteriormente dicho se encuentran Chen et al., 2020, Wang Yan, Li Y., et al., 2019, Nzediegwu Christopher et al., 2021 y Rodriguez José et al., 2021; quienes, aunque utilizaron un tipo de pirolisis lenta usaron temperaturas de 500 °C para el proceso de adsorción de los metales pesados en el agua; empleando los residuos de cosecha como Tallo de maíz (CB), Rama de sauce (WB), caña (BC), paja de canola y camas de ave de corral. De acuerdo a ello, los autores que emplean un tipo de pirolisis lenta o convencional es el 38%; manteniendo un rango de temperatura menor a 550 °C.

Así también, el tiempo de contacto es esencial, ya que de ello depende la adsorción del biocarbón (Soria Verdugo et al., 2020, p.3). Siendo que, respecto al anexo 1 un 70% de los autores encontraron un equilibrio de adsorción en el tiempo promedio de contacto de 20 a 30 min. De acuerdo con Qureshi Khan Muhammad et al., (2021, p.2) este tiempo de contacto permite el equilibrio de adsorción entre el adsorbato y el adsorbente en el cual se dará la mayor adsorción de los iones metálicos.

Esto es respaldado por los siguientes autores: Yu et al., 2020, Zhang Weiwen et al., 2020, Wang Y., y Liu R., 2018, Wu et al., 2019, Deng Yiyi, et al., 2016, Zhao et al., 2019, Xia et al., 2020, Tan et al., 2019, Yang Shan Shan et al., 2019, Narayanan Mathiyazhagan et al., 2021, Rodriguez José et al., 2021, Wang Shenwan et al., 2021, Pan Jingweng et al., 2020, Zhang Fengsong et al., 2021.

Pero existen otros autores quienes presentan oposición en sus resultados; encontrando un equilibrio de adsorción en un tiempo de contacto de 24 horas como es el caso de Chen et al., 2020; así también está Nzediegwu Christopher et al., 2021, con una adsorción de los iones metálicos en un tiempo de contacto de 3 horas.

Por último, el pH de las soluciones suele influir significativamente en la adsorción de los iones de metales pesados debido a la especiación de los iones, la carga superficial y la funcionalidad de los mismos metales pesados debido a la especiación de los iones, la carga superficial y la de los grupos funcionales del adsorbente (Zhu Jialong et al., 2021, p.2). Donde el 80% de los autores que investigamos lograron alcanzar la adsorción de los metales pesados con un pH en rangos de 2 a 6.

Esto es corroborado por Siddiqui et al. (2011, p.42); quien afirma que señala que la adsorción de los metales pesados de no sobrepasando un pH de 6; es decir; el equilibrio de adsorción se da en intervalos de 2 a 6.

Es así que Zhang weiwen et al. (2020, p.5). Indica que los resultados del experimento por lotes revelaron que todos los adsorbentes eliminaron rápidamente el  $Pb^{2+}$  en 30 minutos. Con un pH entre 2,0 y 6,0 afectó positivamente al  $Pb^{2+}$  eliminación por CM y su biocarbón. Esto corroborado con lo expuesto por Zhao Yueling et al., 2019, quien afirma en su estudio que un aumento del pH de 2,5 a 5,0 condujo a un aumento de la eliminación de  $Pb(II)$ , que luego disminuyó cuando el pH  $> 5$ .

Por otro lado, los resultados de Wang Yan, Li Y., et al., 2019 mostraron que un efecto promotor de DOM sobre la eliminación de  $Cd(II)$  se demostró a pH  $< 6$ , mientras que apareció un efecto inhibitorio a pH  $> 6$ .

Además, en la investigación de Nzediegwu Christopher et al., 2021, la adsorción de plomo (II) en los carbones se ajustó bien a los modelos Freundlich, Langmuir y Temkin y el modelo de mejor ajuste dependía del método de producción; el tipo de materia prima y la temperatura de producción de los carbones. Afirmando que el tiempo y la temperatura son los parámetros influyentes en la adsorción de los metales pesados.

Bandara Tharanga et al., 2020 apoya lo anteriormente dicho; señalando que la  $T^\circ$  de pirólisis y el pH van de la mano, donde una mayor temperatura de pirólisis aumenta el pH de la mayoría de los biocarbones. Aumentando en su estudio el pH del biocarbón en 3,2 unidades, en promedio, con el aumento de la temperatura de pirólisis de 300 a 700  $^\circ C$ .

Así también Rodríguez José et al., 2021 señala que un aumento de la temperatura en más de 500°C disminuye el rendimiento del biocarbón; señalando que independientemente de la materia prima, el rendimiento del biocarbón disminuyó gradualmente de 70 a 88% hasta alrededor del 48% con el aumento de la temperatura de pirólisis, con una reducción drástica del rendimiento de biocarbón entre 300 °C y 500 °C.

Esto es rechazado por Liu Fang gang et al., (2021, p.2) quien afirma que cuando la temperatura de pirólisis aumentó de 500 a 700 °C se observaron menores variaciones en el rendimiento del biocarbón (media del 5,4%). Por lo tanto, la pirólisis a alta temperatura (>500 °C) no afectó al rendimiento, pero resultó en cambios en las propiedades físicas y químicas de los de los biocarbones.

## V. CONCLUSIONES

La información recabada en el presente trabajo de investigación, nos permitió concluir lo siguiente:

La influencia de la aplicación de este tipo de precursores como materia prima en la elaboración de biochar influye significativamente en la capacidad de adsorción de los metales pesados como el Pb, Cd, Cu, Zn, entre otros; alcanzando niveles de adsorción que van en promedios de 80 a 90%. Y el metal que más adsorción se genera con los residuos de cosecha es el Pb; obteniendo adsorciones de 92% y 89,03%.

Las metodologías de preparación más eficaces son la física y química; donde el método de activación física es empleado por un 60% de investigadores y la química por el 35% mientras que ambas solo un 5%. Esto debido a que, aunque con la activación química se presentan mejores resultados es más costoso.

Los parámetros más empleados por los autores son la temperatura de pirólisis media en un rango de 550 a 800°C de acuerdo al 57% de los investigadores; el tiempo de contacto de acuerdo al 70% de los autores encontraron el equilibrio de adsorción en 20 a 30 min. Encontrando en ese tiempo el equilibrio de adsorción entre el adsorbato y el adsorbente; por último, el 80% de los autores que investigamos lograron alcanzar la adsorción de los metales pesados con un pH en rangos de 2 a 6.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Las recomendaciones y sugerencias como aporte para futuras investigaciones referentes al estudio son:

Se recomienda emplear los residuos de cosecha en la elaboración del biochar; siendo demostrado por diversos investigadores que presentan un alto porcentaje de adsorción en los iones metálicos.

Con base en la revisión sistemática realizada se recomienda realizar mayores investigaciones aplicando combinación de biocarbón con otros insumos como el compostaje, para aumentar su efectividad; ya que, aunque el biocarbón presentó buenos resultados en la adsorción de metales pesados en el agua los rangos no llegan a un 100% pero sí podrían aumentar si se le añade otros productos.

Se recomienda mayores estudios con la combinación de métodos de activación física y química para la adsorción de contaminantes en medio acuoso; ya que, los estudios en suelo si lo emplean y ello incrementa el porcentaje de remoción.

Se recomienda producir biocarbón a partir de la pirolisis de biomasa de residuos de cosecha con la adición de otra biomasa o precursor que no sea de biomasa de cosecha hasta lograr un rendimiento superior para la adsorción e inmovilización de metales pesados.

## REFERENCIAS

1. Abedinzadeh, Motahhareh, et al. Combined use of municipal solid waste biochar and bacterial biosorbent synergistically decreases Cd (II) and Pb (II) concentration in edible tissue of forage maize irrigated with heavy metal–spiked water. *Heliyon*, 2020, vol. 6, no 8, p. e04688. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04688>
2. Acosta, L. Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación- floculación. ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar [En línea]. 2006. [Fecha de consulta: 18 de junio de 2020]. ISSN: 0138-6204.
3. Al-saydeh, Sajeda A.; EL-NAAS, Muftah H.; ZAIDI, Syed J. Copper removal from industrial wastewater: A comprehensive review. *Journal of industrial and engineering chemistry*, 2017. [Fecha de consulta: 18 de junio de 2020]. vol. 56, Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1226086X17303969>
4. Arias, M. & Giraldo, C. EL rigor científico en la investigación cualitativa. *Invest Educ Enferm* [En línea]. 2011. Vol 23. [Fecha de consulta: 3 de junio de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/iee/v29n3/v29n3a20>
5. Bandara, Tharanga, et al. Mechanisms for the removal of Cd (II) and Cu (II) from aqueous solution and mine water by biochars derived from agricultural wastes. *Chemosphere*, 2020, vol. 254, p. 126745. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126745>
6. Barenys [et al]. Heavy metal and metalloids intake risk assessment in the diet of a rural population living near a gold mine in the Peruvian Andes (Cajamarca). *Food and chemical toxicology*. [En línea] 2014, vol. 71. [fecha de consulta: 30 de setiembre del 2020]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.06.018>
7. Blanco M., Investigación narrativa: una forma de generación de conocimientos. *Argumentos* [En línea]. México: DF, 2011. vol. 24, no 67. [fecha de consulta: 15 de setiembre del 2020]. ISSN 0187-5795

8. Calero, M. et al. Biosorption kinetics of cd (ii), cr (iii) and pb (ii) in aqueous solutions by olive stone. brazilian journal of chemical engineering. [En línea], 2009. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2019]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-66322009000200004>
9. Campos [et al]. Chemical, physical and morphological properties of biochars produced from agricultural residues: Implications for their use as soil amendment. Waste Management. [En línea]. 2020, vol. 105. [fecha de consulta: 28 de setiembre del 2020]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.013>
10. Cooke C., y Abbott M., A paleolimnological perspective on industrial-era metal pollution in the central Andes, Peru. Science of the total environment. [En línea]. 2008, vol. 393, no 2-3. [fecha de consulta: 30 de setiembre del 2020]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.12.034>
11. Competitive adsorption behaviour and mechanisms of cadmium, nickel and ammonium from aqueous solution by fresh and ageing rice Straw biochars por Deng [et al]. Bioresource Technology [En línea]. Mayo 2020 vol 303. [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122853>
12. De Los Santos [et al]. Adsorción de cobre (II) y cadmio (II) en suspensiones acuosas de CaCO<sub>3</sub> biogénico nanoestructurado. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. [En línea]. 2019, vol. 58, no 1. [fecha de consulta: 28 de setiembre del 2020]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2018.05.003>
13. Dominguez, M, y Rodríguez I., Aspectos éticos en la investigación cualitativa [En línea] 2010. Vol. 12. [Fecha de consulta: 3 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com>
14. Escobedo [et al]. Modelos de ecuaciones estructurales: Características, fases, construcción, aplicación y resultados. Ciencia & trabajo. [En línea]. 2016, vol. 18, no 55. [fecha de consulta: 26 de setiembre del 2020]. Disponible: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-24492016000100004>

15. Matustík, Jan, Hnatková, Teresa, y Kocí Vladimír. Life cycle assessment of biochar - to- soil systems: a review [En línea]. Journal of cleaner production 2020, Vol 259. [Fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120998>
16. Nejadshafiee, V y Islami, M. Adsorption capacity of heavy metal ions using sultone-modified magnetic activated carbon as a bio-adsorbent [En línea] vol 101. Agosto de 2019. [Citado el: 3 de octubre de 2019.] <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.03.081>
17. Effects of macromolecular humic/fulvic acid on Cd (II) adsorption onto reed-derived biochar as compared with tannic acid por Wang [et al]. International journal of biological macromolecules [En línea]. 2019, vol. 134. [Fecha de consulta: 26 de junio del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.039>
18. Effect of three artificial aging techniques on physicochemical properties and Pb adsorption capacities of different biochars por Tan [el al]. Science of the total environment [En línea]. Enero 2020 vol.699. [Fecha de consulta:10 de abril del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134223>
19. Elaboration characteristics and advantages of biochars for the management of contaminated soils with a specific overview on miscanthus biochars por Janus, A [Et al]. Jorurnal of environmental [En línea]. 2015, vol 162. [Fecha de consulta: 15 de septiembre del 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.056>
20. Ebal, G. Adsorption kinetics and aggregation for three classes of carbonaceous adsorbents in the presence of natural organic matter. [En línea], 2019. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.014>
21. Estrada [et al]. Adsorption kinetics and aggregation for three classes of carbonaceous adsorbents in the presence of natural organic matter. Chemosphere. [En línea]. EE. UU, 2019, vol. 229. [fecha de consulta: 28 de setiembre del 2020]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.014>

22. Escalante [et al]. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. Revista terra latinoamericana. [En línea] México, 2016, vol. 34, no 3. [fecha de consulta: 28 de setiembre del 2020]. ISSN: 2935-8030
23. Figueroa, Danilo, Moreno Anderson, Hormaza Angelina. Equilibrio, termodinámico y modelos cinéticos en la adsorción de rojo 40 sobre tuza de maíz. [En línea]. 2015, No 26. [Fecha de consulta: 8 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v14n26/v14n26a08.pdf> ISSN: 1692-3324
24. Gallignani [et al]. On-line Gaseous Phase Generation-Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrometry. A New and Powerful Analytical Technique. [En línea]. Venezuela, 2005. Vol. 28. [fecha de consulta: 15 de setiembre del 2020]. ISSN 0254-0770
25. García [et al]. Water contamination from oil extraction activities in Northern Peruvian Amazonian rivers. Environmental Pollution. [En línea]. 2017, vol. 225. [En línea]. 2020, vol. 10. [fecha de consulta: 30 de setiembre del 2020]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.02.063>
26. Gerimendi [et al]. DE COMPOSTAJE, RED ESPAÑOLA. Enmiendas orgánicas de nueva generación: biochar y otras biomoléculas III. 8. Ediciones Paraninfo, SA. [En línea] 2014. [fecha de consulta: 30 de setiembre del 2020]. ISBN: 987-84-8476-692-6
27. GERSBACH [et al]. Hierarchical growth: Basic and applied research. Journal of Economic Dynamics and Control. [En línea]. 2018, vol. 90. [fecha de consulta: 26 de setiembre del 2020]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2018.03.007>
28. Green preparation of magnetic biochar for the effective accumulation of Pb (II): Performance and mechanism por Zhao [et al]. Chemical Engineering Journal [En línea]. 2019, vol.375. [fecha de consulta: 26 de junio del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122011>
29. Hamid, Yasir, et al. An explanation of soil amendments to reduce cadmium phytoavailability and transfer to food chain. Science of The Total Environment, 2019, vol. 660, p. 80-96. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126212>

30. Harindintwali [et al]. Lignocellulosic crop residue composting by cellulolytic nitrogen-fixing bacteria: A novel tool for environmental sustainability. *Science of The Total Environment*. [En línea] 2020, vol. 715. [fecha de consulta: 30 de setiembre del 2020]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136912>
31. Iriarte-Velasco, Unai, et al. Preparation of a porous biochar from the acid activation of pork bones. *Food and Bioproducts Processing*, 2016, vol. 98, p. 341-353. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.03.003>
32. Kumar [et al]. Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: A meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses. *Chemosphere*. [En línea]. 2019, vol. 236. [fecha de consulta: 30 de setiembre del 2020]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124364>
33. Kaijth, Abhishek, et al. Performance evaluation of crop residue and kitchen waste-derived biochar for eco-efficient removal of arsenic from soils of the Indo-Gangetic plain: A step towards sustainable pollution management. *Environmental Research*, 2021, vol. 200, p. 111758. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111758>
34. Lang, J., et al. Evaluation and selection of biochars and hydrochars derived from agricultural wastes for the use as adsorbent and energy storage materials. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, vol. 9, no 5, p. 105979. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105979>
35. Lazo [et al]. Síntesis y caracterización de arcillas organofílicas y su aplicación como adsorbentes del fenol. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. [En línea]. Perú, 2008, vol. 74, no 1. [fecha de consulta: 26 de setiembre del 2020]. ISSN 1810-634X
36. Leininger, M. Evaluation criteria and critique of qualitative research studies. *Qualitative research methods*. Beverly Hills: Sage Publications. [En línea]. 1994, Vol.95. [Fecha de consulta: 2 de octubre del 2020]. Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=3ZlrPlpU1oAC&oi=fnd&pg=PA95&dq=Evaluation+criteria+and+critique+of+qualitative+research+studies.+Qualitative+research+methods.&ots=yQOkSFS9P&sig=nYmGiE\\_2oEWkMPSKK9DU](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=3ZlrPlpU1oAC&oi=fnd&pg=PA95&dq=Evaluation+criteria+and+critique+of+qualitative+research+studies.+Qualitative+research+methods.&ots=yQOkSFS9P&sig=nYmGiE_2oEWkMPSKK9DU)

Gsx4SU#v=onepage&q=Evaluation%20criteria%20and%20critique%20of%20qualitative%20research%20studies.%20Qualitative%20research%20methods.&f=false

37. LI, Yuanling, et al. Application of co-pyrolysis biochar for the adsorption and immobilization of heavy metals in contaminated environmental substrates. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, p. 126655. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126655>
38. LIN, Sen, et al. Recycling application of waste long-root *Eichhornia crassipes* in the heavy metal removal using oxidized biochar derived as adsorbents. *Bioresource Technology*, 2020, vol. 314, p. 123749. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123749>
39. LIU, Fang-gang, et al. In-situ characterization of volatiles from pyrolysis of Fengfeng coal by a double ionization time-of-flight mass spectrometer. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 2021, vol. 49, no 5, p. 573-581. Disponible: [https://doi.org/10.1016/S1872-5813\(21\)60076-2](https://doi.org/10.1016/S1872-5813(21)60076-2)
40. Marin J., Elaboración de biocarbón obtenido a partir de la cáscara del cacao y raquis del banano. [En línea]. Ecuador, 2019. [fecha de consulta: 28 de setiembre del 2020]. Disponible: <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>
41. Middelanis, T. El biocarbón aplicado al suelo retiene agua y nutrientes en los valles interandinos del Departamento de Cochabamba, Bolivia. *Acta Nova*. [En línea] 2019, vol. 9, no 3. [fecha de consulta: 30 de setiembre del 2020]. ISSN: 1683-0768.
42. Narayanan, Mathiyazhagan, et al. Water hyacinth biochar and *Aspergillus niger* biomass amalgamation potential in removal of pollutants from polluted lake water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, vol. 9, no 4, p. 105574. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105574>
43. Nigar S., y Ahmad S. Assessment of water quality pollution indices and distribution of heavy metals in drinking water in Ramganga aquifer, Bareilly District Uttar Pradesh, India. *Groundwater for Sustainable Development*. [En línea]. 2020, vol. 10. [fecha de consulta: 30 de setiembre del 2020]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100304>

44. NZEDIEGWU, Christopher; NAETH, M. Anne; CHANG, Scott X. Lead (II) adsorption on microwave-pyrolyzed biochars and hydrochars depends on feedstock type and production temperature. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, vol. 412, p. 125255. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125255>
45. Omulo, Godfrey. Biochar Potential in Improving Agricultural Production in East Africa. *Applications of Biochar for Environmental Safety*, 2020, p. 123. Disponible: <https://doi.org/10.5772/intechopen.92195>
46. Panhg, Jingwen, et al. Waste-to-resources: green preparation of magnetic biogas residues-based biochar for effective heavy metal removals. *Science of The Total Environment*, 2020, vol. 737, p. 140283. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140283>
47. Qiu, Bingbing, et al. Biochar as a low-cost adsorbent for aqueous heavy metal removal: a review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2021, p. 105081. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105081>
48. Qureshi, Khan Muhammad, et al. Optimization of palm shell pyrolysis parameters in helical screw fluidized bed reactor: Effect of particle size, pyrolysis time and vapor residence time. *Cleaner Engineering and Technology*, 2021, p. 100174. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100174>
49. Rangabhashiyam, S., et al. The potential of lignocellulosic biomass precursors for biochar production: performance, mechanism and wastewater application-a review. *Industrial Crops and Products*, 2019, vol. 128, p. 405-423. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.041>
50. Rodriguez, José Alexander, et al. Co-pyrolysis of agricultural and industrial wastes changes the composition and stability of biochars and can improve their agricultural and environmental benefits. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2021, vol. 155, p. 105036. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105036>
51. SAKHIYA, Anil Kumar, et al. A comparative study of physical and chemical activation of rice straw derived biochar to enhance Zn<sup>+2</sup> adsorption. *Bioresource*

- Technology Reports, 2021, vol. 15, p. 100774. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100774>
52. Salgado A. Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos. Liberabit. [En línea]. Perú, 2007, vol. 13, no 13. [fecha de consulta: 26 de setiembre del 2020]. ISSN 1729-4827
53. Sandoval-Ibarra [et al]. Ecuación de Langmuir en líquidos simples y tensoactivos. Educación química. [En línea]. México, 2015, vol. 26, no 4. [fecha de consulta: 28 de setiembre del 2020]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.03.002>
54. Sharma, Sakshi; NAGPAL, Avinash Kaur; KAUR, Inderpreet. Appraisal of heavy metal contents in groundwater and associated health hazards posed to human population of Ropar wetland, Punjab, India and its environs. Chemosphere, 2019, vol. 227, p. 179-190. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100774>
55. Soria-verdugo, Antonio, et al. On the characteristic heating and pyrolysis time of thermally small biomass particles in a bubbling fluidized bed reactor. Renewable Energy, 2020, vol. 160, p. 312-322. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.008>
56. Sosa G. y Zalts A., Adsorción de colorantes sobre tierra de diatomeas: Un trabajo de laboratorio con enfoque ambiental. Educación química. [En línea]. México, 2012, vol. 23, no 4. [fecha de consulta: 26 de setiembre del 2020]. Disponible: [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30138-6](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30138-6)
57. Tomczyk, Agnieszka; SOKOŁOWSKA, Zofia; BOGUTA, Patrycja. Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 2020, vol. 19, no 1, p. 191-215. Disponible: <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09523-3>
58. Trujillo [et al]. Producción y caracterización química de biochar a partir de residuos orgánicos avícolas. Revista de la Sociedad Química del Perú. [En línea]. 2019, vol. 85, no 4. [fecha de consulta: 28 de setiembre del 2020]. Disponible: <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v85i4.262>

59. The distribution of Pb (II)/ Cd (II) adsorption mechanisms on biochars from aqueous solution: considering the increased oxygen functional groups by HCL treatment por Wu [et al]. *Bioresource technology* [En línea]. Noviembre 2019, vol. 291. [Fecha de consulta: 9 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121859>
60. 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>
61. Wang, Shenwan, et al. Calcite modification of agricultural waste biochar highly improves the adsorption of Cu (II) from aqueous solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, p. 106215. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106215>
62. Xia, Huijuan, et al. Effects of harvest time and desalination of feedstock on *Spartina alterniflora* biochar and its efficiency for Cd<sup>2+</sup> removal from aqueous solution. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, vol. 207, p. 111309. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111309>
63. Yang, Shan-Shan, et al. 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*, 2019, vol. 252, p. 1142-1153. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.028>
64. Yugyn, Yang, et al. Limestone dosage response of cadmium phytoavailability minimization in rice: A trade-off relationship between soil pH and amorphous manganese content. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, vol. 403, p. 123664. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123664>
65. Yana [et al]. CONCENTRATION OF HEAVY METALS: CHROME, CADMIUM AND LEAD IN SURFACE SEDIMENTS IN THE RIVER COATA, PERU  
CONCENTRACIÓN DE METALES. *Revista Boliviana de Química*. [En línea]. Bolivia, 2019, vol. 36, no 2. [fecha de consulta: 26 de setiembre del 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.34098/2078-3949.36.2.3>  
ISSN 0250-5460

66. Yilmaz [et al]. Effect of lead accumulation on growth and mineral composition of eggplant seedlings (*Solanum melongena*). *New Zealand Journal of crop and horticultural Science*. [En línea] 2009, vol. 37, no 3. [fecha de consulta: 30 de setiembre del 2020]. Disponible: <http://dx.doi.org/10.1080/01140670.909510264>
67. Yu, Jie, et al. Cellulose, xylan and lignin interactions during pyrolysis of lignocellulosic biomass. *Fuel*, 2017, vol. 191, p. 140-149. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.11.057>
68. Yiok, Weibin, et al. Facile preparation of sulfonated biochar for highly efficient removal of toxic Pb (II) and Cd (II) from wastewater. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 750, p. 141545. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141545>
69. Zhang, Weiwen, et al. Comparative study on Pb<sup>2+</sup> removal from aqueous solutions using biochars derived from cow manure and its vermicompost. *Science of the Total Environment*, 2020, vol. 716, p. 137108. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137108>
70. Zhang [et al]. Evaluating biochar and its modifications for the removal of ammonium, nitrate, and phosphate in water. *Water Research*. [En línea]. 2020. [fecha de consulta: 28 de setiembre del 2020]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116303>
71. Zhang, Fengsong; WEI, Zhuo; WANG, Jim J. Integrated application effects of biochar and plant residue on ammonia loss, heavy metal immobilization, and estrogen dissipation during the composting of poultry manure. *Waste Management*, 2021, vol. 131, p. 117-125. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.05.037>
72. Zhou [et al]. Total concentrations and sources of heavy metal pollution in global river and lake water bodies from 1972 to 2017. *Global Ecology and Conservation*. [En línea]. 2020, vol. 22. [fecha de consulta: 30 de setiembre del 2020]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00925>
73. Zougih, Nan, et al. Biochars with excellent Pb (II) adsorption property produced from fresh and dehydrated banana peels via hydrothermal carbonization.

Bioresource technology, 2017, vol. 232, p. 204-210. Disponible:  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.074>

74. Zhu, Jialong, et al. Novel detection of primary and secondary volatiles from cedar pyrolysis using in-situ pyrolysis double ionization time-of-flight mass spectrometry. Chemical Engineering Science, 2021, vol. 236, p. 116545. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2021.116545>

## ANEXOS

Tabla N°4: Parámetros de adsorción

Autor	Materia Prima	Pirolisis	Proceso	Método de activación
Chen et al., 2020	Tallo de maíz (CB) Rama de sauce (WB)	Pirolisis lenta	-Temperatura: 500°C -Tiempo: 2h. --pH: 3.0–7.0 -Tiempo de contacto: 24h.	Física
Yu et al., 2020	<i>Axonopus compressus</i>	Pirolisis lenta	H2SO4(50ml) -Tiempo 30min. -600°C -pH: 6 a 7 -Tiempo de contacto: 25 min.	Física
Zhang Weiwen et al., 2020	Estiércol de vaca (CM) vermicompost (CV)	Pirolisis media	-Temperatura: 350 y 700 ° C -Tiempo: 2h. -pH CM: 2,0 y 6,0 -pH CV: 2.0 y 3.0 -Tiempo de contacto: 30 min.	Física
Wang Y., y Liu R., 2018	Estiércol de yak	Pirolisis media	-Temperatura: 350°C -Tiempo: 4h. -Mezcla 20 mL 10% Soluciones de H2O2. -Tiempo de contacto: 30 minutos	Química
Wu et al., 2019	Cáscara de camelia	Pirolisis lenta	-Secado 80°C -Tiempo: 1h. -Tiempo de contacto: 30 min.	Física
Deng Yiyi, et al., 2016	Paja de arroz	Pirolisis lenta	-Pirolisis: 400 y 700°C -Proporción de biocarbón: HCl fue de 50 g de biocarbón L-1 -Tiempo de contacto: 20 min.	Química
Zhao et al., 2019	Paja de trigo	Pirolisis media	-Temperatura: 800°C -Tiempo 2h. -Tiempo de contacto: 30 min.	Física

Xia et al., 2020	Spartina alterniflora	Pirolisis rápida	- pH: 9,85–10,95 -Pirolisis: -Temperatura: 450°C -Tiempo: 2h -Tiempo de contacto: 25 min.	Física
Wang Yan, Li Y., et al., 2019	Caña (BC)	Pirolisis lenta	-Biocarbón (BC) fue activado con HNO <sub>3</sub> - Pirolisis 500°C tiempo 2h. - Bc añadido a 50 mL de solución de KNO <sub>3</sub> 0.1 mol/L -pH: 3 a 10 -Tiempo de contacto: no indica	Química
Tan et al., 2019	Ramas del manzano	Pirolisis lenta	-Temperatura de pirolisis: 400 y 500°C N <sub>2</sub> + ZnCl <sub>2</sub> -Tiempo de contacto: 20 min.	Fisicoquímico
Nzediegwu Christopher et al., 2021	Paja de canola + Aserrín	Pirolisis media	-Temperatura: 300, 400 y 500 ° C -pH: pH < 2 -Tiempo: 4 horas Adición: HNO <sub>3</sub> -Tiempo de contacto:3 horas	Química
Yang Shan et al., 2019	Paja de trigo (WS), Paja de arroz (RS), Salvado de arroz (RB), Cáscara de arroz (RH) y Paja de maíz (CS).	Pirolisis lenta	-Temperatura: 600°C -Tiempo: 1 hora y 30 minutos -pH: 5,5 -Tiempo de contacto: 30 minutos	Física
Narayanan Mathiyazhagan et al., 2021	Paja de jacinto de agua	Pirolisis media	-Temperatura: 350 ° C -Tiempo: 60 minutos -pH: 7,9 -Tiempo de contacto: 20 min.	Física
Abedinzadeh Motahhareh et al., 2020	Residuos de maíz	Pirolisis lenta	-Temperatura: 600 ° C -Tiempo: 4 horas -pH: 7,4 -Tiempo de contacto: no indica	Química

Rodriguez José et al., 2021	Cama de aves de corral (PL) Estiércol de cerdo (SM)		Pirolisis media	-Temperatura: 500 °C -Tiempo: No indica -pH: 6 -Tiempo de contacto: 30 min.	Física
Bandara Tharanga et al., 2020	Plantas secas de alfalfa, brote de arveja; brote de canola; pajitas de trigo; y madera de goma de azúcar.		Pirolisis lenta	-Temperatura: 550 °C -Tiempo: 45 minutos -pH: 3,20 -Tiempo de contacto: 35 min.	Física
Wang Shenwan et al., 2021	Cáscaras de coco		Pirolisis media	-Temperatura: 600 °C -Tiempo: No indica -pH: 5 -Tiempo de contacto: 25 min.	Física
Pan Jingweng et al., 2020	Desechos de residuos agrícolas		Pirolisis media	-Temperatura: 600 °C -Tiempo: No indica -pH: 6 -Tiempo de contacto: 30 min.	Física
Lin Sen et al., 2020	Eichhornia crassipes raíz larga		Pirolisis media	-Temperatura: 800 °C -Tiempo: 1 hora y 40 minutos -pH: 4 Adición: HNO <sub>3</sub> -Tiempo de contacto: 35 min.	Química
Lang J. et al., 2021	Desechos de raquis de plátano, cáscaras de cacao de la vaina, y cáscaras de arroz		Pirolisis media	-Temperatura: 600 °C -Tiempo: 2 horas -pH: 5 Adición: H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> -Tiempo de contacto: no indica	Química
Zhang Fengsong et al., 2021	-Estiércol de aves de corral + residuos de plantas		Pirolisis media	-Temperatura: 550 °C -Tiempo: 2 horas -pH: 5 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> -Tiempo de contacto: 20 min.	Química

Fuente: Elaboración propia.