



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Revisión bibliográfica de la adsorción de cadmio y plomo en agua  
usando biocarbón elaborado con residuos forestales**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniera Ambiental**

**AUTORAS:**

Molina Campos, Dayncy Lourdes (ORCID: 0000-0002-0210-7210)

Vergaray Campos, Yosselyn Rosa (ORCID: 0000-0002-5805-6010)

**ASESOR:**

Dr. Valdiviezo Gonzales, Lorgio Gilberto (ORCID: 0000-0002-8200-4640)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA - PERÚ

2020

## **Dedicatoria**

A nuestros padres y hermanos  
quienes nos apoyaron  
incondicionalmente en este largo  
proceso.

## **Agradecimiento**

A nuestros seres queridos, por todo el amor, apoyo y confianza que nos brindaron, para poder culminar el desarrollo de tesis, al igual que nuestro asesor por el apoyo constante, los consejos y los conocimientos que siempre nos compartió.

## ÍNDICE

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de Contenidos.....	iv
Índice de Figuras .....	v
Índice de Abreviaturas.....	v
Resumen.....	vi
Abstract .....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA .....	19
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	20
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización .....	20
3.3. Escenario de estudio .....	22
3.4. Integrantes .....	22
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	22
3.6. Procedimiento .....	23
3.7. Rigor científico .....	23
3.8. Método de análisis de datos .....	24
3.9. Aspectos éticos .....	24
IV. Resultados y Discusión.....	26
V. Conclusiones.....	34
VI. Recomendaciones.....	36
REFERENCIAS.....	38
ANEXOS.....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Antecedentes de los parámetros de elaboración y adsorción.....	13
Tabla N° 2: Matriz de categorización apriorística Tabla .....	21
Tabla N° 3: Criterio de búsqueda para la elaboración del presente estudio.....	23
Tabla N°4 Influencia del Tipo de precursor en la adsorción de Cd y Pb en agua...27	
Tabla N°5: Metodologías física de preparación del biochar .....	30
Tabla N°6: Metodología química de preparación del biochar.....	31
Tabla N°7: Caracterización del biochar de acuerdo a sus propiedades físicas y químicas.....	32
Tabla N°8: Caracterización de acuerdo a sus propiedades físicas y químicas .....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de elaboración - Biochar .....	5
Figura 2: Características del biochar .....	7
Figura 3: Proceso de Adsorción .....	7

## ABREVIATURAS

MP: metales pesados .....	1
Cd: cadmio.....	1
Pb: plomo.....	1
OMS: organización mundial de salud.....	1
ANP: academia norteamericana de pediatría.....	2
HTL: licuefacción hidrotermal .....	5

## Resumen

La presente investigación tiene como objetivo analizar los diferentes parámetros influyentes en la adsorción de cadmio y plomo usando biocarbón de residuos forestales, a través de la influencia del precursor empleado en diversas investigaciones y la metodología de preparación del biochar para la remoción de cadmio y plomo en agua; para ello se utilizó una recopilación de información buscando en bases de datos como Science Direct y Scielo, utilizando palabras claves teniendo como referencia el criterio de selección de la información. En las metodologías de preparación del biochar, se identificaron las metodologías físicas y químicas, dentro de las metodologías de preparación del biochar destaca la metodología física y la aplicación de la pirolisis lenta como la más reportada en las investigaciones. Asimismo, en la metodología química con el uso de reactivos químicos tales como hidróxido de sodio, permanganato de potasio y el ácido fosfórico. En cuanto a la caracterización del biochar, se determinó que el uso del Microscopio electrónico de barrido y Espectroscopía de infrarrojo con Transmisión de Fourier fueron los más utilizados para la caracterización del biochar. Se identificó las metodologías de preparaciones y la caracterización del biochar. Se recomienda más exploración en la aplicación de las metodologías, valorización de residuos forestales y búsqueda de nuevos equipos o métodos de caracterización de biochar.

**Palabras clave:** Biochar, adsorción, pirolisis, residuos forestales

## **Abstract**

The present research aims to analyze the different parameters influencing the adsorption of cadmium and lead using biochar from forest residues, through the influence of the precursor used in various investigations and the methodology of biochar preparation for the removal of cadmium and lead in water; for this purpose, a collection of information was used, searching in databases such as Science Direct and Scielo, using keywords having as reference the criteria for the selection of information. In the methodologies of biochar preparation, physical and chemical methodologies were identified. Within the methodologies of biochar preparation, the physical methodology and the application of slow pyrolysis stands out as the most reported in the research. Likewise, in the chemical methodology with the use of chemical reagents such as sodium hydroxide, potassium permanganate and phosphoric acid. Regarding biochar characterization, it was determined that the use of Scanning Electron Microscopy and Fourier Transmission Infrared Spectroscopy were the most used for biochar characterization. The methodologies for biochar preparations and characterization were identified. Further exploration is recommended in the application of the methodologies, forest residue recovery and the search for new equipment or methods for biochar characterization.

**Keywords:** Biochar, adsorption, pyrolysis, forest residues

# **I. INTRODUCCIÓN**

La contaminación ambiental por metales pesados (MP) se viene propagando a nivel mundial, debido a las actividades humanas, generando conflictos socio ambientales, afectando la biodiversidad y comunidades (García et al., 2017, párr. 1), las concentraciones de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) en aguas dulces se relacionan con las descargas de los efluentes del sector industrial, con altas concentraciones de MP, ocasionan daños de gran magnitud (Vhahangwele M., Khathutshelo L., 2018, p. 121).

En las industrias mineras, los relaves, efluentes no tratados o presas dañadas son lixiviados por las lluvias y escorrentías alcanzando contaminar a los humanos, animal y biodiversidad, siendo un factor tóxico de suma importancia para la salud pública (Jing et al., 2019, p. 1).

De acuerdo con Ramos, et al., (2009, p. 3) los niveles de Pb superiores a 15 ug/dl de Pb generan plumbemia, sin embargo, el centro para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC) indica que cuando la concentración es mayor o igual a 10 ug/dl se genera plumbemia, cuando es mayores a 80 ug/dl se genera encefalopatía plúmbica, cuando superan los 20 ug/dl genera neuropatía periférica, cuando se presenta valores de 40 a 60 ug/dl en adultos genera insuficiencia renal e hipertensión, en niños cuando presentan un valor de 10 ug/dl igual o menor genera deterioro intelectual y en niñas retardo en la pubertad.

En Perú - Madre de Dios se demostró que la contaminación por MP se acumula en mayor proporción en suelos forestales que en tierras aledañas a las actividades mineras; debido a diversos factores (trasporte de partículas por el viento y procesos de lixiviación) (Velásquez et al., 2020, pp. 3 y 5).

Asimismo, se ha demostrado en un estudio realizado en La Oroya - Perú que la cantidad de Cd y Pb generados desde hace más de 90 años por la minera metalúrgica, ingresa por la sangre de los vacunos y se transfiere a la leche, lo cual es distribuida para el consumo humano; generando daños a la salud, siendo más vulnerables en los niños (Chirinos D., Castro J., 2020, p. 1). De acuerdo con Chavez M. (2000, p. 31) los valores de MP encontrados en la sangre de niños de la Oroya son de 20 a 55 mg/dl el 47% y entre 45 y 69 mg/dl el 43%, la Academia

Norteamericana de Pediatría (ANP) señala que los niveles mayores a 25 mg/dl en niños es inaceptable.

Estos metales en contacto con las plantas son altamente tóxicos y su adsorción genera fitotoxicidad y afecta su crecimiento (Chen et al., 2019, p.1). El Cd y Pb son absorbidos por las plantas siendo almacenados en sus tejidos y reduciendo su productividad; esto afecta la cadena alimenticia a través del consumo humano, afectando negativamente la salud y produciendo la muerte de los animales por toxicidad (Tefera et al. 2019, p. 4).

Por otro lado, los residuos forestales en muchos países no tienen un tratamiento adecuado, por lo que, los campesinos efectúan la quema de madera, árboles, hojas, generando contaminación ambiental (Cossío et al., 2014, p. 9). En el sector forestal las industrias han introducido maquinarias que ejecutan una mayor eficacia en el proceso de producción, generando un mayor rendimiento de madera, ocasionando un incremento en la tasa de residuos forestales siendo muy parecidos a los productos que les han dado origen, teniendo un alto potencial de aprovechamiento (Nambiar, 2019, p. 168). Los principales países productores de madera buscan una manera de aprovechar residuos para una gestión adecuada y reutilización de sus residuos generados por actividades forestales. (Favas, 2016, p. 243)

El Perú cuenta con 73,3 millones de hectáreas boscosas posicionándolo en segundo lugar con más bosques en Sudamérica y noveno a nivel mundial, asimismo el sector forestal, aporta el 1,1% del PBI y recibe 0.01% de la inversión extranjera, sin embargo; no es aprovechado sosteniblemente (MINAG, 2013, p.15). De acuerdo con Puettmann, et al., (2020, p. 8) los residuos forestales no tratados generan incendios, una medida para evitar estos problemas utilizando grandes volúmenes de residuos forestales y residuos de tala para la producción de biochar.

Se ha demostrado que el biochar es un estabilizador de MP en suelo y agua, así mismo, este es capaz de atrapar el CO<sub>2</sub> y mejora la fertilidad de los cultivos y suelos, por ende, el mejoramiento del medioambiente (Luo M., et al., 2020, p. 18). Además, en la interacción del suelo con el biochar se obtuvo que los minerales facilitan la captación del Cd y Pb mejorando su calidad, confirmando que para la remediación

por contaminación de MP se debe dar la interacción biochar-suelo, para mejorar la propiedad de los cultivos (Qui et al., 2019, p. 1).

La presente investigación tiene como objetivo general: Analizar los diferentes parámetros influyentes en el proceso de la adsorción de Cd y Pb usando biocarbón de diferentes tipos de residuos forestales y como objetivos específicos: Definir la influencia de precursores empleado en diversas investigaciones para la eficiencia de biochar en la adsorción de Cd y Pb en agua, identificar las metodologías de preparación del biochar para la remoción de Cd y Pb en agua, Identificar la caracterización de las propiedades fisicoquímicas en la preparación de biochar.

Del mismo modo, se plantea como problema general: ¿Cuáles son los parámetros influyentes en la adsorción de Cd y Pb usando biocarbón de diferentes tipos de residuos forestales? y como Problemas específicos: ¿Cuál es la influencia de los precursores empleados en diversas investigaciones para la eficiencia de biochar en la adsorción de Cd y Pb en agua? ¿Cuáles son las metodologías de preparación del biochar que se relacionan con la mayor eficiencia en la remoción de Cd y Pb en agua? ¿Cómo se caracteriza el biochar, respecto a sus características físicas y químicas?

Esta investigación se justifica debido a que no existe investigaciones en español de revisiones bibliográficas sobre la importancia de la reducción de contaminación por Cd y Pb utilizando residuos forestales en la elaboración de biochar, por ello, se genera una recopilación de diferentes investigadores a nivel mundial sobre el biochar aplicado a la reducción de contaminación hídrica; para así dar a conocer la importancia del uso y características del biochar utilizando residuo forestal; buscando ampliar el conocimiento de los lectores a futuras investigaciones relacionados al tema, con la finalidad de servir como respaldo para futuros investigadores.

## **II. MARCO TEÓRICO**

El biochar es un compuesto sólido de bajo costo que se genera por un proceso de pirólisis de una biomasa residual mediante proceso físico y químico para poder obtener propiedades que ayudan a la remediación del suelo contaminado o agua contaminada (Pandey, D., Daverey, A., y Arunachalam, K., 2020, p. 2).

EL biochar o biocarbón es utilizado en la remediación de suelos y aguas contaminadas, también se puede llevar a un proceso de licuefacción hidrotermal (de acuerdo con Gómez et al., (2019, p.149) es un proceso realizado a temperatura media y alta, donde a partir de la materia húmeda o biomasa se obtiene energía y combustible; y es una tecnología que disminuye el gasto de energía ya que no realiza secado para la evaporación de humedad del residuo; esta tecnología ha sido aplicada en biomásas como: biomasa forestal, microalgal y residuos agroindustriales; donde al aplicar la licuefacción hidrotermal en residuos provenientes de la industria de la palma de aceite y madera se han obtenido grandes resultados) y puede ser aplicado en diferentes campos: adsorción de combustibles, metal, colorante, reducción de contaminantes, alimentación animal y catalizador de biogás; la licuefacción hidrotermal (HTL) es un proceso termoquímico para producir biocarbón en el que la biomasa es tratada bajo alta presión a temperaturas moderadas convirtiendo la biomasa en combustible (Ponnusamy et al., 2020, p. 2). El biocarbón puede disminuir o eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero o servir como método de captura de carbono (Matustik J., Hnatkova T., Koci V., 2020, p. 1).

La elaboración se realiza con diferentes biomásas, y se obtienen diferentes productos de acuerdo con los parámetros: tiempo de pirólisis, temperatura, tamaño de partícula (Da silva Veiga et al., 2020, p. 6). En la Fig. 1 se muestra el proceso de elaboración de un biochar.



Figura 1: Proceso de elaboración - Biochar  
Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, el biocarbón puede ser elaborado de distintos residuos sólidos, unos más peligrosos que otros, sin embargo, es importante hacer una selección adecuada de los residuos que se revalorizan como alternativa de uso en la producción de biocarbón, entre ellos, contamos con los que se genera en la industria forestal (Janus et al., 2015 p. 276). Las materias primas más usadas para la elaboración del biochar de acuerdo con Escalante et al., (2016, p.373) son residuos de cosechas, plantas secas, residuos forestales, desecho de arroz, de aceituna y desperdicios orgánicos generados por acción humana.

Elegir un buen material precursor es muy importante para la elaboración de biochar, entre ellos son las cáscaras de arroz, ya que, en el proceso de pirólisis las cenizas presentan un alto contenido de carbono y sílice, los cuales son adsorbentes de metales pesados, tintes, compuestos orgánicos y pesticidas; además, es clasificado como un material de menor costo por la disponibilidad que presenta en su producción y un buen adsorbente de metales en el tratamiento de aguas residuales (Ahmaruzzaman M, Gupta, V., 2011, p.13591).

También, es de suma importancia la porosidad, porque, de ello depende la capacidad de adsorción, por lo tanto, el biochar debe poseer una porosidad

suficientemente grande para captar los metales con mayor eficacia (Li et al., 2019, p. 5).

Las características del biochar van a depender del tipo de materia prima, tamaño de partícula y diámetro de los poros. En la figura 2 se presenta las algunas características del biochar, de acuerdo con Sangani M., Abrishamkesh S., Owens S., (2020, p. 2). Las estructuras del biochar van a depender también del tiempo y tipo de pirólisis; a mayor temperatura mayor serán los microporos; las características vistas desde un microscopio nos indican que son partículas de diferentes tamaños las cuales poseen alta porosidad con tamaños que varían entre <2 nm, 2-50 nm y >50 nm, respectivamente; asimismo, las características fisicoquímicas y biológicas del biochar van a cambiar con el tiempo, respecto a su proceso de envejecimiento (Escalante et al., 2016, p. 370,371).

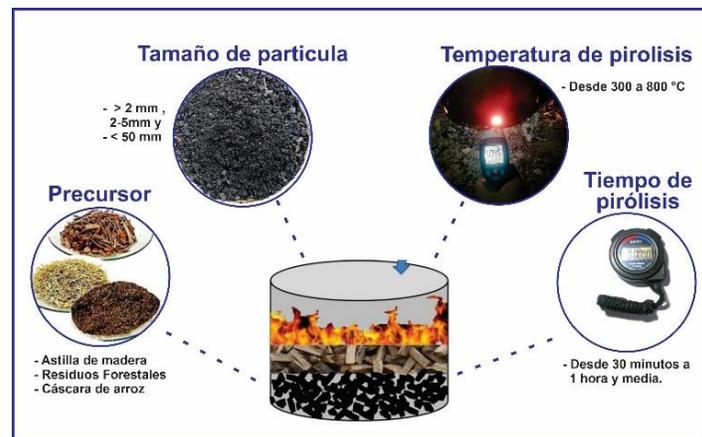


Figura 2: Características del biochar  
Fuente: Elaboración Propia

Los métodos de tratamientos de adsorción retienen y remueven contaminantes; y se evalúan mediante cinéticas e isothermas; donde la capacidad de adsorción es evaluada por isoterma y la rapidez por cinética. (Figueroa D., Moreno A., Hormaza A., 2015, p. 107).

El fenómeno de adsorción es la acumulación de concentraciones en una superficie donde se realiza la interacción adsorbato - adsorbente; el adsorbato son moléculas que pueden estar en estado gaseoso o líquido, los cuales son atraídos hacia el

adsorbente (sólido poroso); estas moléculas se van a interactuar mediante los enlaces químicos; donde las fuerzas de van der Waals o fuerzas electrostáticas se van a dar dependiendo si la adsorción es química o física, siendo en su mayoría procesos exotérmicos, ocurre una adsorción física debido a que no va haber interacción de electrones entre el adsorbato y el adsorbente (Thomas, W & Crittenden, B, 1998 p. 31); en la figura 4 se muestra el proceso de adsorción.

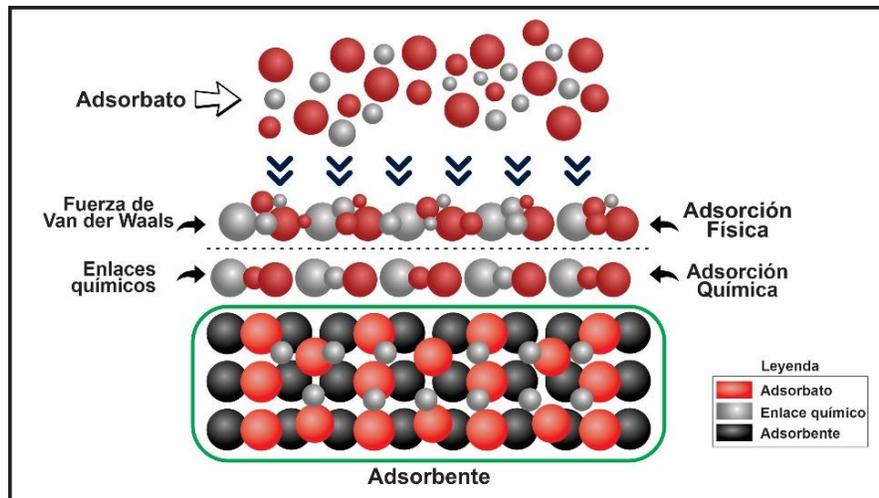


Figura 3: Proceso de Adsorción  
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con Zaabout et al. (2017, Párr. 3) citando a (Samanta et al., 2012) la adsorción puede dividirse en dos categorías; fisisorción y quimisorción.

Respecto a la adsorción física, en la categoría de fisisorción las interacciones de no enlace se va a dar entre los carbones activados y una molécula específica, los cuales van a interactuar por las fuerzas electrostáticas (Guerra et al., 2015, p.1021). Así mismo el adsorbato mantiene su forma original (Tejada, Villabona y Garcés, 2015, p.113).

En la quimisorción va ocurrir una atracción del adsorbato generando enlaces fuertes por interacción química de las moléculas en la superficie del adsorbente y se caracteriza por la formación de monocapas (Ramón de los Santos C., et al., 2019, p. 8).

Los modelos más frecuentes usados para la cinética de adsorción son; el modelo pseudo primer orden, inicialmente dado por Lagergren (Simonin, 2016, p. 255) y posteriormente la forma lineal del modelo Pseudo primer orden representado por Yakout S., Borai E., (2013, p. 4216) a continuación en las fórmulas (1) y (2) respectivamente:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_n [q_e - q(t)]^n \dots\dots\dots (1)$$

$$\ln [q_e - q(t)] = \ln (q_e) - k_1 t \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

$q_e$ : = Cantidad de metal adsorbida en el equilibrio ( $\text{mg g}^{-1}$ )

$q_t$  = Cantidad adsorbida en un tiempo  $t$  ( $\text{mg g}^{-1}$ )

$K_1$  = Constante de Langmuir ( $\text{min}^{-1}$ )

$t$  = Tiempo de adsorción (min)

Posteriormente, Figueroa D., Moreno A., Hormaza A., (2014, p. 112) señalan que el modelo descrito por Ho para la cinética de pseudo segundo en los métodos de tratamientos de adsorción usualmente se aplican a los procesos que envuelve un mecanismo de quimiadsorción; donde la expresión de reacción está representada en la fórmula (3):

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \dots\dots\dots 3$$

Dónde:

$K_2$  = Constante cinética de pseudo segundo orden. ( $\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$ )

$q_e$ : = Capacidad adsorbida en el equilibrio ( $\text{mg g}^{-1}$ )

$q_t$  = Capacidad adsorbida en un tiempo  $t$  ( $\text{mg g}^{-1}$ )

Para representar las isotermas se utilizan el modelo de Langmuir e isoterma de Freundlich; las cuales pueden ser determinadas usando resultados obtenidos por la capacidad de adsorción en función a las concentraciones en equilibrio del Cd (Calero M., et al., 2009, p. 267). Los modelos matemáticos de Langmuir y Freundlich

ayudan a determinar la cantidad de biomoléculas del adsorbato que se acumula sobre el adsorbente (Rivas et al., 2014, p.44) son representadas por Chen Z., et al., (2019, p. 203) en las fórmulas (4) y (5) respectivamente:

$$Q_e = \frac{kQ C_e}{1+k C_e} \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

$C_e$  = concentración de equilibrio del ion de metal ( $\text{mg L}^{-1}$ )

$Q_e$  = capacidad de adsorción a equilibrio ( $\text{mg g}^{-1}$ )

$Q$  = es la capacidad máxima de adsorción ( $\text{ms d}^{-1}$ )

$K$  = constante relacionada con energía libre de sorción ( $\text{L mg}^{-1}$ )

La Isoterma de Freundlich, explica una adsorción lineal y se expresa mediante la siguiente fórmula (Mohammad A., Dana A.,2020, p. 19).

$$\log q = \log K_f + \frac{1}{N} \log \log C \dots\dots\dots(5)$$

Dónde:  $K_f$ : Constantes empíricas (representan la capacidad de adsorción y afinidad o intensidad de adsorción a metales).

En el proceso de elaboración del biochar se utiliza el Interferómetro de Michelson o espectroscopia infrarroja que nos permite medir directamente la temperatura en el proceso de pirólisis (et al., 2019, p. 4). El interferómetro de Michelson no mide directamente el espectro infrarrojo; mide un interferograma el cual se transforma en un espectro de haz mediante la transformación de fourier y se registran los espectros de buena señal a ruido (Shaw A., Mantsch H., 1999, p. 56).

Así también, empleando la técnica de interferometría nos permite medir las temperaturas de las superficies; brindándonos datos precisos por debajo de la longitud de onda del láser (0.5um) dentro del espectro visible y tiene una sensibilidad al calor de 8.1498rad/RIU (rango RI: 1.331-1.387) y -0.05rad/°C (rango  $T^\circ = 20^\circ\text{C} - 90^\circ\text{C}$ ).

En la caracterización fisicoquímica del biochar se utiliza la técnica de la microespectroscopia de infrarrojo con Transmisión de Fourier (FTIR), donde los

análisis presentan una ventaja respecto a otros debido a la rapidez y economía para la obtención de sus resultados (Rosset et al., 2019) y determina los cambios de los grupos funcionales en el momento de la adsorción del biochar (Zhang et al., 2016, p. 3).

Los grupos funcionales van a variar en la elaboración de biochar de acuerdo a la T° de pirólisis; al aumentar la T° de 250 a 350°C se genera un aumento de carbonos aromáticos por la pérdida de compuestos volátiles y se lleva a cabo la conversión de carbono; de oxialquilos a arilos y oxiarilos si se aumenta aún más la T° a 600°C se genera la carbonización de la biomasa, donde, se remueve la mayor cantidad de átomos no carbonosos como Ca, Mg, K; originando que se mantenga la materia original por lo que aumenta la proporción de carbono, que puede ser mayor del 90% en peso en los biocarbonos de materia prima de madera. ( Escalante et al., 2016, p.370). De acuerdo con Leng et al., (2020. p.4) determinó que los grupos funcionales producida por la pirólisis están formados por anillos de cinco miembros, anillos de seis miembros y anillos heterocíclicos, asimismo, el nitrógeno, los átomos de oxígeno y el carbono forman enlaces simples, múltiples y puentes; los grupos funcionales van a influenciar en los compuestos orgánicos (Zhang et al., 2019), el aumento o disminución de la concentración de grupos funcionales en la superficie del biochar va generar una disminución en la capacidad de adsorción de los contaminantes (Valdés H., Zaron C., 2010, p.42).

El microscopio electrónico de barrido (MEB o SEM) es un equipo que nos permite realizar pruebas en el cual obtendremos imágenes del diámetro de las partículas, composición superficial sólida (EDS), entre otros también nos permite determinar los tipos de porosidad el cual nos ayuda a un reconocimiento ideal (Baghaie et al., 2017, p. 44) y

De igual manera, la espectroscopia de absorción atómica es un equipo que nos permite determinar la concentración de metales y átomos libres (Liu et al., 2019, p. 9). De acuerdo con Walton H., Reyes J., (2005, p.243) es un método que se emplea para detectar y determinar las concentraciones de metales y elementos químicos en una concentración, en especial de elementos metálicos como Cd y Pb.

El potencial Zeta es un parámetro de suma importancia en el medio acuoso, el PZ es el punto de corte de la capa de iones que se mueve con las partículas, estos no se movilizan solos, tampoco se miden directamente, estas se despliegan hacia el electrodo de carga opuesta en el campo eléctrico, se establece que las partículas se adhieren en el campo eléctrico y no tienen algún movimiento hacia el ánodo es porque el potencial Z tiene un valor cero a ello se le conoce como punto isoeléctrico donde se produce las mejores condiciones (Acosta L., 2006. p.12).

El punto isoeléctrico, contribuye a la estimación de carga superficial del compuesto (partícula) a diversas condiciones del pH, el valor que resulta en la carga cero es el punto isoeléctrico se adquiere por mediciones electrocinéticas o punto de carga cero que se determina por titulación potenciométrica y se usa frecuentemente para caracterizar propiedades de la adsorción (Zhu et al., 2015. p.188,189).

El método de análisis BET (Brunauer, Emmett y Teller) mediante la técnica de adsorción determina la adsorción multicapas, en el área de la superficie determina el volumen del tamaño de los poros y la distribución del tamaño de los poros (Duan Y., Sangani C., Ameta R., 2019, p.2).

La presente investigación cuenta con 82 antecedentes de los cuales se seleccionó 10 antecedentes más relevantes y se graficó en la Tabla N°1; donde se seleccionó de acuerdo a parámetros similares, para la elaboración de biochar con residuos forestales aplicado en medio acuoso así obtener una comparación de los resultados en la adsorción de Cd y Pb y observar los diferentes métodos aplicados.

Tabla N° 1: Antecedentes de los parámetros de elaboración y adsorción

Autor (es)	Parámetros de elaboración de biochar	Parámetros de adsorción	Remoción de Cd y Pb
WU et al, 2019 pp.2-3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Secado a 80°C por 48 h</li> <li>- T: 300, 500 y 700 °C</li> <li>- Tiempo de pirólisis: 1 Hora</li> <li>- Velocidad 10 °C / min</li> <li>- Tipo de precursor: cáscara de semilla camelia</li> </ul>	Tiempo: 8 horas pH: 2- 8, agitación, Solución madre 1000 mg / L) de plomo y cadmio. Biochar: 20 mg de biochar en 20 ml de solución	Capacidad de adsorción Pb: 113,27mg/g Cd: 97,66mg/g
Chen., 2019, p. 202	<ul style="list-style-type: none"> <li>- T: 300 C°</li> <li>- Tiempo de pirólisis: 4 horas</li> <li>- Tipo de precursor: Estiércol de granja</li> </ul>	Tiempo: 30 minutos. Dosis: biochar+2 mol L-1 NaOH en un envase de 1000ml con una proporción sólido líquido de 1:5	Capacidad de adsorción Pb: 175,53 mg g-1 Cd: 68,08 mg g-1 Pb: 35% Cd: <35%
Pedrozo et al., 2011, p.389	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 100g desde 30°C hasta 400°C (10°C/min) en atmósfera de nitrógeno (110 mL /min) por 60 min.</li> <li>- 500g de los precursores</li> <li>- Tamaño de partícula: 125 a 300 micrometros</li> <li>- Bagazo de caña de azúcar y zuro de maíz</li> </ul>	Tiempo: Dosis: 0.2000 g. de cada carbón Concentración inicial 18.0 ppm a 120 rpm Tiempo: 18horas Temperatura: ambiente Cd y Pb: 50.00mL	Capacidad de adsorción Pb: 0.037 meq/g Cd: 0.061 meq/g BC:74% ZM:80%
Tan et al, 2019, pp.3-5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- T: 400, 550</li> <li>- Tamaño de partícula: 2 mm</li> <li>- Tipo de precursor: Ramas del manzano</li> </ul>	Dosis: En un tubo de pvc con 7 centímetro de diámetro y 23 cm alto se llenó 10-20 cm con la muestra de biocarbón. Incubado en clima artificial en caja y refrigerador a: 40°C/7d y -20°C/7d. para 5 ciclos en total	Capacidad de Remoción Pb 60 a 70%
Wu et al., 2020, p.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- T° de pirolisis: 500C°</li> <li>- Pirolisis lenta a: 5C° min<sup>-1</sup></li> <li>- Tamaño de partícula: 0,154 mm</li> <li>- Secado a 80°C por 24horas</li> <li>- Tipo de precursor: Cascara de arroz</li> <li>- Biorreactor: Mufla</li> </ul>	-Tiempo: 2 horas -15g de biochar+3,16g de KMnO4 en 150mL de agua des ionizada. -Viales de vidrio de 20mL con 20mL de solución -Dosis de biochar en: Cd: 1 gL <sup>-1</sup> Pb: 0,5 gL <sup>-1</sup> Proceso de adsorción: Agitadas en incubadora con 25°C por 200rpm -Concentración inicial: 20mg de L <sup>-1</sup> agitadas a 72horas	-Capacidad de adsorción de: Pb: 70,90 mg g <sup>-1</sup> Cd: 84,76 mg g <sup>-1</sup> -El MBCG (síntesis del gel de biocarbón modificado) puede separarse rápidamente y regenerarse fácilmente con una excelente reutilización, que podría retener el 92,1% y el 80,5% de las capacidades de adsorción iniciales de Cd(II) y Pb(II) después de cinco ciclos.

Wang et al 2018. pp.191- 194	<ul style="list-style-type: none"> <li>- T: 500 °C</li> <li>- Equipo: Horno de mufla modificado</li> <li>- Tamaño de partícula 149 y 850 µm.</li> <li>- tipo de precursor: Madera de arce</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentración inicial Pb: 5 - 250 mg L<sup>-1</sup></li> <li>- Tiempo de adsorción= 24 horas</li> <li>- Dosis biochar = 100mg/20ml.</li> <li>- Los experimentos de adsorción fueron realizados con mezclas de 0,1 g de biocarbón con 20 mL de 50 mg de L-1 Pb.</li> <li>- T° ambiente a 120 rpm durante 24 h.</li> </ul>	<p>Capacidad de remoción Pb: 43.3g/kg Remoción 89%</p>
Deng et al.,2020. pp8-23	<ul style="list-style-type: none"> <li>- T°: 350-400 °C</li> <li>- Tiempo</li> <li>- Tipo de precursor: Piña</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 20 mg de biocarbón a 20 mL de solución de CdCl<sub>2</sub></li> <li>-Concentración inicial de Cd: 400mg/L</li> <li>-Se tomaron muestras en tiempos de: 5, 10, 30, 60, 90, 120, 180, 240 min.</li> <li>- Velocidad de 250 r min<sup>-1</sup></li> </ul>	<p>Adsorción de Cd: 92.7 mg g<sup>-1</sup></p>
Wan et al., 2020, p.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Precursor: Cascara de maní (PS)</li> <li>- 1g de PS + 4g bicarbonato de sodio</li> <li>- biorreactor: tubo horno</li> <li>- Temperatura: 600C°</li> <li>- tiempo: 1hora</li> </ul>	<p>Frascos de 100mL 50mL de biochar + Cd y Pb Tiempo: 24h. 3 mL de HMO-K-BC húmedo (peso en seco 0,5g) Temperatura 298K y 180rpm</p>	<p>-Capacidad máxima de adsorción reducción de: Pb: 225 mg/g Cd: 112mg/g Pb: 90% Cd: 30% El magnesio hidratado óxido (HMO-K-BC) secuestra rápidamente el Pb y Cd en un tiempo de 7,5 min.</p>
Khan et al., 2020, p. 6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de precursor: paja de maíz</li> <li>- T: 600, 800°C</li> <li>- Tamaño de partícula 0.154 mm</li> <li>- Tiempo 2 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo: 6 horas</li> <li>- Muestra de Cd 20ml de adsorbente en 200ml Concentración inicial (10-150mgL-1154) u 0.01 m NaNO<sub>3</sub> como electrolito de fondo.</li> <li>- PH 3 a 8 con 0.1 mol/ L</li> </ul>	<p>Capacidad de adsorción Cd:46.90mg /g 17,66%</p>
Park, et al., 2019, pp.299-300	<ul style="list-style-type: none"> <li>- T: 300 a 600 °C</li> <li>- Tiempo de pirólisis 4 horas</li> <li>- Tamaño de partícula: 0.5 mm</li> <li>- Tipo de precursor: Corteza de pinos</li> <li>- Secado= 60C° a 24horas</li> <li>- Tamaño de partícula= &lt; 0,5 mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dosis: 0,05 g.</li> <li>- 25 ml de solución a 200 mg /l de Cd adsorción isotérmica</li> <li>-Dosis 25 ml de solución de Cd concentración 2.5 a 360 mg/l.</li> <li>- Relación 1:25 de biocarbón y agua destilada respectivamente.</li> </ul>	<p>-Capacidad de adsorción Cd: 85.8 mg/g 23,6%</p>
Liu et al., 2018 p.7	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo: 5 a 10 Segundos</li> <li>- Secado: 80°C por 24h.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Concentración inicial de Cd: 14.70 mg / kg</li> <li>- Mezcla de 5 g de RHB y 20 mL de solución de activación</li> </ul>	<p>Porcentaje de remoción de Cd: 49%</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura: 500°C</li> <li>- Precursor: Cascara de arroz crudo</li> <li>- Tamaño de partícula: 0,3 mm</li> </ul>	de 2 mol/L en un matraz Erlenmeyer de 100 mL 170 rpm a 25 °C durante 24 h.	
Yin et al., 2020. P.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Precursor: Hierba de elefante (Pennisetumsp)</li> <li>- Proceso: Se lavó con agua desionizada y secó a 60°C</li> <li>- Tamaño de partículas molido: de 2-3 cm Tamiz de 100 mallas.</li> <li>- T° pirolisis: 600°C</li> <li>- 5 g de biochar se sumergieron en una mezcla de soluciones de KMnO4 (0,24 M, 40 mL) y Fe(NO3)3 (0,18 M, 40 mL)</li> <li>- Tiempo: 2h</li> <li>- Secado T°:95 °C</li> <li>- Pirolizado de nuevo a 600 °C durante 0,5 h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Temperatura 25°C y pH5</li> <li>- reactor: centrifugadora de polietileno de 50 ml.</li> <li>-Concentración inicial de Cd: 50-200 mg/L</li> </ul>	<p>Capacidades máximas de adsorción de Cd con: 95,23 mg / g 63,9% en peso</p> <p>- Se ajustaron a los modelos cinéticos isotérmicos y de pseudo-segundo orden de Langmuir</p>
Chen et al., 2020, p.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de precursor: Madera de álamo</li> <li>- Preparado: T°25C° 2 M NaOH durante 24h.</li> <li>- Pirólisis:</li> <li>- T°: 550°C</li> <li>- Tiempo: 3h/ se enjuagó y secó por 4h en 80°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-T° de adsorción 25°C</li> <li>-Concentración de biochar: 30mg.</li> <li>-Tiempo: 45h. a 250rpm</li> <li>-Concentración inicial de Cd: 50ml</li> </ul>	<p>Capacidad de adsorción máxima de Cd: 47,13 mg/g 1,11%</p>
Trakal et al., 2014, p.449	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de precursor: Cáscara de nuez, ciruelas, uva</li> <li>- T° de pirolisis: 600°C</li> <li>- Tiempo: 30min.</li> <li>- Tamaño de partícula: 0.25 – 0.50mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Concentración inicial de Cd y Pb: 1000 mg L1</li> <li>-Dosis de biochar: 2,0-10,0 gL1</li> <li>-Tiempo 1-48h</li> </ul>	<p>Capacidad máxima de adsorción Cd: 0,45 mmol/g Pb: 2,87 mmol/g Porcentaje de adsorción Pb: &lt;1,40% Cd: 20,40%</p>

Chen et al., 2016, p.443	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de precursor: Plumitas de pollo</li> <li>- 210°C por 12h.</li> <li>- Pirólisis:</li> <li>- T°: 450°C por 1h</li> <li>- Tamaño de partícula: 0,42mm</li> </ul>	<p>Las soluciones de fondo fueron de 0,01 M de NaNO<sub>3</sub>, y los valores de pH se ajustaron a 5,0 ± 0,1 con una solución de NaOH y HNO<sub>3</sub> de 0,1 M.</p> <p>Velocidad 180rpm 25 ± 1°C Tamaño de poro 0,22 µm La adsorción se dio en 12 h y 96h</p>	<p>Capacidad máx. de adsorción Cd 7.84 mg g<sup>-1</sup> Pb: 24.41 mg g<sup>-1</sup> 80%</p>
Goswami et al., 2016, p. 446	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de precursor: Planta Ipomoea fistulosa</li> <li>- T°: 350, 400, 450, 500 y 550°C</li> <li>- En tasa de flujo de nitrógeno de 1,2 L min<sup>-1</sup></li> <li>- Se activó el biochar con KOH en proporción de 3:1 con 100mL de agua</li> <li>- Se volvió a secar por 2h a 105°C</li> <li>- Luego en un reactor a 300 °C a 40 °C min<sup>-1</sup> por 1h.</li> </ul>	<p>Se usó voltaje de aceleración de 20 kV y un aumento de 500x solución madre (1000 mg L<sup>-1</sup>) de Cd disolviendo el Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O (CAS: 10022-68-1). concentraciones de 10, 20 y 50 mg de L<sup>-1</sup></p> <p>Ph ajustó a 7 añadiendo 1 M de HCl o 1 M de NaOH</p> <p>Biocarbón: 0,5g (5g deL<sup>-1</sup>) a 100mL de solución de concentraciones 10, 20 y 50mg Cd</p> <p>A 200rpm</p>	<p>Porcentaje de remoción de Cd: 98,1% en 60 minutos. 72,43 mg/g</p>
Wang et al., 2019, p.44	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de precursor: Caña</li> <li>- T°: 500°C por 2h con una tasa de calentamiento de 10°C/min.</li> <li>- Tamizado por un tamiz de 100 mallas, lavado y secado a 80°C por 4h.</li> </ul>	<p>Se añadió biocarbón a 50 mL de solución de 0,1 mol/L KNO<sub>3</sub> pH 3-10 usando 0,1 mol/L HNO<sub>3</sub> o KOH equilibrando durante 24h</p> <p>Biocarbón: 0,5g en 150mL de frascos de vidrio Cd: 50mL Agitación: 150rpm por 8h a 25°C</p>	<p>Capacidad de adsorción Cd: Con Materia orgánica disuelta con Ácido tánico (TA) 206.18 mg/g 13,4%</p>
Wang et al., 2017, p.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de precursor: Cascara de huevo</li> <li>- T°: 450°C</li> <li>- 40g de biomasa</li> <li>- Tiempo: 3h.</li> <li>- tamaño de partícula: 20 y 95mm. después a 0,3g</li> </ul>	<p>Biocarbón: 0,05g 25 mL de solución de Pb<sup>2+</sup>+105mg/L a temperatura ambiente. agitados a: 50 rpm en un agitador mecánico intervalos de tiempo (0, 0,5, 1, 2, 4, 8, 12, 24 y 48 h) Tamaño de poro de 0,22 mm</p>	<p>Adsorción de Pb: 56,0 mg/g 90%</p>
ABDELHAFEZ, A.A., Li, J., 2016	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bagazo de caña de azúcar y cáscara de naranja</li> <li>- secado a 80°C</li> <li>- Tiempo: 2 días</li> <li>- biorreactor: barril</li> </ul>	<p>Pb: 1000 mg/L disolviendo Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> en agua destilada. concentraciones estándar de iones de Pb de 6, 30, 57, 112 y 223 mg/L.</p> <p>Biocarbón: 0,5g a 50ml de cada una de las tres bases de 0,05 M de NaHCO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> y NaOH.</p> <p>Ph: 2 a 6 5000 rpm por 10min.</p>	<p>Capacidades de eliminación de Pb: 86.96 mg/g Desorción de Pb: 94%</p>

Fan et al., 2020, p.10	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de precursor: Salvado de mijo</li> <li>- 380°C por 2h</li> <li>- 30mL de ácido fosfórico al 50%</li> <li>- Biocarbón: 15g</li> <li>- luego a 6000°C por 2h</li> <li>- 113,74 mg de MnCl · 4HO con 50 mL de agua destilada. Luego, se añadieron 5 mL de solución de CMC (0,1%, p/p) y 50 mg de FBC asintésada y se agitó durante 20 min.</li> </ul>	<p>muestra: 2mL  Pasaron por un filtro de 0,22 µm  se realizó una aireación en un horno de aire a 80°C por 48h.  0,3g de adsorbente  Cd: 300 mL</p>	<p>Capacidad de adsorción:  31,78 mg/g  Porcentaje de remoción de Cd:  15,89%</p>
Zhao et al., 2019, p.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de precursor: Paja de trigo</li> <li>- Hematita y precursor se mezclaron en proporciones de 1:2 en el agua agitados durante 2h</li> <li>- Pirólisis:</li> <li>- Tiempo: 20,60 y 120 min.</li> <li>- T°: 800°C en 2h.</li> <li>- la hematita fue recocida en nitrógeno</li> <li>- 800°C durante 2h.</li> </ul>	<p>El pH inicial (5,0 ± 0,1) de las soluciones fue ajustada usando 0,01 M HCl o 0,01 M NaOH  30rpm hasta la toma de muestra  Tiempo de muestreo (1/12, 1/6, 1/3, 2/3, 1, 2, 4, 8 y 24 h)  2mL  Se filtraron a través de un filtro (acetilcelulosa) de 0,22 µm para separar el sólido de la solución.  pH inicial: 2-6  Concentración inicial de Pb: 5-1500 mg/L</p>	<p>Capacidad de adsorción de Pb:  196.91 mg/g  13,6%</p>
Du et al., 2020, p.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de precursor: Tallo de maíz</li> <li>- Tallo de maíz</li> <li>- Reactor: horno tubular</li> <li>- Velocidad: 5°C/m a 700°C, mantenida por 2h</li> </ul>	<p>Concentraciones iniciales de Pb: 10, 20, 50 y 100 mg/L  Temperaturas: 25, 35 y 55°C  5. 10 mg de AHA/Fe3O4-γFe2O3@PBC se añadió en 40 mL de solución de Pb2+ (10 mg/L a 100 mg/L)  Mezclado durante 6h para alcanzar el equilibrio de adsorción/desorción.</p>	<p>Capacidad de eliminación Pb:  99.82 mg/g  96.5%</p>
Zhang et al., 2020, p.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de precursor: Estiércol de vaca</li> <li>- T°: 350°C y 700°C</li> <li>- Tamaño de partícula: 0,15mm</li> </ul>	<p>Concentración inicial de Pb2+ de 100-1000 mg/L y un pH de 5.0  Tiempo: 24h  pH: 2.0-6.0 usando 0.01 mol/L HNO3 o NaOH  cinética de absorción:  1 a 1440 min  Concentración inicial de Pb2: 180 mg/L  pH: 5.0  Temperatura: 25°C</p>	<p>Estiércol de vaca Capacidades máx. de adsorción Pb:  230.0 mg/g  Porcentaje de desorción  99,97%</p>

Liu et al., 2020, p.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de precursor: Lodo porcino</li> <li>- Lodo seco de cerdos fue sumergido con 10 mL de solución de NaOH (1.0 mol/L)</li> <li>- Tiempo: 30 min a T° ambiente</li> <li>- Se tituló con 1.0 mol/L de HNO<sub>3</sub> hasta que su pH alcanzó 1.</li> <li>- El HNO<sub>3</sub> fue evaporado colocando la mezcla en la placa calefactora por 30 min.</li> <li>- pH: 7</li> <li>- Se secó al vacío a 55°C</li> <li>- Luego, el lodo tratado se calcinó en un horno de mufla en 150°C por 30 min.</li> <li>- Luego se calentó en 300°C durante 30 min</li> </ul>	<p>Adsorbente: 50 mg  En frascos cónicos de 50 mL  50 mL de solución de Pb con diferentes concentraciones (0 a 100 mg/L)  pH inicial: se ajustó a 5±0,3 con NaOH o HNO<sub>3</sub></p>	<p>Capacidad de adsorción Pb:  145 mg/g  32%</p>
Deng et al., 2020, p.25	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de precursor: Paja de arroz</li> <li>- secado a 50 ± 1°C a T° constante</li> <li>- Después de envejecer el precursor se secaron a 80 ± 1°C</li> <li>- T°: 400 y 700°C</li> <li>- biocarbón a HCl fue de 50 g de biocarbón L-1</li> </ul>	<p>T°: 25 ± 1°C  Cd 1:1000(g:ml)  Biochar: 0,02g con solución salina(100mg/L)</p>	<p>Capacidad de adsorción para Cd:  406.46 mg/g  40.5%</p>
Wang et al., 2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de precursor: Madera de Árce</li> <li>- 20% arce azucarero y 80% arce rojo</li> <li>- pirolizados en 500°C</li> <li>- biorreactor: mufla</li> <li>- milido y tamizado a 149 y 850µm</li> </ul>	<p>Biocarbón: 0,1g con 20mL de 50mg/L de Pb  T° ambiente  120rpm por 24h.  después a 3000rpm por 15min.</p>	<p>Remoción de Pb:  43.3g kg/g  89%</p>

Fuente: Elaboración propia

### **III. METODOLOGÍA**

### **3.1 Tipo y diseño de investigación**

La presente investigación es de tipo básico; de acuerdo con Galloso C., (2010, p.2) la investigación básica o pura, busca descubrir principios que sirvan de apoyo en la solución de la investigación; reúne información para confeccionar un diseño de investigación y utiliza los procedimientos prácticos con el fin de saber más sobre los resultados obtenidos.

Es de diseño narrativo tópico; debido a que la investigación narrativa descrita por Blando M., (2011, p.138) nos indica un método de investigación en el cual se cuenta y describe hechos que se dan en los trabajos de investigación ayudándonos a entender el problema, siendo su principal enfoque las experiencias y resultados obtenidos por los autores de dichos trabajos. Indicando que el diseño narrativo está siendo aplicado en la presente investigación donde se describe e interpreta el diseño experimental de las diferentes investigaciones que aborda nuestra revisión bibliográfica. Asimismo, Salgado A., (2007, p.73) menciona que los estudios narrativos de tópicos son enfocados a una temática de suceso o fenómeno donde se utiliza métodos de recolección de datos sobre un tema específico y hay una unión entre bibliográficos y autobiográficos donde los datos de investigación son: revisiones bibliográficas, diarios, artículos, obras entre otros.

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

En la presente investigación se van analizar las categorías y subcategorías; las cuales van a estar clasificadas de acuerdo a los objetivos específicos y problemas específicos; se da a conocer los diferentes precursores, las diferentes metodologías y caracterizaciones ya sean físicas o químicas que existen y son aplicadas en los diversos trabajos de investigación recolectados para la presente revisión bibliográfica. Se muestran en la tabla N°2.

Tabla N° 2: Matriz de categorización apriorística

N°	Objetivos Específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Unidad de análisis
1	Definir la influencia de precursores empleado en diversas investigaciones para la eficiencia de biochar en la adsorción de Cd y Pb en agua.	¿Cuál es la influencia de los precursores empleados en diversas investigaciones para la eficiencia de biochar en la adsorción de Cd y Pb en agua?	Precusores	P1: Residuos de cosechas o agrícolas P2: Residuos forestales	(Ahmaruzzaman M, Gupta, V., 2011, p.13591), (Favas, 2016, p. 243), (Da silva Veiga et al., 2020, p. 6), (Janus et al., 2015 p. 276),
2	Identificar las metodologías de preparación del biochar para la remoción de Cd y Pb en agua.	¿Cuáles son las metodologías de preparación del biochar que se relacionan con la mayor eficiencia en la remoción de Cd y Pb en agua?	Metodologías	Físicas	Sangani M., Abrishamkesh S., Owens S., (2020, p. 2), (Escalante et al., 2016, p. 370,371).
				Químicas	(Ponnusamy et al., 2020, p. 2).
3	Identificar la caracterización de las propiedades fisicoquímicas en la preparación de biochar.	¿Cómo se caracteriza el biochar, respecto a sus características físicas y químicas?	Caracterización	Física: MEB; BET  Química: PI, FTIR	(Li et al., 2019, p. 5), (Doran P., 2013, p.479), (Use in industrial products, 2014, p.207), (Betancur B, Jiménez D y Linares B 2012 p.167), (Duan Y., Sangani C., Ameta R., 2019, p.2)

Fuente: Elaboración propia

### **3.3. Escenario de estudio**

La presente investigación no cuenta con un escenario de estudio ya que no hay un entorno físico en el cual se realizó la investigación; al ser una revisión bibliográfica presentamos una revisión nacional e internacional de todos los artículos acerca de los diferentes residuos forestales que se utilizan a nivel mundial para la elaboración de biochar, aplicado en medio acuoso para la adsorción de los metales Cd y Pb a nivel nacional e internacional.

### **3.4. Participantes**

Las informaciones obtenidas en el presente estudio fueron obtenidas de la base de datos de: science direct, scielo, ProQuest, EBSCO; las cuales nos permiten obtener informaciones confiables y acreditadas de documentos como artículos, revistas científicas: Ecotoxicology and Environmental safety, Science of the total environment, Bioresource Technology, Journal of cleaner production, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Chemical Engineering Journal, Bioresource Technology, Environmental Geochemistry and Health, Bioresource technology.

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

En el presente estudio se realizó una recolección de datos de diferentes investigaciones de revistas a nivel nacional e internacional, los cuales se encuentran en el Anexo 1; quedando detallada la información sobre la elaboración de biochar utilizando residuos forestales para la adsorción de Cd y Pb, extrayendo datos de cada investigación como: referencia del autor, objetivos, método de extracción, parámetros de elaboración de biochar (T° de pirólisis, Tiempo de pirólisis y tipo de precursor), parámetros de adsorción (Tiempo de adsorción y la concentración de Cd y Pb en el tiempo inicial), los resultados donde se detalla la remoción o capacidad de adsorción de Cd y Pb y recomendaciones. La técnica es el análisis documental, el estudio explora el procedimiento de los documentos de análisis de experiencias de investigaciones reales, utilizando datos extraídos de los documentos (Bowen, G.,2009 p.30).

### 3.6. Procedimientos

Las etapas que se siguieron para la elaboración del presente estudio fueron: el muestreo de diferentes trabajos de investigación, en las cuales utilizamos palabras claves como: compost, biochar, fisicoquímica, adsorción, entre otros; en las bases de datos aprobadas (science direct, scielo, ProQuest, EBSCO); para poder obtener pappers que nos sirvan de referencia en la presente revisión bibliográfica; obteniendo en total 130 investigaciones dentro de las cuales se filtraron mediante criterios de inclusión y exclusión, obteniendo 124 artículos científicos y 6 libros. Se detalla en la Tabla N°1.

Tabla N°3: Criterio de búsqueda para la elaboración del presente estudio

Resumen de criterio de búsqueda				
Tipo de documento	Cantidad	Palabras clave de búsqueda	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículo científico	124	Biochar, cinética, termodinámica, pseudo-primer orden, pseudo-segundo orden.	-Se encuentren dentro de las fuentes aceptadas como: EBSCO, google académico, scielo, ScienceDirect. -Presenten antigüedad no mayor de 10 años. -Ser aplicado a medio acuoso.	-No contar con doi. - Ser aplicado a suelo u otro elemento que no sea agua. -Que sea una revista no indexada.
Libro	6	FTIR, SEM, BET, isoeléctrico, biochar -Procesos físico químicos. -Elaboración de biochar.		

Fuente: Elaboración propia

### 3.7. Rigor científico

La presente investigación cualitativa va garantizar que el trabajo es válido y confiable con los siguientes criterios para los rigores científicos:

- A) Dependencia: Se refiere a la consistencia y la confiabilidad de la investigación cualitativa, se obtendrán resultados extraídos de datos y análisis en diferentes estudios realizados que nos generará resultados permanentes (Salgado, A, 2007 p. 74).
- B) Credibilidad: Nos referimos a la validez o resultado, la credibilidad es la forma de comunicación y punto de vista de los participantes en la investigación que emplearemos de modo que el participante tenga un vínculo con la investigación (Arias M., Giraldo C., 2011, p. 504).
- C) Transferencia: Los investigadores y/o lectores ampliarán su conocimiento a través de la presente investigación, recepcionará concretamente conocimientos, en el cual se presentará información clara y precisa del problema (Castillo, E. y Vásquez, M., 2003 p.166).
- D) Confirmación: La confirmación en la investigación cualitativa viene a ser los datos que utilizaremos como apoyo en la investigación (Pujals P., Enrique A., 2012, p. 880) la presente investigación tomará los datos obtenidos para servir como base para futuras investigaciones.

### **3.8. Método de análisis de información**

El análisis de la información se ejecutará por medio de categorías, teniendo como objetivo definir los criterios semejantes, estas categorías se concretan por descripciones similares, por ejemplo: recopilación de parámetros influyentes en el proceso de la adsorción de Cd y Pb, influencia de precursores empleados en diversas investigaciones para la eficiencia de biochar en la adsorción de Cd y Pb en agua, propio que se evaluará dependiendo de las sub categorías y metodologías de preparación del biochar para la remoción de Cd y Pb en agua. De esta manera otros grupos Identificarán la caracterización de las propiedades fisicoquímicas en la preparación de biochar (Giraldo, M. 2011.p.83-84).

### **3.9. Aspectos éticos**

Con el fin de garantizar la calidad de la investigación que lleva como título “Revisión bibliográfica de la adsorción de Cd y Pb usando biocarbón elaborado con residuos forestales”, se han considerado los aspectos éticos: A) Respeto a la autoría, se citó

debidamente al autor y se referencio según la norma ISO. B) Cumpliendo los principios y normas vigentes en la Universidad César Vallejo respecto a la investigación. C) Debido a los resultados que se describen el valor científico, esta investigación se centra en compartir conocimiento de una recopilación de técnicas de producción de biochar y reconocimiento de características para generar una óptima absorción de metales en el medio acuoso. D) Se procede a la autorización y consentimiento de dicha información para beneficio de futuros investigadores, esta investigación fue aprobada cumpliendo los códigos de éticas de la investigación de la universidad que autoriza su publicación o de ser el caso suspende la publicación (Domínguez M, y Rodríguez I., 2010. p. 120)

## **IV. Resultados y Discusión**

Después de realizar la revisión de 27 documentos sobre La influencia del tipo de precursor del biochar en la adsorción de Cd y Pb en agua, se presenta los resultados mostrados en la tabla N°4.

Tabla N°4 Influencia del Tipo de precursor en la adsorción de Cd y Pb en agua

Precursor	Sub producto	Residuos	Precursor utilizado	Remoción (Capacidad de adsorción y Porcentaje de remoción)
Residuos de cosechas o agrícolas	Cultivos herbáceos	Cáscara de arroz, paja, restos de cereales, restos de cultivos hortícolas.	Cascara de semilla camelia	Pb: 113,27mg/g Cd: 97,66mg/g Remoción fue de: Pb: 8,55%, Cd: 29,59%
			Cáscara de arroz	Capacidad de adsorción Pb: 70,90 mg g <sup>-1</sup> Cd: 84,76 mg g <sup>-1</sup>
			Paja de maíz	Capacidad de adsorción de Cd: 46.90mg /g 17,66%
			Zurro de maíz y Bagazo de caña	Capacidad de adsorción Pb: 0.037 meq/g Cd: 0.061 meq/g BC:74% ZM: 80%
			Cascara de maní	Capacidad máxima de adsorción reducción de Pb: 225 mg/g, Cd: 112mg/g Pb: 90%. Cd: 30%
			Cascara de arroz	Porcentaje de remoción de Cd: 49%
			Paja de trigo	Capacidad de adsorción de Pb: 196.91 mg/g 13,6%
			Paja de arroz	Capacidad de adsorción para Cd: 406.46 mg/g 40.5%
			Bagazo de caña de azúcar y cáscara de naranja	Capacidades de eliminación de Pb: 86.96 mg/g 94%
			Cascara de huevo	Adsorción de Pb: 56,0 mg/g 90%
			Caña	Capacidad de adsorción Cd: 206.18 mg/g 13,4%
	Cultivos leñosos		Orujo de uva	Porcentaje de remoción Pb: 300 mg/L en 30min. 66.5%

		Frutales de frutos secos, olivar, viveros	Cáscara de nuez, ciruelas, uva	Capacidad máxima de adsorción Cd: 0,45 mmol/g Pb: 2,87 mmol/g Porcentaje de adsorción Pb: 1,40% Cd: 20,40%
	Cultivos industriales	Cáscara de frutas y vegetales, oleaginosas.	Salvado de mijo	Capacidad de adsorción: 31,78 mg/g Remoción de Cd: 15,89%
			Cáscara de piña	Adsorción de Cd: 92.7 mg/g - 87%
	Restos de explotación ganadera	Purines, estiércol, camas de ganado, animales fallecidos	Estiércol de granja	Capacidad de adsorción: Pb: 175,53 mg/g Cd: 68,08 mg/g Pb: 35% Cd: <35%
			Lodos porcinos	Capacidad de adsorción Pb: 145 mg/g 32%
			Estiércol de vaca	Capacidades máx. de adsorción Pb: 230.0 mg/g porcentaje de desorción 99,97%
			Pluma de pollo	Capacidad máx. de adsorción Cd 7.84 mg/g Pb: 24.41 mg/g 80%
Residuos forestales	Restos de aserradero	Aserrín, astillas, madera partida, viruta	Madera de arce	Remoción de Pb: 43.3g kg/g 89%
			Aserrín de madera	Capacidad de adsorción para Pb: 591.2 mg/g que es 263% más alto que el de BC
	Restos de plantaciones	Ramas, corteza, raíces.	Ramas del manzano	Porcentaje de remoción Pb: 60 a 70%
			Corteza de pinos	Remoción de Cd: 85.8 mg/g 23,6%
			Hierba de elefante (Pennisetumsp)	Capacidades máximas de adsorción de Cd con: 95,23 mg / g 63,9% en peso

			Madera de álamo	Capacidad de adsorción máxima de Cd: 47,13 mg/g 1,11%
			Tallo de maíz	Capacidad de eliminación Pb: 99.82 mg/g 96.5%
			Planta <i>Ipomoea fistulosa</i>	Porcentaje de remoción de Cd: 72,43 mg/g 98,1% en 60 minutos.

Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos en la Tabla N°4 nos indican que el porcentaje de remoción para el cadmio y plomo fueron los siguientes: El Pb tuvo un intervalo desde 8.55% a 99.97% asimismo el Cd de 1,11% a 98,1% presentando intervalos más bajo que el plomo.

Al efectuar la comparación de investigaciones aplicando a Cd y Pb en un mismo estudio, se ha determinado que la mayor remoción se da en Cd y no en Pb; de acuerdo con Pedrozo et al., (2011, p.391) cuando el Cd compite con el Pb por el sitio activo del carbón; tiene menos adsorción el Pb debido a que el ion Cd es más pequeño que el Pb por lo tanto va tener mayor velocidad de difusión, mayor acceso a los poros y mayor posibilidad de ser adsorbidos.

También se puede decir que, la mayor captación de Cd y Pb se da en los precursores provenientes de residuos forestales más que en los de residuos de cosechas o agrícolas, en promedio el porcentaje de remoción es de 88% a diferencia de los residuos de cosecha o agrícola que presentan solo 3 estudios de 19 investigaciones con porcentajes altos en promedio de 87%, confirmando que el tipo de precursor que se utilice es un influyente e importante en la optimización del biochar; así como la aplicación de activación del biochar; de acuerdo con, Dorregaray D., Hyilda J., (2016, p.2) el área superficial y las propiedades del biocarbón dependen del precursor que se utiliza y el método de activación.

Se presenta en menor cantidad las investigaciones utilizando residuos forestales; siendo 8 de 27 investigaciones, debido a que los residuos forestales no se integran al suelo y no existe un mercado o demanda para los residuos forestales por ello son incinerados creando contaminación como el riesgo para la salud e impacto al ecosistema. Michael W., Schmidt I., (2007, p. 786) resumen que, los residuos de

aserradero generan problemas de salud como afecciones respiratorias o alergias generando la disminución de su uso, siendo las prácticas más comunes la quema aunque ya se ha demostrado las altas propiedades de su materia para la producción de biocarbón; a diferencia de ellos los residuos de cultivos herbáceos y leñosos son usualmente más utilizados, ya que, en el proceso a biochar aseguran la exclusión de gérmenes que pudieran resultar nocivos para el consumo humano o animal.

Asimismo, las metodologías de preparación del biochar pueden ser de tipos; físicas o químicas; realizando una selección de diversas investigaciones se clasificaron de acuerdo a la tabla N°5 y N°6:

*Tabla N°5: Metodologías física de preparación del biochar*

METODOLOGÍAS FÍSICAS (PIRÓLISIS)		
Lenta	Rápida	Ultra rápida
La pirólisis lenta se da con lapsos de calentamientos cerca de 0.1 a 2 °C por segundo y residencia del gas igual o mayor a 5s, mientras que para la biomasa puede ser de minutos a días (Rebolledo et al., 2016, p.374) a temperaturas no son mayores a 500°C indicando que el producto carbonizado presenta un 73% de la cantidad de energía presente en la biomasa original y se puede decir que la pirólisis lenta es un proceso de especial interés debido a la valorización de biomasa (Romero L., Cruz M., Sierra F., 2016, p.93)	Se da en temperaturas relativamente bajas de 450 a 550°C con velocidades de calentamiento muy rápidas, mayores a 500°C/s y tiempo de residencia de los vapores de reacción menores a 2s; se da un enfriamiento y condensación rápida de los productos de reacción Gonzales et al., (2015, p.172).	La pirólisis rápido se da en un rango de temperatura de 400 a 700°C en intervalos cortos de tiempo de 2 a 150s (Krishna et al., 2020, p.18). Arteaga et al., (2012, p.147) confirma que la T° es una de las variables más importantes en la producción de biochar debido a que este afecta el rendimiento obtenidos por la pirólisis.
Wu et al., (2019, p.2)	Abad et al., (2018, p.31)	Yin et al., (2020, p.5)
Tan et al., (2019, p.4)	Chen et al., (2019, p. 202)	Wan et al (2020, p.3)
Park et al., (2019, p.299)		
Wang et al., (2018, p. 191)	Wu et al., (2020, p.3)	Trakal et al., (2020, p449)
Fan et al., (2020, p.10)		
Deng et al., (2020, p.25)	Goswami et al., (2016, p.446)	Khan et al (2020, p.6)

Fuente: elaboración propia

Tabla N°6: Metodología química de preparación del biochar

METODOLOGIA QUÍMICA				
Reactivos	Remoción	Metal	Autor	Precursor
Hidróxido de potasio (KOH)	98,1%	Cd	Goswami et al., 2016	Planta Ipomoea fistulosa
Hidróxido de potasio (KOH)	90 al 99%	Pb y Cd	Li et al., 2020	Algas
Hidróxido de Sodio (NaOH)	35%	Pb y Cd	Chen., 2019	Estiércol de granja
Hidróxido de Sodio (NaOH)	1,1%	Cd	Chen et al., 2020	Madera de Álamo
Ácido tánico	13,4%	Cd	Wang et al., 2019	Caña
Ácido fosfórico (H3PO4)	87 al 98%	Pb y Cd	Li et al., 2020	Enteromorpha prolifera (algas)
Ácido fosfórico (H3PO4)	80%	Pb y Cd	Pedrozo et al., 2011	Zurro de maíz
Ácido nítrico (HNO3)	15.89%	Cd	Fan et al, 2020	Salvado de mijo
Nitrato de Sodio (NaNO3)	32.7%	Pb	Wang et al., 2018	Madera de árce
Nitrato de Sodio (NaNO3)	17,66%	Cd	Khan et al., 2020	Paja de maíz
Bicarbonato de potasio (KHCO3)	90% y 30%	Pb y Cd	Wan et al, 2020	Cascara de maní
Permanganato de Potasio (KMnO4)	95 al 98%	Pb y Cd	Li et al, 2020	Enteromorpha prolifera (algas)
Permanganato de Potasio (KMnO4)	92,1%	Pb y Cd	Wu et al., 2020	Cascara de arroz
Cloruro de Zinc (ZnCl2)	49%	Cd	Liu et al., 2018	Cascara de arroz crudo
NaOH / Tiourea	32%	Pb	Liu et al., 2020	Lodo porcino
Fe-Mn	63,9% en peso	Cd	Yin et al., 2020	Hierba de elefante (Pennisetumsp)

Fuente: elaboración propia

En la tabla N°6 se realizó una selección de 16 antecedentes de 27 investigaciones, los cuales, utilizan reactivos químicos en sus metodologías de elaboración de biochar para poder obtener rendimientos más altos y un aumento en la porosidad, las sustancias químicas más utilizadas por su eficacia en la remoción de Pb y Cd

son; Hidróxido de potasio (KOH) con 98,1 y 99%, Permanganato de Potasio (KMnO<sub>4</sub>) con 92,1% y 98% y Ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) con 98% y se encuentran entre las más eficientes.

Las características físicas y químicas del biochar son importantes para determinar la eficacia de la adsorción del biochar en el agua; por ello, son caracterizadas con diferentes equipos y técnicas explicadas en la Tabla N°7 y Tabla N°8; utilizamos 22 de 27 investigaciones para determinar cuál de las características son más utilizadas.

Tabla N°7: Caracterización del biochar de acuerdo a sus propiedades físicas y químicas

<b>Caracterización</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Física</b>		<b>Química</b>	
<b>Equipo</b>	MEB o SEM	BET	PI	FTIR
<b>Características</b>	Diámetro de partícula	Determinación de poro	Propiedades de adsorción	Grupos funcionales
<b>Utilidad de la caracterización</b>	Nos permite ver la morfología de las partículas del biochar, evalúa las variaciones estructurales en el biochar	permite determinar el estudio de pequeñas tamaño de partículas para la medición de la porosidad.	el PI contribuye a la estimación de carga superficial de las partículas a diversas condiciones del pH	Nos permite ver los cambios en la composición de grupos funcionales del bioadsorbente, antes y después de la adsorción del metal.

Fuente: elaboración propia

Tabla N°8: Caracterización de acuerdo a sus propiedades físicas y químicas

N°	Caracterización de biochar		Biochar	Referencia
	Físico	Químico		
1	SEM	FTIR	Cascara de arroz	Ahmaruzzaman M. y Gupta V
2	BET	PI / FTIR	Paja de arroz / Cascara de huevo / Aserrin	Xu et al,2019
3	SEM-EDS BET	FTIR	Cascara de nuez	Rodriguez et al,2020
4	SEM-EDS BET	FTIR	Cascara de almendra	Rodriguez et al,2020
5	SEM - BET	FTIR	Paja de maíz	Khan et al,2020
6	SEM -EDS	FTIR	Estiércol de granja	Chen et al, 2019
7	SEM- BET	-	Hierbas de elefante	Da silva et al, 2020
8	SEM	FTIR	Cascara de arroz	Wu et al, 2020

9	-	FTIR	Cascara de semilla camelia	Wu et al, 2019
10	SEM	FTIR	Cascara de arroz	Shi et al, 2019
11	SEM	-	Cascara de maní	Wan et al, 2020
12	SEM	FTIR	Enteromorpha prolifera (algas)	Li et al, 2020
13	SEM	FTIR	Enteromorpha prolifera (algas)	Li et al, 2020
14	SEM	FTIR	Enteromorpha prolifera (algas)	Li et al, 2020
15	SEM	FTIR	Paja de arroz	Yuan et al, 2020
16	BET	-	Zurro de maíz	Pedrozo et al., 2011
17	SEM	FTIR	Hierba de elefante (Pennisetumsp)	Yin et al., 2020
18	SEM	PI / FTIR	Madera de Álamo	Chen et al., 2020
19	SEM	FTIR	Caña	Wang et al., 2019
20	SEM	FTIR	Madera de árce	Wang et al., 2018
21	SEM / BET	FTIR	Cascara de arroz crudo	Liu et al., 2018
22	SEM	PI / FTIR	Lodo porcino	Liu et al., 2020

Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos en la Tabla N°8 para determinar la caracterización del biochar en el medio acuoso nos muestra que el 86% utilizaron SEM, debido a que el SEM nos permite obtener imágenes en 3D para determinar la estructura morfológica del biochar, en ello se resalta que los cultivos leñosos presentan microporos con un promedio de 45%, el BET fue utilizado un 36% y PI 13%.

En cuanto al FTIR también obtuvo un promedio alto en el porcentaje de aplicación ya que 80% de investigadores optan por aplicarlo debido a su efectividad para determinar la presencia de los grupos funcionales.

## **V. CONCLUSIONES**

Se concluye que los diferentes parámetros en el proceso de adsorción de Pb y Cd si influyen teniendo como parámetro en la elaboración del biochar el tiempo de pirolisis, temperatura y diámetro de partículas; entre ellos destacan temperaturas de 350°C a 550°C donde se obtiene un porcentaje de 85% en la adsorción.

En relación al objetivo uno, sobre la influencia del precursor empleando diversas investigaciones para la eficiencia del biochar en la adsorción Cd y Pb en el agua, debido al porcentaje de remoción los residuos forestales son eficientes en la adsorción de Pb y Cd, se logró comparar diversos residuos forestales obteniendo resultados favorables con un porcentaje de 96.5% para Pb y 98.1% para Cd en la remoción.

Se identificó las metodologías de preparación del biochar para la remoción de Cd y Pb en agua siendo más utilizada la pirolisis lenta como metodología física debido al tiempo de pirolisis; además la biomasa carbonizada representa el 73% de la energía del producto original y es mejor aprovechado (Romero L, Cruz M, & Sierra F.,2016 p.93). En cuanto a la metodología química se determinó el uso de reactivos químicos para el mejoramiento de la remoción, los cuales fueron más aplicados en la preparación del biochar, entre ellos tenemos el Hidróxido de potasio, ácido fosfórico y permanganato de potasio.

Finalmente, se identificó las caracterizaciones de las propiedades del biochar, lo cual el SEM y FTIR son utilizados con mayor frecuencia en las investigaciones ya que se encuentran con mayor facilidad la metodología de aplicación y determinan los grupos funcionales eficientemente.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Considerando la calidad de la investigación y en función a los objetivos se recomienda a los futuros investigadores lo siguiente:

- Crear un registro de los residuos forestales que no estén valorizados, organizando una base de dato o utilizando un ordenador que permita analizar los datos ingresados, de esta manera se podrá verificar que tipos de residuos forestales no cuentan con ningún valor o utilidad de manera que se genera nuevas investigaciones, dándole una utilidad y generando nuevos estudios con las diferentes biomásas en la elaboración del biochar.
- Profundizar y clasificar otras metodologías para la elaboración del biochar: Existen otros métodos como la gasificación, torrefacción y pirolisis de microonda estos métodos también se aplican en la elaboración del biochar se recomienda hacer una comparación para determinar qué tan factible es su aplicación y eficiencia.
- Ampliar la investigación en función a otros tipos de propiedades fisicoquímicas para identificar la caracterización en el biochar: Debido a que las tecnologías mejoran al pasar los años, existen otras tecnologías que son aplicadas como (XRD) y (XPS) para determinar las características y realizar una comparación en función al costo.

## REFERENCIAS

1. ABDELHAFEZ, A.A., Li, J., & Abbas, H. H Feasibility of biochar manufactured from organic wastes on the stabilization of heavy metals in a metal smelter contaminated soil [En línea]. Mayo 2014, [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2019]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.05.086>
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. Activation of porous magnetized biochar by artificial humic acid for effective removal of lead ions por Du [et al]. Journal of Hazardous Materials [En línea] 2020. Vol.389. [Fecha de consulta: 26 de junio del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122115>
4. Adsorption of cadmium and lead ions by phosphoric acid-modified biochar generated from chicken feather: selective adsorption and influence of dissolved organic matter por Chen [et al] Bioresource technology. 2019. Vol.292. [Fecha de consulta: 26 de junio del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121948>
5. ADSORTION of two antibiotics on biochar in air- containing atmosphere: Influence of biochar porosity and molecular size of antibiotics por Li [et al]. [En línea]. Enero 2019, vol 274. [Fecha de consulta: 20 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.10.142>
6. AHMARUZZAMAN, M., & Gupta, V. Rice Husk and Its Ash as Low-Cost Adsorbents in Water and Wastewater Treatment [En línea]. octubre 2011, [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/ie201477c>
7. A facile foaming-polymerization strategy to prepare 3D MnO<sub>2</sub> modified biochar-based-based porous hydrogels for efficient removal of Cd (II) and Pb (II) por Wu [et al]. Chemosphere [En línea]. Enero 2020, vol 239. [Fecha de consulta: 10 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124745>

8. ABDELHAFEZ, A.; LI, J. Removal of Pb (II) from aqueous solution by using biochars derived from sugar cane bagasse and orange peel: Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. [En línea]. 2016. Vol. 61. [Fecha de consulta: 26 de junio del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.01.005>
9. AMIN, M, ALAZBA, A y SHAFIQ, M. Application of biochar derived from date palm biomass for removal of lead and copper ions in a batch reactor: kinetics and isotherm scrutiny [En línea]. Chemical 2019, vol 722. [Fecha de consulta: 15 de septiembre del 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2019.02.018>
10. A NOVEL fiber in-line Michelson interferometer based on end face packaging for temperature and refractive index measurement por Jin Wang [et al] Optik [En línea]. 2019, vol 194. [Fecha de consulta: 15 de septiembre del 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2019.163094>
11. 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>
12. BACCILE, N, Antonietti, M y Titirici, M. One-Step Hydrothermal Synthesis of Nitrogen-Doped Nanocarbons: Albumine Directing the Carbonization of Glucose. [En línea]. ChemSusChem 2010. Vol. 3(2), 246–253. [Fecha de consulta: 14 de junio de 2020]. Disponible en: [doi:10.1002/cssc.200900124](https://doi.org/10.1002/cssc.200900124)
13. Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implications, and current challenges por Michael W., Schmid I. [En línea]. 2007. Vol. 14. [Fecha de consulta: 28 de junio de 2020]. Disponible en: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/1999GB001208>
14. BETANCUR B, Jiménez D y Linares B. Potencial Zeta, como criterio de optimización de dosificación de coagulante en planta de tratamiento de agua potable. Dyna [En línea]. Julio 2012 Nro 175. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49624958021>. ISSN: 0012-7353.
15. BIOCHAR addition reinforces microbial interspecies cooperation in methanation of sugar beet waste (pulp) por Pytlak Anna [et al]. Science of the total Environment [En línea]. Abril 2020. [Fecha de consulta: 5 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138921>
16. BIOCHAR as a low-cost adsorbent for heavy metal removal: A review. International journal of research in biosciences por Patra [et al]. [En línea]. enero

2017, Vol. 06. [Fecha de consulta: 17 de abril de 2020]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/9a17/515c63d2c8838a12cf7410509b831d65a382.pdf> ISSN: 2319-2844

17. Biochar as potential sustainable precursors for activated carbon production: multiple applications in environmental protection and energy storage por Tan [et al]. [En línea]. 2017, vol.227. [Fecha de consulta: 28 de junio del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.12.083>
18. BIOCHAR-MEDIATED sequestration of Pb and Cd leads to enhanced productivity in mentha arvensis por Nigam [et al]. Ecotoxicology and environmental safety [En línea]. Mayo 2019, vol. 172. [fecha de consulta: 14 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.006>
19. BIOFUELS production by fat pyrolysis of palm oil whastes (Elaeis guineensis jacq) por Arteaga [et al]. Biotechnology in the agricultural and agroindustrial sector [En línea]. Julio-Diciembre 2012, vol 10 n°2. [Fecha de consulta: 20 de junio de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n2/v10n2a17>
20. BIOSORPTION kinetics of cd (ii), cr (iii) and pb (ii) in aqueous solutions by olive stone. brazilian journal of chemical engineering por Calero M. [et al]. granada [En línea]. 2009, vol.26 n. 2 [Fecha de consulta: 15 de septiembre del 2019]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-66322009000200004> ISSN: 010-6632
21. BIOCARBÓN (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo Escalante [et al]. Terra latinoamericana [En línea]. Julio 2016 vol. 34. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2019]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792016000300367](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000300367) ISSN:0187-5779.
22. BOWEN, G. Document analysis as a quialitative research method. Qualitative rearch journal [En línea]. 2009. Vol. 9, N°2. [Fecha de consulta: 4 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.3316/QRJ0902027>
23. CADMIUM adsorption characteristics of biochar derived using various pine tree residues and pyrolysis temperaturas por Park [et al]. Journal of colloid and interface science [En línea]. Octubre 2019, Vol 553. [Fecha de consulta: 15 de

consulta: 15 de mayo del 2020]. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.06.032>

24. Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados por Peña [et al]. *Revista peruana de biología* [En línea]. 2014. Vol.21 [Fecha de consulta: 28 de junio del 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>
25. Cascaras de la fruta piña (*Ananas comosus*) para remover metales pesados ( $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ) desde soluciones acuosas por Dorregaray D., Hyilda J., [En línea]. 2018. [Fecha de consulta: 28 de junio del 2020] Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4933/Dorregaray%20De%20La%20Cruz%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
26. CASTILLO, E. & Vásquez, M. El rigor metodológico en la investigación cualitativa. *Revista colombiana Médica* [En línea]. 2003. Vol.31, No.3. [Fecha de consulta: 3 junio de 2020]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28334309> ISSN: 0120-8322
27. CARBONES activados a partir de bagazo de caña de azúcar y zuro de maíz para la adsorción de cadmio y plomo por Pedrozo [et al]. *Rev. Colomb. cienc. Exact. fis. nat.* [En línea]. 2011, vol.35 n.136. [Fecha de consulta: 18 de junio de 2020]. Disponible: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-39082011000300012&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082011000300012&lng=en&nrm=iso) ISSN: 0370-3908
28. Characterization of cadmium removal from aqueous solution by biochar produced from *Ipomoea fistulosa* at different pyrolytic temperaturas por Goswani [et al]. 2016. Vol. 97. [Fecha de consulta: 26 de junio del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.10.007>
29. CHIRINOS, D., CASTRO, J. Lead and cadmium blood levels and transfer to milk in cattle reared in a mining area [En línea]. *Heliyon* 2020. [Fecha de consulta: 19 de abril del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03579>
30. CHRONIC lead poisoning: a review of the environmental peruvian problem por Ramos Willy [et al]. [En línea]. Agosto 2009, vol 13 n.o 09. [Fecha de consulta: 19 de abril del 2020]. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/288507739\\_Intoxicacion\\_plumbica\\_cronica\\_una\\_revision\\_de\\_la\\_problematika\\_ambiental\\_en\\_el\\_Peru](https://www.researchgate.net/publication/288507739_Intoxicacion_plumbica_cronica_una_revision_de_la_problematika_ambiental_en_el_Peru)

31. Comparative study on Pb<sup>2+</sup> removal from aqueous solutions using biochars derived from cow manure and its vermicompost por Zhang [et al]. Science of The Total Environment. [En línea]. 2020, vol 716. [Fecha de consulta:26 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137108>
32. COMPARISON of adsorption properties for cadmium removal from aqueous solution by enteromorpha prolifera biochar modified with different chemical reagents por Li [et al]. Environmental research.[En línea]. Julio 2020, vol 186. [Fecha de consulta:20 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109502>
33. 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>
34. COMPETITIVE adsorption of heavy metals in aqueous solution onto biochar derived from anaerobically digested sludge por Ni [et al]. Chemosphere [En línea]. Marzo 2019, vol. 219. [Fecha de consulta: 10 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.053>
35. CONTAMINACIÓN ambiental, variabilidad climaticay cambio climático una revisión del impacto en la salud de la población peruana por Gonzales [et al]. [En línea]. 2014 [Fecha de consulta: 14 de abril de 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/270007802\\_Contaminacion\\_ambiental\\_variabilidad\\_climatica\\_y\\_cambio\\_climatico\\_una\\_revision\\_del\\_impacto\\_en\\_la\\_salud\\_de\\_la\\_poblacion\\_peruana](https://www.researchgate.net/publication/270007802_Contaminacion_ambiental_variabilidad_climatica_y_cambio_climatico_una_revision_del_impacto_en_la_salud_de_la_poblacion_peruana)
36. CONTRIBUTIONS and mechanisms of components in modified biochar to adsorb cadmium in aqueous solution por yuan [et al]. Science of the total environmet [ En línea]. Setiembre 2020, vol. 733. [Fecha de consulta 23 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139320>

37. COSSÍO, R. et al. Manejo forestal comunitario en la amazonía peruana: una revisión bibliográfica. *cifor*. 2014 [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2019].
38. DEEPSHIKHA, Pandey, ACHLESH Daverey y KUSUM Arunachalam. Biochar: Production, Properties and Emerging role as a Support for Enzyme Immobilization [En línea]. 2020, vol 255. [Fecha de consulta: 15 de abril del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120267>
39. DETAILED kinetic analysis of slow and fast pyrolysis of poly (methyl methacrylate)- flame retardant mixtures por Krishna [et al]. *Thermochimica acta* [En línea]. Mayo 2020, vol. 687. [Fecha de consulta: 22 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2020.178545>
40. 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>
41. DORAN P. CHAPTER 11 - Unit operations [En línea]. *Bioprocess engineering principles* [Second Edition] 2013. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.or/10.1016/B978-0-12-220851-5.00011-3>
42. DUAN, Y, Sangani, C, Ameta, R,. THERMAL, SEM, AFM, BET and biological analysis of newly synthesized Fe<sup>2+</sup> / Fe<sup>3+</sup> based MOIFs [En línea]. *Journal of molecular liquids* 2019, vol 295. [Fecha de consulta: 30 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111709>
43. EFFECTS of reaction conditions on the emission behaviors of arsenic, cadmium and lead during sewage sludge pyrolysis por Han [et al]. *Bioresour technology* [En línea]. Julio 2017, vol. 236. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.112>
44. 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>
45. Efficient removal of lead from solution by celery-derived biochars rich in alkaline minerals por Zhang [et al]. *Bioresource technology*. [En línea]. 2017. vol. 235. [Fecha de consulta: 26 de junio del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.109>

46. ELABORATION characteristics and advantages of biochars for the management of contaminated soils with a specific overview on miscanthus biochars por Janus, A [Et al]. Journal 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>
47. EL rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto por Abad [et al]. Scientia Agropecuaria [En línea]. 2018, vol 9, n1. [Fecha de consulta: 3 de julio del 2020]. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-99172018000100003&lang=en](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172018000100003&lang=en)
48. ENMIENDAS organicas de nueva generación: biochar y otras biomoléculas III. Por Garcia [et al]. Red Española 2014. [Fecha de consulta: 14 de junio de 2020]. ISBN:978-84-8476-692-6
49. ENSAYOS con biocarbones procedente de residuos de almazara y orujera para eliminación de contaminantes en aguas por Durán [et al]. [En línea] Instituto de recursos naturales y agrobiología de sevilla IRNAS-CSIS España 2017 [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. Disponible en: [core.ac.uk/download/pdf/84779479.pdf](http://core.ac.uk/download/pdf/84779479.pdf)
50. EVALUACIÓN de niveles de plomo y factores de exposición en gestantes y niños menores de 3 años de la ciudad de la Oroya por Chavez M. [En línea]. 2000.[Fecha de consulta: 15 de abril de 2020]. Disponible en: [http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1240\\_GRAL1378.pdf](http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1240_GRAL1378.pdf)
51. Engineered biochar derived from eggshell-treated biomass for removal of aqueous lead por Wand [et al]. Ecological Engineering [En línea] 2018. Vol.121. [Fecha de consulta: 26 de junio del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.029>
52. ENVIRONMENTAL and human health risks from metal exposures nearby a Pb-Zn-Ag mine por Huang, Y [et al]. Science of the total environment [En línea]. Enero 2019, vol 698. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134326>
53. ESTUDIO de los niveles de plomo, cadmio, zinc y arsénico en aguas de la provincia de Salamanca por Blanco [et al]. Rev. Esspa. Salud Pública [En Línea].

- 1998, vol. 72 n°.1. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. Disponible en: [https://scielo.esccc.es/scielo.php?pid=S1135-57271998000100007&script=sci\\_arttext&tIng=en](https://scielo.esccc.es/scielo.php?pid=S1135-57271998000100007&script=sci_arttext&tIng=en)
54. ESTUDIO teórico de la reactividad química del carbón activado por Guerra [et al]. Química nova [En línea].2015, Vol 38. [Fecha de consulta: 8 de Mayo del 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20150116>
55. EFFECT of pyrolysis temperature and correlation analysis on the yield and physicochemical properties of crop residue biochar por Zhang [et al]. [En línea]. Enero 2019, Vol 296. [Fecha de consulta: 15 de septiembre del 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122318>
56. EFFECT of three artificial aging techniques on physicochemical properties and Pb adsorption capacities of different biochars por Tan [et 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>
57. Enhanced removal of aqueous Cd (II) by a biochar derived from salt-sealing pyrolysis coupled with NaOH treatment por Chen [et al]. Applied Surface Science [En línea]. 2020 vol.511. [Fecha de consulta:26 de junio del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145619>
58. 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
59. GALLOSO, M. ¿Investigación básica aplicada o solo investigación? por gallo. Rev. Soc. Quím. Perú [En línea]. 2010, vol. 76, n.1 [Fecha de consulta: 2 de junio del 2020]. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2010000100001](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2010000100001) ISSN 1810-634X.
60. GAVIRIA, alfredo; sabogal, césar. Sistematización de seis experiencias de manejo forestal comunitario en la amazonía peruana. proyecto inventario nacional forestal y manejo forestal sostenible del Perú ante el cambio climático. minag, minam, fao-finlandia, lima [En línea]. 2013, [Fecha de consulta: 15 de septiembre del 2019]. Disponible en: [https://www.guzlop-editoras.com/web\\_des/cambcli01/forestal/pld1768](https://www.guzlop-editoras.com/web_des/cambcli01/forestal/pld1768)

61. Geochemical and spectroscopic investigations of Cd and Pb sorption mechanisms on contrasting biochars: engineering implications por Trakal [et al]. Bioresource technology [En línea]. 2014. Vol. 171. [Fecha de consulta: 26 de junio del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.08.108>
62. GHORBANI, M, Asadi, H y Abrishamkesh S. Effects of rice husk biochar on selected soil properties and nitrate leaching in loamy sand and clay soi[En linea]. Septiembre 2019. Vol. 7. [Fecha de consulta: 15 de abril 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.005>
63. GIRALDO, M. Abordaje de la investigación cualitativa a través de la teoría fundamentada en los datos. Ingeniería industrial. Actualidad y nuevas tendencias [En línea]. 2011. [Fecha de consulta:14 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=215021914006> ISSN:1856-8327.
64. GLOBAL evaluation of heavy metal content in surface water bodies: a meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses por Kumar [et al]. chemosphere [En línea]. 2019, Vol 236. [Fecha de consulta: 15 de septiembre del 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124364>
65. GRAPE pomace and its secondary waste management: Biochar production for a broad range of lead (Pb) removal from wáter por Jin [et al]. Environmental research [en línea]. Julio 2020, vol 186. [fecha de consulta: 22 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109442>
66. GREEN immobilizacion of toxic metals using alkaline enhanced rice husk biochar: Effects of pyrolysis temperatura and KOH concentration por Wang [et al]. Science of th total environment [En línea] junio 2020. Vol.720. [Fecha de consulta: 18 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137584>
67. 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>
68. HEAVY metals in alluvial gold mine spoils in the peruvian amazon por Velásquez, M [et al]. Catena [En línea]. 2020, vol 189. Fecha de consulta: 15 de septiembre del 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104454>

69. INFILTRATION behavior of heavy metals in runoff through soil amended with biochar as bulking agent ling por Zhao [et al]. Environmental Pollution [En línea]. Noviembre 2019, vol. 254. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113114>
70. ISOELECTRIC point and adsorption activity of porous g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> por Zhu [et al]. [En línea]. Applied surface science 2015, vol.344. [Fecha de consulta: 11 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.03.086>
71. ISOTERMA de langmuir y freundlich modelos para la adsorción de componentes de ácidos nucleicos sobre wo por Rivas [et al]. Saber [En línea] 2014, vol 26. [Fecha de consulta: 30 de mayo de 2020]. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S131501622014000100008](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S131501622014000100008) ISSN: 1315-0162
72. LEHMAN, J. BIO-ENERGY in the black. [En línea] Frontiers in ecology and the environment 2007. Vol 7. [Fecha de consulta:13 de mayo de 2020]. Disponible en: [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[381:BITB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[381:BITB]2.0.CO;2)
73. LIFE cycle assessment of biochar produced from forest residues using portable systems por Puettmann [et al]. Journal of cleaner production [En línea]. Marzo 2020, vol. 250. [Fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119564>
74. 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>
75. METAL immobilization by sludge-derived biochar: roles of mineral oxides and carbonized organic compartment por Zhang [et al]. Environmental Geochemistry and Health [En línea]. Julio 2016, vol 39. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2019]. Disponible en: doi: 10.1007/s10653-016-9851-z
76. MECHANISMS for cadmium adsorption by magnetic biochar composites in an aqueous solution por Khan [et al]. Chemosphere [En línea]. Mayo 2020, vol 246. [Fecha de consulta:10 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125701>

77. MOHAMMAD, A, Dana A. Guidelines for the use and interpretation of adsorption isotherm models: A review [En línea]. 2020, [Fecha de consulta: 20 de abril del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122383>
78. NADERI, M. Surface área: Brunauer- Emmett- taller (BET) progress in filtration an separation [En línea] 2015. [Fecha de consulta: 22 de junio del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384746-1.00014-8>
79. NAMBIAR, S. Tamm Review: Re-imagining forestry and wood business: pathways to rural development, poverty alleviation and climate change mitigation in the tropics [En línea]. 2019, Vol 448. [Fecha de consulta: 15 de septiembre del 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.06.014>
80. NITROGEN containing functional group of biochar: an overview por Leng [et al]. Bioresource Technology [En línea]. Febrero 2020, vol 298. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122286>
81. Novel Fe-Mn binary oxide-biochar as an adsorbent for removing Cd (II) from aqueous solutions por Yin [et al]. Chemical Engineering Journal [En línea] 2020. Vol. 389. [Fecha de consulta: 26 de junio del 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124465>
82. Optimization of preparation conditions for biochar derived from water hyacinth by using response surface methodology (RSM) and its application in Pb<sup>2+</sup> removal por Gomez [et al]. Inf. Tecnol. [En línea]. Octubre 2019 vol.30. [Fecha de consulta: 8 de junio de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500147>
83. ORDONEZ, C, Sanchez, O. Caracterización química – morfológica del PM<sub>2,5</sub> en lima metropolitana mediante microscopia electrónica de barrido [en línea]. Acta nova 2018. Vol 8 [Fecha de consulta: 22 de junio de 2020]. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v8n3/v8n3\\_a08](http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v8n3/v8n3_a08)
84. PHYTOAVAILABILITY of Cd and Pb in crop straw biochar-amended soil is related to the heavy metal content of both biochar and soil por Shen [et al]. Journal of environmental management [En línea]. Marzo 2016, vol.168. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.12.019>

85. PHYTOREMEDIATION of cadmium (Cd) and uranium (U) contaminated soils by Brassica juncea L. enhanced with exogenous application of plant growth regulators por L. chen [et al]. [En línea]. Marzo 2020, vol. 242. [Fecha de consulta: 15 de septiembre del 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125112>
86. PLAN de inversión forestal del Perú [En línea]. 2013, [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. Disponible en: [https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/11/2014/05/FIP-ESPA%C3%91OL\\_final\\_10102013.pdf](https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/11/2014/05/FIP-ESPA%C3%91OL_final_10102013.pdf)
87. PRIETO, M. Efecto del biochar en el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. Tesis doctoral. Córdoba, Universidad de Córdoba. Enero del 2016, 157pp.
88. PRODUCTION of high-performance biochar using a simple and low-cost method: optimization of pyrolysis parameters and evaluation for water treatment por Da Silva [et al]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis [En línea]. Abril 2020. [Fecha de consulta: 5 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2020.104823>
89. PYROLYSIS of sewage sludge by electromagnetic induction: biochar properties and application in adsorption removal of pb (ii), cd (ii) from aqueous solution. waste management por Xue, [et al]. [En línea]. Abril 2019, vol.89. [Fecha de consulta: 15 de septiembre del 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.047>
90. PUJALS, P., & Enrique, A. Reflexión sobre el rigor científico en la investigación cualitativa. 2012
91. QUALITATIVE content analysis in art psychotherapy research: Concepts, procedures, and measures to reveal the latent meaning in pictures and the words attached to the pictures por Thyme [et al]. The arts in psychotherapy [En línea]. 2013, vol 40. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2020]. Disponible en:
92. RAMON DE LOS SANTOS, C. et al. Adsorción de cobre (II) y cadmio (II) en suspensiones acuosas de CaCO<sub>3</sub> [En línea]. Febrero 2019, vol 58. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jbsecv.2018.05.003>

93. REMOVAL behavior and mechanisms of Cd (II) by a novel Mns loaded functional biochar: Influence od oxygenation por Fan [et al]. Journal of cleaner production [En línea]. Mayo 2020, vol. 256. [Fecha de consulta: 22 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120672>
94. REMEDIATION of cadmium-contaminated soil with biochar simultaneously improves biochar's recalcitrance por Qiu [et al]. Environmental pollution [En línea]. 2019, vol. [Fecha de consulta: 15 de septiembre del 2019]. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113436>
95. REMOVAL of Cd and Pb with biochar made from dairy manure at low temperature. journal of integrative agriculture por Chen [Et al]. Journal of Integrative Agriculture [En línea]. Enero 2019. Vol 18 [Fecha de consulta: 15 de septiembre del 2019]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61987-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61987-2)
96. REMOVAL mechanisms of aqueous cr (vi) using apple wood biochar: a spectroscopic study. journal of hazardous materials por Na Liu [et al]. Jornal [En línea], septiembre 2020. [Fecha de consulta: 15 de septiembre del 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121371>
97. REMOVAL of Pb<sub>2</sub>p using a biocharealginate capsule in aqueous solution and capsule regeneration por Huong [et al]. [En línea]. Diciembre 2013, vol. 131. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.09.045>
98. Resource utilization of swine sludge to prepare modified biochar adsorbent for the efficient removal of Pb (II) from water por LIU [et al]. [En línea].2020 [Fecha de consulta: 26 de junio del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120322>
99. REVIEW on sustainable production of biochar through hydrothermal liquefaction: Physico-chemical properties and applications por kumar ponnusamy [et al]. Bioresource Technology [En línea]. 2020 [Fecha de consulta: 5 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biotech.2020.123414>
100. ROMERO, L, Cruz, M, Sierra, F,. Efecto de la temperatura potencial de aprovechamiento energético de los productos de la pirolisis del cuesco de palma [En línea]. Revista tecnura 2016, vol. 20. [Fecha de consulta: 22 de junio del 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v20n48/v20n48a07>

101. SALGADO, A., Investigación cualitativa: Diseños, evaluación del rigor metodológicos y retos. Liber [En línea]. 2007, vol13, n.13. [Fecha de consulta: 1 de junio de 2020]. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1729-48272007000100009&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1729-48272007000100009&script=sci_arttext&tlng=en) ISSN: 1729-4827
102. SANGANI, M., Abrishamkesh, S, y Owens G. Physicochemical characteristics of biochars can be beneficially manipulated using post- pyrolyzed particle size modification. [En línea] Bioresource Technology 2020, vol 306. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123157>
103. SD-SEM: sparse-dense correspondence for 3D reconstruction of microscopic samples por Ahmadreza Baghaiea [et al]. Microm [En línea]. Junio 2017, vol.97 [Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.microm.2017.03.009>
104. SHAW A, y Mantsch H. Near- IR Spectrometers. Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry [En línea]. 2017. [Fecha de consulta: 15 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-012-803224-4.00220-X>
105. SIMONIN, J. On the comparison of pseudo-first order and pseudo-second order rate laws in the modeling of adsorption kinetics. chemical engineering journal [En línea]. 2016, [Fecha de consulta: 15 de septiembre del 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.04.079>
106. SINGLE and competitive adsorption affinity of heavy metals toward peanut Shell-derivad biochar and its mechanisms in aqueous systems por Shan [et al]. Chinese journal of chemical engineering [En línea]. Enero 2020, [Fecha de consulta: 28 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2020.02.012>
107. SOLER, P & Enrique, A. Reflexión sobre el rigor científico en la investigación cualitativa [En línea]. Noviembre 2012. Vol.18. [Fecha de consulta: 3 de junio de 2020]. Disponible en: [https://doi.org/10.5209/rev\\_ESMP.2012.v18.40966](https://doi.org/10.5209/rev_ESMP.2012.v18.40966)
108. SORPTION and of Pb (II) to biochar as affected by oxidation an pH por Wang [et al]. Science of the total environment [En línea]. Septiembre 2018, vol 634. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org./10.1016/j.scitotenv.2018.03.189>

109. SUSTAINABLE Biocomposites from Nylon 6 and polypropylene Blends and Biocarbon Studies on Tailored Morphologies and Complex Composite Structures por Codou, A. [et al]. [En línea]. 2019, [Fecha de consulta: 15 de noviembre del 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2019.105680>
110. Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética por Gonzales [et al]. Ediciones Paraninfo [En línea]. 2015, [Fecha de consulta: 28 de junio del 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=k9ISCgAAQBAJ&pg=PA172&dq=pirólisis+r%C3%A1pidas&hl=es419&sa=X&ved=2ahUKEwjb94HkrqXqAhXrhOAKHaQFAoQ6wEwAHoECAYQAQ#v=onepage&q=pirólisis%20r%C3%A1pidas&f=false>
111. TECHNO-ECONOMIC analysis of producing solid biofuels and biochar from forest residues using portable systems por Shao [et al]. Applied Energy [En línea]. Febrero 2019, vol. 235. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.076>
112. THE effect of biochar and crop straws on heavy metal bioavailability and plant accumulation in a Cd and Pb polluted soil por Xu [et al]. Ecotoxicology and Environmental safety [En línea]. octubre 2016, vol. 132. [Fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.05.031>
113. 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>
114. THERMODYNAMIC assessment of the swing adsorption reactor cluster (SARC) concept for post- combustion CO<sub>2</sub> capture por Zaabout [et al]. International Journal of Greenhouse Gas Control [En línea]. Mayo 2017, Vol 60. [Fecha de consulta: 8 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2017.03.001>
115. THERMODYNAMICS and kinetics of hydrogen/ deuterium absorption-desorption in Pd<sub>0.77</sub> Ag<sub>0.23</sub> alloy por Anand [et al]. International journal of hydrogen energy [En línea]. Enero 2015, vol.40. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.10.108>

116. TEFERA Wolde, Seifu Weldemariam, Tian Shengke. Maize Cultivars Relieve Health Risks of Cd-Polluted Soils In vitro Cd bioaccessibility and bioavailability [En línea]. 2019, [Fecha de consulta:15 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134852>
117. TEJADA, Candelaria, VILLABONA, Ángel y Garces, Luz. Adsorción de metales pesados en agas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 34(18): 109-123, enero-junio 2015. ISSN: 0123-7799
118. THEORETICAL framework to evaluate minimum desorption temperature for iupac classified adsorption International journal of heat and mass transfer [En línea]. 2018, vol 122. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.01.107>
119. The effect of several activated biochars on Cd immobilization and microbial community composition during in-situ remediation of heavy metal contaminated sediment. Por Liu [et al]. [En línea]. vol. 208. [Fecha de consulta: 26 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.023>
120. THOMAS, W y Crittenden, B. Fundamentals of adsorption equilibria [En línea]. *Adsorption technology & design* 1998. [Fecha de consulta: 11 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-075061959-2/50004-5>
121. ULTRAFast sequestration of cadmium and lead from wáter by manganese oxide supported on a macro-mesoporous biochar por Wan [et al]. *Chemical engineering journal* [En línea] mayo 2020, vol.387. [Fecha de consulta: 18 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124095>
122. USE in industrial products [En línea]. *Handbook of antiblocking, release, and slip additives* 2014. [Fecha de consulta: 18 abril de 2020]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/B978-1-895198-83-6.50014-3>
123. VALDES, H, y Zaror C,. Influencia de la composición química superficial del carbón activado en la adsorción de benzotiazoles. [En línea] *Revista chilena de ingeniería* 2010. Vol 18 N°1. [Fecha de consulta: 18 de junio de 2020]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v18n1/art05>
124. VARIACIONES del factor de crecimiento hepatocitario y carga viral del VHC con hemodiálisis. comparación con terapia con el sistema de recirculación de

adsorbentes moleculares (MARS) por Cuadrado [En línea]. Diálisis y trasplante, abril 2006 vol 27 n° 2. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1886-2845\(06\)71011-6](https://doi.org/10.1016/S1886-2845(06)71011-6)

125. VHAHANGWELE, M., KHATHUTSHELO L. Environmental Contamination by Heavy Metals, 2018 [En línea]. 2019, [Fecha de consulta: 19 de abril del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.5772/intechopen.76082>
126. WALTON H., y Reyes J. Análisis químico e instrumental moderno. Reverté 1983 [En línea]. [Fecha de consulta: 10 de junio de 2020].
127. WANG Jianlong, Xuan guo. Adsorption kinetic models: Physical meanings, applications, and solving methods [En línea]. Mayo 2020, vol. 390. [Fecha de consulta: 19 de abril de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.02.063>
128. WATER contamination from oil extraction activities in northern Peruvian Amazonian rivers por Garcia r. et al. [En línea]. 2017, vol. 225. [Fecha de consulta: 19 de abril del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.02.063>
129. YAKOUT S., Borai E. Adsorption behavior of cadmium onto natural chabazite: bath and column investigations [En línea]. 2013, [Fecha de consulta: 15 de septiembre del 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.803938>
130. ZETA potential in intact carbonates at reservoir conditions and its impact on oil recovery during controlled salinity waterflooding por Collini [et al]. Fuel [En línea] 2020, vol. 266. [Fecha de consulta: 11 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116927>

## ANEXO 1:

Título:					
<b>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>					
Palabras clave:					
Bibliografía: Park et al., 2019					
Año de publicación	Lugar de publicación	Doi	Página	ISBN	Tipo de documento
Parámetros de elaboración					
T° pirólisis	Tiempo de pirólisis	Tipo de precursor			
Parámetro de adsorción					
Metodologías	Tiempo de adsorción	Dosis inicial - final	Remoción de Cd y Pb		
Objetivos:					
Resultados:					

Anexo 1: Técnicas e instrumentos de recolección de datos  
Fuente: Elaboración propia