



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión Bibliográfica de la Cinética y Termodinámica del
Biocarbón de Residuos Forestales en la Adsorción de Cadmio**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Aguilar Idme, Miguel Angel (ORCID: 0000-0003-3664-5102)
Castillo Llacma, Jesus Gerardo (ORCID: 0000-0003-4568-1789)

ASESOR:

Dr. Túllume Chavesta, Milton César (ORCID: 0000-0002-0432-2459)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Calidad y gestión de los Recursos Naturales

LIMA - PERÚ

2021

Dedicatoria

A Dios todo poderoso:

Por ser parte importante en mí ser, que me ha permitido culminar mi trabajo de tesis y muchas otras metas y dificultades que se me han presentado en mi vida, a través de su fortaleza y protección espiritual brindados en todo momento. A mis padres por su esfuerzo, por haberme guiado en la vida les admiro por su gran sacrificio para que yo salga adelante, los quiero mucho.

Jesus Castillo

A mis queridas hermanas: Por toda la amistad y apoyo incondicional, brindados de muchas maneras a lo largo de toda mi vida. Por darme su apoyo, por su motivación para salir adelante los quiero muchísimo.

Miguel Aguilar

Agradecimiento

A dios por darnos la oportunidad de llegar a finalizar satisfactoriamente este trabajo de investigación.

Jesus Castillo

A la Universidad César Vallejo por permitir y acogernos en esta institución.

Como homenaje de amistad a nuestro asesor Dr. TÚLLUME CHAVESTA MILTON CÉSAR por la orientación, disposición y revisión de este trabajo, y así colaborar con la sociedad y el medio ambiente en el que nos desenvolvemos.

Miguel Aguilar

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	16
3.1. Tipo y diseño de investigación	16
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización	16
Tabla N°1 Matriz de categorización apriorística	16
3.3. Escenario de estudio.....	17
3.4. Participantes	18
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	18
3.6. Procedimiento	19
Tabla N°2 Criterio de búsqueda para la elaboración de la tesis.	20
3.7. Rigor científico	21
3.8. Método de análisis de datos.....	21
3.9. Aspectos éticos	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
Tabla N°3: Clasificación de la cinética y termodinámica en la adsorción de Cd.....	24
V. CONCLUSIONES.....	29
VI. RECOMENDACIONES	30
BIBLIOGRAFÍA.....	31
ANEXOS.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Matriz de categorización apriorística	16
Tabla N°2: Criterio de búsqueda para la.....	20
Tabla N°3: Clasificación de la cinética y termodinámica en la adsorción de Cd.	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Adsorción de Cd mediante biochar	5
Figura N° 2: Adsorción.....	9
Imagen N° 3: Adsorción Física.....	13
Imagen N° 4: Adsorción Química	13

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

MP: materia prima.....	1
Cd: cadmio.....	1
CPS: pirolisis convencional.....	7
FTIR: Espectroscopía.....	15
BET: Brunauer-Emmett-Teller	17

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo analizar el efecto de la evaluación de cinética y termodinámica en la adsorción de cadmio en biocarbón de residuos forestales a través de la influencia de las isothermas y cinética en la adsorción del metal Cd aplicando residuos forestales.

Para ello se utilizó una recopilación de información buscando en bases de datos como Science Direct, Springer Link, Dialnet Web of Science, ProQuest, Research Gate, Redalyc, Scielo, Google Scholar, utilizando palabras claves teniendo como referencia el criterio de selección de la información.

En la influencia de la termodinámica en la adsorción de cadmio en biocarbón de residuo forestal se obtuvo que las isothermas de freundlich y Langmuir influyen de manera significativa en la composición fisicoquímica que sufre el biochar en cuanto pasa por el proceso de pirolisis.

Asimismo, en el análisis de la cinética que se aplica en la adsorción de cadmio en biocarbón de residuos forestales, se obtuvo que el pseudo primer orden y pseudo segundo orden son los modelos cinéticos más empleados en la determinación de metales pesados, contaminantes y es la cinética que se aplica en la adsorción de cadmio en biocarbón de residuos forestales.

Por último, se determinó, que el método de caracterización de las propiedades fisicoquímicas en la preparación de biochar más utilizado de acuerdo a la investigación a nivel nacional e internacional es el FTIR.

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

ABSTRACT

The present research aims to analyze the effect of kinetic and thermodynamic evaluation in the adsorption of cadmium in biochar from forest residues through the influence of isotherms and kinetics in the adsorption of Cd metal applying forest residues.

For this purpose, we used a collection of information searching in databases such as

Science Direct, Springer Link, Dialnet Web of Science, ProQuest, Research Gate, Redalyc, Scielo, Google Scholar, using keywords having as reference the selection criteria of the information.

In the influence of thermodynamics on the adsorption of cadmium in forest residue biochar, it was obtained that the Freundlich and Langmuir isotherms significantly influence the physicochemical composition that biochar undergoes as soon as it passes through the pyrolysis process.

Likewise, in the analysis of the kinetics applied in the adsorption of cadmium in biochar from forest residues, it was obtained that the pseudo first order and pseudo second order are the kinetic models most used in the determination of heavy metals, pollutants and it is the kinetics applied in the adsorption of cadmium in biochar from forest residues.

Finally, it was determined that the most widely used method for characterizing the physicochemical properties in the preparation of biochar according to research at the national and international levels is the FTIR.

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

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación de aguas es uno de los aspectos más relevantes en el mundo, en este contexto, al ser examinado cuerpos de agua superficiales en diferentes lugares del mundo se obtiene que las toxicidades en las aguas nos demuestran la alta contaminación por metales pesados y el nivel de Cd viene siendo uno de los metales con el promedio más encontrado en las aguas y que excede los LMP propuestos por la organización mundial de la Salud y la USEPA (Kumar et al., 2019, p.1).

La contaminación ambiental por el cadmio se debe a diversas actividades humanas, una de ellas es la minera debido a sus relaves o efluentes no tratados, por un lado las lluvias pueden lixiviar los relaves y esa escorrentía se transporta ambientalmente, alcanzando nuevos cuerpos de aguas, contaminándolos o en su defecto los efluentes no tratados son eliminados directamente hacia aguas superficiales cargándolas de MP; a partir de este transporte el metal puede albergarse en los suelos y como consecuencia de un proceso biológico puede bioacumularse en plantas o cultivos, ser biomagnificado en las especies hasta llegar al ser humano (Zun et al., 2018, p.1).

En el Perú las mineras contaminan las aguas debido a los relaves de los procesos de flotación en la extracción metalúrgica de minerales, e incrementan el grado de contaminación en ríos, lagos, lagunas y mar. La contaminación de aguas se ve reflejada en la alteración de la composición físico-química por metales pesados como Cd; esto conlleva a un grado alarmante de toxicidad para el hombre, así como la flora y fauna del Perú.

En las plantas de las aguas superficiales contaminadas por Cd se tiene como característica que son altamente tóxicos y su adsorción genera fitotoxicidad afectando su crecimiento, debido a su elevada densidad y que no son biodegradables ni termo degradables (Chen et al., 2019, p.2) El cadmio (cd) y otros metales pesados son absorbidas por las plantas almacenándose en sus tejidos y reduciendo su productividad; siendo introducidas en la cadena alimenticia humana

a través del consumo, así como el de los animales, afectando negativamente en los seres humanos la salud y en animales hasta producir la muerte por toxicidad (Teferaa et al. 2009, p.1).

De acuerdo con Huang et al., (2019, p.3) al estar expuestos por periodos largos con presencia de Cd en el organismo se presentan tipos de síntomas y alteraciones; si la exposición es crónica se presenta anemia, disfunción renal, osteoporosis, hipertensión, trastornos nerviosos y cáncer entre otras enfermedades y puede llegar acumularse hasta 30 años

Para solucionar este problema de contaminación se cuentan con diversas alternativas tecnológicas unas más agresivas que otras, el mundo actual ha reconocido la necesidad de buscar alternativas eco-amigables, alternativas consideradas para reducir las emisiones de carbono existe en el mundo (Ari K. y Tarigan, 2019, p.2).

Siendo así, el uso del biocarbón, quien apareció recientemente, aunque este material no se encuentra activado artificialmente, sin embargo, la presencia de grupos funcionales permite la quitación o adsorción de los metales, uno de ellos el Cd (Codou et al., 2019, p.3). 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 los tantos existentes el que resulta más atractivo viene a ser los provenientes de las industrias forestales (Janus et al., 2015, p.5).

Asimismo, en el sector forestal las industrias han introducido maquinarias que realizan una mayor eficacia en los procesos de sus productos, generando un mayor rendimiento de la madera, trayendo como consecuencia un crecimiento en la tasa de generación de residuos forestales y siendo estos muy parecidos a los productos que les han dado origen, teniendo un alto potencial de aprovechamiento (Nambiar, 2019, p.2).

Por ello la presente investigación tiene como **Objetivo General:** Analizar el efecto de la cinética y termodinámica en la adsorción de cadmio en biocarbón de residuos forestales y como **objetivos específicos:** Analizar la influencia de la termodinámica del biocarbón de residuos forestales en la adsorción de cadmio, Analizar la influencia de la cinética del biocarbón de residuos forestales en la adsorción de cadmio e Identificar los métodos de caracterización de las propiedades fisicoquímicas en la preparación de biochar que influye en la adsorción de cadmio.

De igual manera se presenta como **Problema General:** ¿Cuál es el efecto de la cinética y termodinámica en la adsorción de cadmio en biocarbón de residuos forestales? Y como **Problemas específicos:** ¿Cuál es la influencia de la termodinámica del biocarbón de residuos forestales en la adsorción de cadmio?, ¿Cuál es la influencia de la cinética del biocarbón de residuos forestales en la adsorción de cadmio?, ¿Cuáles son los métodos de caracterización de las propiedades fisicoquímicas en la preparación de biochar que influyen en la adsorción de cadmio?

Esta investigación se justifica debido a que no existe investigaciones en español de revisiones bibliográficas sobre la cinética y termodinámica del biocarbón de residuos forestales en la adsorción de cadmio, por ello, se genera una recopilación de diferentes investigadores a nivel mundial sobre el biocarbón de residuos forestales aplicado a la adsorción del metal Cd; para así dar a conocer la importancia del uso y características del biocarbón utilizando diferentes residuos forestales; buscando de esta manera 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

En los últimos decenios, los desechos que contienen cadmio de metales pesados han sido directa o indirectamente descargado en el medio ambiente con el rápido desarrollo de la metalurgia, baterías, minería, electrólisis, electricidad industrias de fabricación de electrodomésticos. El cadmio de acuerdo con Chen et al., (2018, p.1001) es un elemento humano no esencial con alta actividad química, toxicidad y no degradable, y fácil de introducir en la planta y en el cuerpo humano, desencadenando una variedad de enfermedades. Es un metal pesado sin funciones biológicas esenciales que entre todos los metales pesados tóxicos es el más móvil y biodisponible; causa gran preocupación en el medio ambiente debido a su toxicidad tanto para los animales como para los seres humanos; debido a la acumulación en plantas que no son tóxicas para ellas, pero si para los animales y las personas que los consumen (Huaraca et al., 2020, p.2).

La contaminación antropogénica por Cd en cultivos es una de las principales causas de la exposición humana mundial al Cd a través de la contaminación de la cadena alimentaria (Zhang et al., 2018, p.1), y es un problema particular en Asia y otros países del mundo (Hu y otros, 2016, p.2). Los riesgos para la salud humana de consumir un exceso de Cd en cultivos como el arroz generan daños salud; riñones, esqueleto y cáncer a través de la inhalación a largo plazo, incluso a niveles bajos. El máximo nivel de Cd permitido en el arroz pulido es de 0,4 mg kg⁻¹ (Jarup y Akesson, 2009, p.1).

A causa de la contaminación del Cd, Londoño et al (2016, p.5) en su estudio de la interacción del suelo con el biochar nos indica que se utilizaron ensayos de macetas con Brassica chinoses para evaluar el efecto del biochar en el crecimiento de las plantas, obteniendo que los minerales del suelo facilitan la captación del Cd en el biochar mejorando la recalcitración de esta enmienda en el suelo, confirmando que para la remediación del suelo por contaminación de Cd se debe dar la interacción biochar-suelo.

Por lo cual, el biochar o biocarbón es utilizado para mejorar las propiedades del suelo de los cultivos; debido a sus propiedades de porosidad, adsorción, grupos funcionales y capacidad de amortiguar el PH (Qui Zhen et al., 2019, p.1).

Así mismo, de acuerdo con Kum-In et al., 2020. Demuestra que mediante la aplicación del biochar se logra disminuir la acumulación de Cd mejorando las propiedades de suelos de arrozales cultivos como se muestra en la Figura N°1.

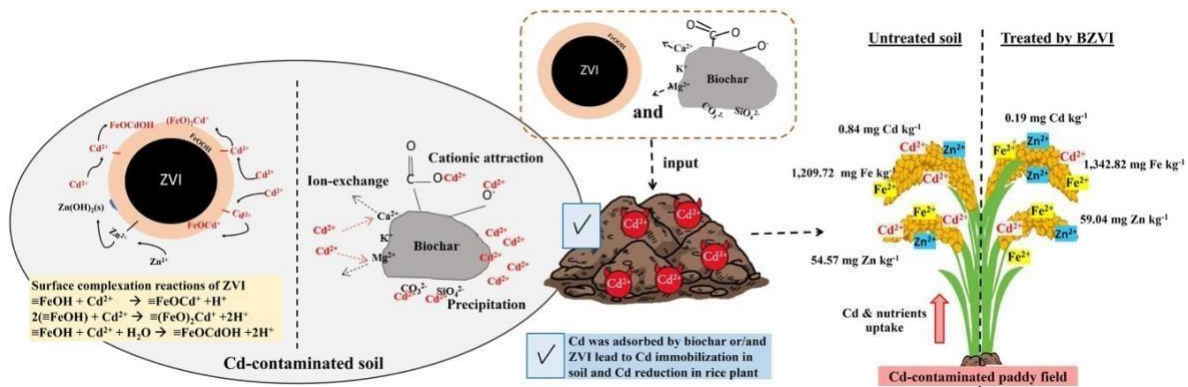


Figura N°1: Adsorción de Cd mediante biochar Fuente: Kum-In et al., 2020.

De acuerdo con Chen et al. (2019, p.1) Es importante el análisis de la evaluación de la velocidad y la temperatura de la absorción del Cd debido a que los metales pesados son muy difíciles de extraer del suelo y no son biodegradables; quedándose por mucho tiempo, contaminando y dañando la vegetación y la fertilidad de los bosques; es por ello, que se busca con la aplicación de biochar la estabilización de los metales pesados y de esta manera mejorar, los cultivos, la reducción de CO₂ y la utilización de residuos forestales

Los componentes minerales como los fosfatos y el carbono en el biochar juegan un papel importante para la estabilización de metales en los suelos.

La fabricación de biochar; en un estudio nos indicó que las diferentes temperaturas de pirolisis presentan efectos en las propiedades fisicoquímicas del biochar; indicando que cuando se realiza a la pirolisis con temperaturas de 300, 400, 500 y

600 C° con un tiempo de 1 hora respectivamente disminuye su rendimiento, pero la temperatura más alta logra ser beneficiosa en la formación de estructuras cristalinas recalcitrante (Zhang et al., 2019, p.5).

Sin embargo, el biochar a temperatura de 350-500°C produce energía y un carbón vegetal rico en carbono, el que se devuelve al suelo como una forma estable de carbono así también los resultados de las investigaciones indican que el biocarbón tiene posibilidades de secuestrar cantidades considerables, al tiempo que ofrece beneficios en cuanto a la fertilidad del suelo y a la retención de nutrientes (Duku, 2011, p.3).

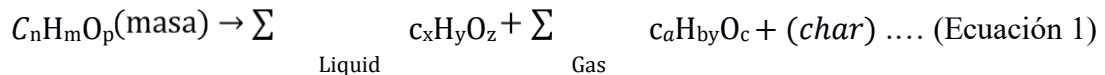
De acuerdo con Ralph et al., (2019, p.1) En la producción de biochar el aumento de la porosidad se da mientras aumenta la temperatura de pirólisis; donde, de 0.001m³/g (crudo) aumentó a 0.144m³/g (biochar) con una temperatura de 700C° y a 0.188m³/g con 900C°; en la pirolisis del biochar el tamaño de porosidad aumenta de 21.948Å con 400C° a 34.626 Å con 1000C°.

En un estudio realizado por Amen et al., (2020, p. 2) el biocarbón derivado de la cáscara de arroz, la paja de trigo y la mazorca de maíz se utilizó para la eliminación por adsorción de MP, incluido el cadmio (Cd +2). Donde el biocarbón sintetizado se caracterizó por un enfoque estructural y analítico diferente. La caracterización del biocarbón reveló la existencia de grupos funcionales de superficie redox combinados, es decir, reductores y oxidativos junto con algunos grupos funcionales inertes que juegan un papel importante en la donación o aceptación de un electrón para degradar los contaminantes en las aguas residuales. El biocarbón ha sido altamente estable en condiciones térmicas severas al soportar un peso significativo a una temperatura de 700 ° C y también ser higroscópico. El biochar de cáscara de arroz, la paja de trigo y la mazorca de maíz demostraron que para cadmio (Cd+2), se encontró que la capacidad de absorción era del 94,73%, 93,68% y 95,78%. Siendo el biocarbón reportado como una alternativa más limpia, ecológica, económica y sostenible a los materiales adsorbentes convencionales.

Por otro lado, de acuerdo a un estudio durante la pirólisis los grupos funcionales van a influenciar en los compuestos orgánicos (Zhang et al., 2019, p.3).

El proceso de pirólisis está representado por:

a) Pirólisis



De acuerdo con Satyansh et al., (2020, p. 6) La biomasa se somete a un proceso termoquímico, donde se pasa por un proceso de calentamiento y enfriamiento rápidamente; por ello es importante que se congele la biomasa de pirólisis para poder obtener una mayor degradación. Existiendo cuatro tipos:

Pirólisis Lenta: Este tipo de pirólisis es un proceso que se pueden utilizar para mejorar las propiedades combustibles de la biomasa de baja calidad. Genera la carbonización; y es un proceso lento que se da a una temperatura de -400°C , siendo su principal objetivo la producción de carbón vegetal o carbón (Krystian et al., 2020, p. 350).

Pirólisis convencional (CPS): Es la más utilizada para producir biocarbón, de acuerdo a sus condiciones produce 3 tipos de pirólisis (gas, líquido y carbón), y se da a una temperatura de -600°C (Haeldermans, 2020, p.1).

Pirólisis rápida: Este tipo de pirólisis puede no proporcionar suficiente tiempo para que los compuestos volátiles, algunos fitotóxicos, escapen de las partículas de biocarbón, ya que este proceso se da a temperaturas máximas; con una velocidad de $1000-10,000^{\circ}\text{C}/\text{s}$ por ende el tiempo será menor (Gezahegn et al., 2020, p. 3).

Pirólisis ultra rápida: Este tipo de proceso utiliza una velocidad de calentamiento extremadamente rápida; donde la temperatura de pirólisis es de 1000°C para gas y 650°C para líquido.

El biocarbón es un producto obtenido de la incineración de materia orgánica en ausencia de oxígeno a temperaturas elevadas; y propiedades de estabilización y

adsorción de metales pesados en el suelo o agua; también conocidos como productos pirolizados o biochar (Muvhiiwa et al. 2019, p.1).

Según Rebolledo et al., (2016, p.5) el biocarbón (biochar), es un subproducto de la pirólisis de biomasa residual con experiencias positivas derivadas de la aplicación de biocarbón al suelo, que generan una mejoría en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, lo que se traduce en un aumento de la productividad de los cultivos. El biocarbón, por ser una forma recalcitrante de carbono, actúa como reservorio de larga duración de este elemento, retardando su retorno a la atmósfera como CO₂, situación que contribuye a mitigar el cambio climático.

Un beneficio adicional es que la materia prima para su producción proviene de residuos orgánicos, que a menudo causan problemas de contaminación ambiental, por ello, con el fin de reducir el daño del cadmio al medio ambiente y el ser humano, se han utilizado muchas técnicas para la eliminación del cadmio entre ellas la adsorción, la separación por membranas, el intercambio de iones, la precipitación química, la penetración y la restauración de animales y plantas (Muazu et al., 2019, p.2).

Entre las técnicas mencionadas, la adsorción ha sido objeto de gran interés debido a su sencillez de funcionamiento, su alta eficiencia en la eliminación de metales, y su bajo costo, señalando que su aplicación práctica depende en gran medida de la eficiencia de adsorción del adsorbente, que necesita ser barato, tener una fuerte afinidad con el sorbato y un gran número de sitios de adsorción activos (Chen et al., 2018, p. 2).

Adsorción es un fenómeno superficial ya que implica un proceso en el cual los átomos o moléculas que están en una fase determinada son retenidas en la superficie de otra sustancia; generando una capa de líquido o gas en la superficie de la sustancia que retiene y sirven para purificar y separar sustancias y la sustancia que se adhiere en la superficie se llama adsorbato y la superficie donde sucede la adsorción es el adsorbente (Shen et al. 2019, p.2).

En el biocarbón la adsorción juega un papel importante ya sea un mecanismo de acumulación de metales que nos permite adsorber e inmovilizar el Cd, ayudándonos a determinar cuáles son los metales que pueden mejorar el rendimiento de los cultivos (zhang et al. 2019, p.418) Depende tanto del adsorbato como del adsorbente.

En la imagen N°1 se muestra el mecanismo de adsorción utilizando biochar en una solución acuosa

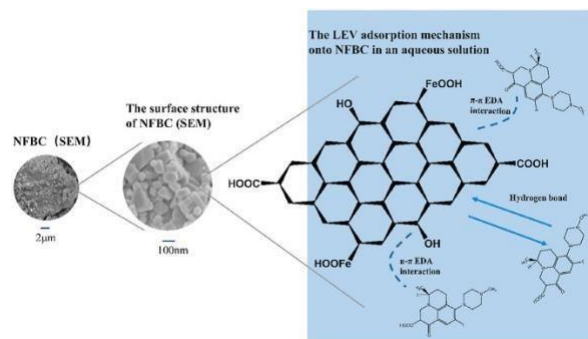


Figura 2: Adsorción
Fuente: Xu et al., 2020

El proceso de Adsorción contiene dos aspectos; Cinética y termodinámica:

La cinética se relaciona con la obtención de transporte de las zonas interarticulares ya que funciona con un tiempo de procesos de adsorción fijo. La cinética de adsorción de Cu (II) por TSCS se estudió en la concentración inicial 40.0 mg L⁻¹ de iones Cu (II), con tiempo de contacto 20 min y a una temperatura de 25 ° C. Los datos experimentales fueron explicados en varios modelos de adsorción como Pseudo primer orden, pseudo segundo orden en las ecuaciones. (2) y (3), respectivamente) y más tarde el modelo de difusión intra partícula que se utilizó para verificar la cinética mecanismo que controla el proceso de adsorción. El modelo de pseudo primer orden (Ahmad y Manzoor, 2016, p.1).

Los modelos para la cinética más comunes son usados para explicar la adsorción de metales y material biología con el modelo de pseudo de primer orden y pseudo de segundo orden. (Calero et al.2009).

Pseudo Primer orden:

La ecuación para la cinética de pseudo primer orden fue inicialmente dado por Lagergren (Simonin, 2016, p.3); y la expresión del modelo es:

b) Pseudo primer orden expresión Lagergren:

$$\frac{dq}{dt} = k_1(q_e - q_t) \dots\dots\dots \text{(Ecuación 2)}$$

c) Pseudo primer orden Linealizada

$$\ln[q_e - q(t)] = \log_e -k_1t \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3)}$$

q: Cantidad de soluto absorbido q_e: Valor en equilibrio k₁: Constante de tasa de pseudo primer orden t: Tiempo

Pseudo Segundo Orden:

Posteriormente la cinética de reacción de pseudo segundo orden brinda la mejor correlación de los datos experimentales. (Simonin, 2016, p.3); y la más utilizada es propuesta por Ho y MCKay (Simonin, 2016).

La expresión de reacción es:

Pseudo segundo orden Ho

$$\frac{d}{dt} q_t = k_2(q_e - q_t)^2 \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4)}$$

4)

Para el estudio de la termodinámica se utilizará las isotermas de Langmuir e isoterma de Frenundlich; serán determinadas usando resultados obtenidos por la capacidad de adsorción en función a las concentraciones en equilibrio a cadmio (Crittender et al.2012, p.1).

Isoterma de Langmuir

$$\frac{C}{a} = \frac{ce}{am} + \frac{1}{am.b} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 5)}$$

Donde: a: Cantidad de AMIT (NORT) adsorbida (mmol g⁻¹) ce:

Concentración de equilibrio de AMIT (NORT) en solución (mmol l⁻¹) b:
 Constante de unión de monocapa (l mmol⁻¹) am: Capacidad de adsorción
 de la monocapa (mmol g⁻¹)

Isoterma Langmuir

$$R L = \frac{1}{1 + K a d s C} \quad \dots\dots\dots \text{(Ecuación 6)}$$

Si RL >1, el proceso de biosorción es desfavorable; si 0 < RL < 1, el proceso es favorable; si

RL = 0 el proceso es clasificado irreversible; y RL = 1 representa linealidad.

La Isoterma de Frenundlich, explica una adsorción lineal y se expresa mediante la siguiente ecuación (Marzalek R., Svidrnoch M., 2020, p.2).

$$A = K \cdot c_e^{(1/n)} \quad \dots\dots\dots \text{(Ecuación 7) y forma}$$

lineal Isoterma Freundlich:

d) Isoterma de Freundlich

$$\log a = -\frac{1}{n} \log c_e + \log K \quad \dots\dots\dots \text{(Ecuación 8)}$$

Dónde:

- Kf: Constantes de Freundlich (lg -1)
- N: Constantes de Freundlich

Para un adsorbato dado y un adsorbente a una temperatura particular (Marzalek R., Svidrnoch M., 2020, p.3).

En un estudio realizado por Amin (2019, p.1) nos indica que en la aplicación de biochar de la biomasa de la palma datilera, las isotermas de Freundlich –Langmuir presentaron el mejor ajuste para la adsorción y la pirólisis aumenta la porosidad

conlleando a una mejor adsorción mediante los poros en biochar a través de la volatilización de la materia orgánica.

Isoterma de Adsorción:

El modelo de isoterma de adsorción nos brinda una estimación de la temperatura mínima de desorción con una gran precisión para todos los modelos de isoterma (Muttakin et al., 2018, p.2).

Isoterma de Adsorción

$$q = \frac{V(C_i - C_{eq})}{M} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 9)}$$

q: Capacidad de adsorción de metal (mg/g de biosorvente)

V: Volumen de la solución que contiene un metal

C_i: Concentración inicial de metal (mg de metal/L de solvente)

C_{eq}: Concentración de metal en equilibrio (mg de metal/L de solvente)

M: Masa de biochar

La adsorción se clasifica según sus características, en 2 tipos:

Adsorción Física (Fisisorción): El adsorbato se adhiere en la superficie del adsorbente en virtud de las fuerzas de van der Waals; ΔH ~ 20 KJ/mol reversible □ desorción □ si T ↑ y P ↓, no es de naturaleza de formación de multicapa, adsorbato conserva su identidad. Podemos observar que también se produce fenómeno en la adsorción física como adsorción monomolecular, adsorción multimolecular y condensación en poros o capilares (Sobhy et al. 2014)

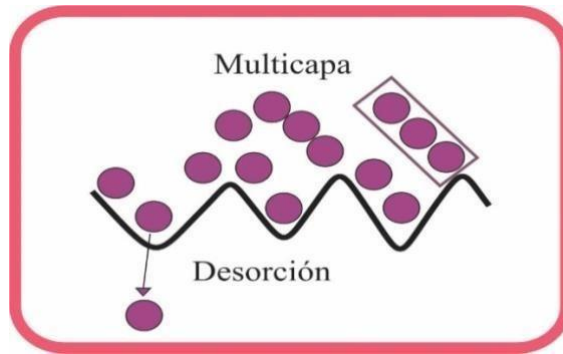


Imagen 3: Adsorción Física
Fuente: Elaboración propia

Adsorción Química (Quimisorción): En la quimisorción encontramos las fuerzas análogas que habiendo unión química y atracción de iones opuestos $H \sim 200$ KJ/mol, irreversible \square no hay desorción \square si $T \uparrow$ y $P \downarrow$ es de naturaleza que forma monocapas, y el adsorbato pierde su originalidad (Tejada et al, 2014, p.1).

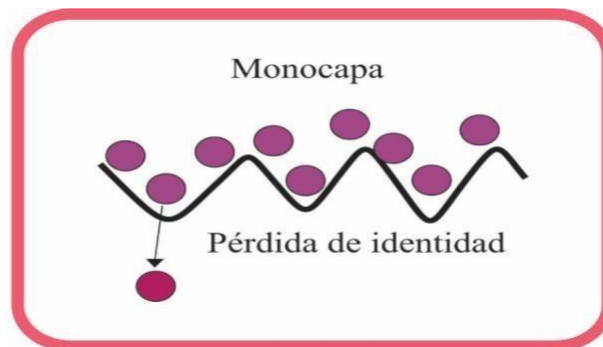


Imagen 4: Adsorción Química
Fuente: Elaboración propia

En una investigación se estudiaron las propiedades del metal Cd, en la adsorción en el biochar de la pirólisis; donde la tasa de rendimiento del biochar varía de 89.7% a 51.2% a una temperatura de 300 a 600 C°. Los elementos cambian con el aumento de la temperatura de pirólisis obteniendo una mayor eficiencia de eliminación de adsorción de Cd por biochar pirolizado; el modelo de Langmuir y pseudo primer orden presentaron un mejor ajuste para el equilibrio de adsorción (Xue et al., 2019, p.1).

Por otro lado, las técnicas que se utilizan para la adsorción del biocarbón pueden ser por oscilación térmica, por generación al vacío y adsorción por oscilación de presión. Por ende, el objetivo de la investigación es evaluar la termodinámica y cinética en la adsorción en el biotratamiento del suelo contaminado con (Cd) utilizando biochar; de esta manera poder disminuir las concentraciones de CO₂ en la selva peruana, ayudar a la recuperación de suelos contaminados por metales pesados y disminución de residuos forestales demostrando la adsorción de biocarbón en residuos forestales.

La aplicación del pirólisis, es una alternativa para el aprovechamiento de la materia, permiten utilizar el kikuyo entre otros como materia prima para transformarlo en productos de alto valor agregado como el biocarbón, el alquitrán y el ácido piroleñoso (Salas et al. 2018, p.1).

El Perú cuenta con extensas áreas cubiertas de bosques naturales con grandes estimaciones de hectáreas; pudiendo decirse que la producción del sector forestal en el Perú es amplia; donde de un total de los residuos forestales que ingresan a los aserraderos solo un 48,5% es aprovechado; si el residuo es proveniente de plantaciones forestales el nivel de aprovechamiento es mayor (Soto et al. 2000, p.2).

Las diferentes formas de evaluar las metodologías de caracterización del biochar son a través de equipos, técnicas e instrumentos de muestreo que serán validados para la obtención de una recolección de datos óptimos y que serán descritas a continuación:

- **Microscópio de Barrido Electrónico**

El microscopio de barrido nos permite realizar pruebas (SEM-SD) el cual obtendremos imágenes del diámetro de la partícula, composición superficial sólido, entre otros también nos permite determinar los tipos de porosidad el cual nos ayuda a un reconocimiento ideal (Baghaie et al., 2017, p.1).

- **Interferómetro de Michelson**

La técnica empleada de interferometría nos permite medir las temperaturas de las superficies; esta nos brinda los 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°= 20°C – 90°C). (Wang et al., 2019) Y fue utilizada para medir las diferentes temperaturas en las que se encontraba el bioreactor.

- **Espectroscopía (FTIR)**

Los análisis FTIR presentan una ventaja respecto a otros y es 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., 2019, p.2)

- **Microscopio de Barrido Electrónico**

El microscopio de barrido nos permite realizar pruebas (SEM-SD) el cual obtendremos imágenes del diámetro de la partícula, composición superficial sólido, entre otros también nos permite determinar los tipos de porosidad el cual nos ayuda a un reconocimiento ideal (Baghaie et al., 2017, p.5).

- **Brunauer-Emmett-Teller (BET)**

Brunauer-Emmett-Teller (BET) desarrolló una isoterma modelo conocida como isoterma de adsorción BET que explica la adsorción multicapa. La resina de proteína A está disponible como partículas mesoporosas (5–100 nm) y el modelo BET puede explicar eficazmente la adsorción en el rango dado. El modelo fue desarrollado para la adsorción de gases y se ha demostrado que se extiende a sistemas complicados (Behere et al., 2020, p. 4).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente trabajo de investigación es cualitativa básica ya que se usa la recolección y el análisis de sus datos para la finalidad de la investigación. También es abierto, flexible durante el trabajo, (Hernández, 2014, p.40).

El diseño de investigación es un diseño cualitativo narrativo de tópicos, estos tipos de diseños buscan describir y analizar las ideas, estos conocimientos se obtienen de la recolección de los datos de las revistas, documentos, artículos que son de interés para el investigador, (Salgado, 2007, p.1).

3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización

En la tabla N°1 se muestra las categorías y sub categorías que se van analizar en la presente investigación; las cuales van a estar clasificadas de acuerdo a los objetivos específicos y problemas específicos; se da a conocer la termodinámica y cinética en la adsorción de cadmio en biocarbón de residuo forestal y los métodos de caracterización de las propiedades fisicoquímicas en la preparación de biochar. que existen y son aplicadas en los diversos trabajos de investigación recolectados para la presente revisión bibliográfica.

Tabla N°1 Matriz de categorización apriorística

Objetivo Específico	Problemas Específicos	Categorías	Sub Categorías	Unidad de análisis
Analizar la influencia de la termodinámica del biocarbón	¿Cuál es la influencia de la termodinámica del biocarbón	Termodinámica	-Temperatura de pirólisis	(Krystian et al., 2020, p. 350). (Haeldermans, 2020, p.1).

de residuos forestales en la adsorción de cadmio.	de residuos forestales en la adsorción de cadmio?		-Tamaño de partícula	(Gezahegn et al., 2020, p. 3). (MUVHIIWA, et al. 2019, p.1). (Duku, 2011, p.3). Ralph et al., (2019, p.1)
Analizar la influencia de la cinética del	¿Cuál es la influencia de la cinética del	Cinética	-Velocidad de adsorción	(Simonin, 2016, p.3); (Crittender et al.2012, p.1). (Marzalek R., Svidrnoch M.,
biocarbón de residuos forestales en la adsorción de cadmio.	biocarbón de residuos forestales en la adsorción de cadmio?		-pH	2020, p.2). (Muttakin et al., 2018, p.2).
Identificar los métodos de caracterización de las propiedades fisicoquímicas en la preparación de biochar que influye en la adsorción de cadmio	¿Cuáles son los métodos de caracterización de las propiedades fisicoquímicas en la preparación de biochar que influyen en la adsorción de cadmio?	Metodologías	Físicas	(Zhang et al., 2019, p.2) (Baghaie et al., 2017, p.5). (Behere et al., 2020, p. 4). (Baghaie et al., 2017, p.1).
			Químicas	

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 se consideró como escenario a todas las investigaciones obtenidas de revistas indexadas que traten como tema principal a las materias primas, las cuales son provenientes del grupo de

residuos forestales, para la elaboración de biochar y obtención de la adsorción del metal Cd.

3.4. Participantes

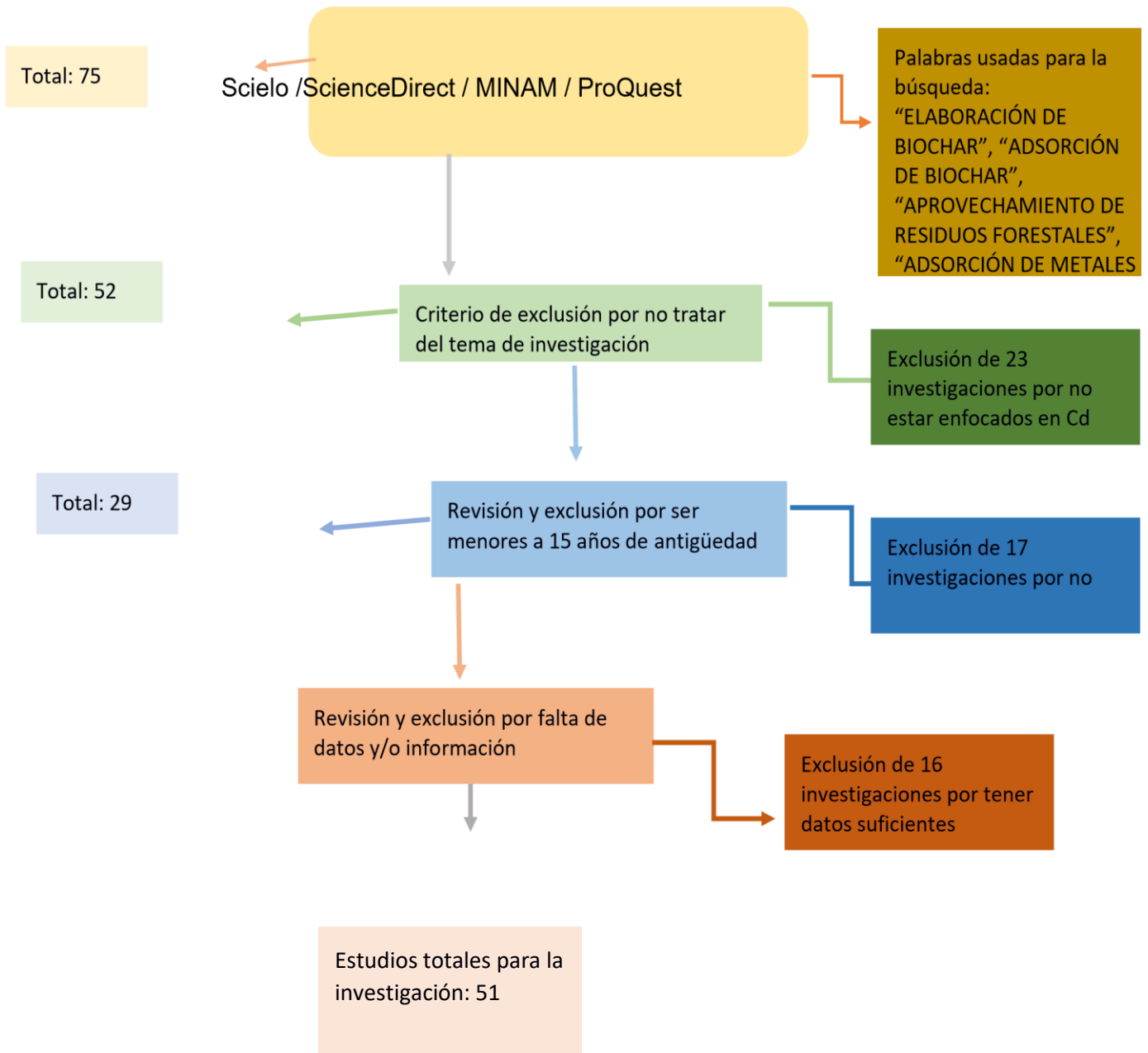
Se consideró como principal herramienta los documentos, informes, libros, artículos e investigaciones que refieran y contribuyan al desarrollo de los objetivos propuestos. Investigaciones obtenidas necesariamente de fuentes como: Science Direct, Springer Link, Dialnet Web of Science, ProQuest, Research Gate, Redalyc, Scielo, Google Scholar.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En el presente estudio, se desarrolló la recolección de datos e información mediante un instrumento principal denominado “ficha de análisis de contenido” (Anexo N°1), de la cual extrajo informaciones más relevantes de las investigaciones a utilizar como: el número de páginas, año y lugar de publicación, tipo de investigación, autor, palabras claves, materia prima, tipo de metodología, problemas, objetivos, alcances, resultados, entre otros; que incluyen en el artículo o fuente elegida para la investigación, dichos datos relevantes en su totalidad permitieron asociar y organizar la data e información requerida.

3.6. Procedimiento

TÍTULO DE LA TESIS



Elaboración propia

Para la búsqueda de información se empleó palabras claves en español, inglés y portugués tales como, “ELABORACIÓN DE BIOCHAR”, “ADSORCIÓN DE BIOCHAR”, “APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS FORESTALES”, “ADSORCIÓN DE METALES PESADOS”, “BIOCHAR”, “ADSORTION”.

Las investigaciones fueron extraídas de: artículos científicos, libros, capítulos de libros, revistas indexadas, documentos técnicos, manuales y páginas web institucionales.

Todos los documentos utilizados fueron extraídos de base de datos tales como: Scielo, Science Direct, EBSCO, ProQuest, Redalyc; Fao, MINAN. Considerando como antigüedad no mayor a los últimos 15 años. Se empleó fichas de análisis de contenido que facilitó la obtención de datos relevantes para la elaboración del trabajo, Se empleó criterios de inclusión y exclusión para la selección de investigaciones a utilizar.

En la tabla 2 se presenta el resumen de criterios de búsqueda.

Tabla N°2 Criterio de búsqueda para la elaboración de la tesis.

Tipo de documento	Cantidad	Criterio de inclusión	Criterio de Exclusión	Palabras Clave
Artículos científicos	9	-Menores a 15 años de antigüedad - Ser enfocado en adsorción de Cd. Contar con DOI	-Mayor a 15 años de antigüedad Resultados incompletos -Falta de información -No contar con DOI	Elaboración de biochar”, “Adsorción de biochar”,
Tesis	2	-Ser enfocado en adsorción de Cd. Resultados: Metodología de trabajo. -Información clara y coherente. -Contar con DOI.	-Mayor a 15 años de antigüedad Resultados incompletos -Falta de información -No contar con DOI No pertenecer a una revista indexada	“Aprovechamiento de residuos forestales”, “Adsorción de metales pesados”, “Biochar”,

Libro	2	- Información relevante con antigüedad menor a los Últimos 15 años - Contar con ISBN	-Antigüedad mayor a 15 años.	“Adsorption
-------	---	---	------------------------------	-------------

Elaboración propia

3.7. Rigor científico

Los criterios de rigurosidad científica, aplicados a la investigación cualitativa, permiten establecer lineamientos teóricos, metodológicos y procedimientos, con lo cual se busca las respuestas ante los problemas planteados. Es por ello que se considera 4 aspectos importantes:

La dependencia: Implica la estabilidad de los datos, un proceso mediante el cual se rastrean dichos datos a través de la descripción de las condiciones en las que estos son generados, las fuentes y la verificación de los participantes, factores claves para su adecuada interpretación.

La credibilidad: Recolección de datos verdaderos expresados por autores que han vivido el fenómeno a estudiar.

Transferencia: Extensión de resultados e hipótesis, transferencia de hallazgos identificados que dan origen a otros estudios, teniendo en cuenta la descripción detallada del contexto donde se generan los resultados.

La Relevancia: Se refiere al logro o cumplimiento de los objetivos planteados que dan paso a nuevos estudios.

(Erazo, M., 2011, p.128-129).

3.8. Método de análisis de datos

Luego de la recolección de datos mediante el procedimiento descrito en el punto 3.4, tomando como línea la búsqueda de las categorías, subcategorías y criterios definidos.

Ante ello, se tiene como primera categoría “Termodinámica”, en lo cual se abarca teorías que determinen la influencia de la termodinámica en la

adsorción de cadmio en biocarbón de residuo forestal, y estos a su vez serán evaluados siguiendo las siguientes sub categorías: Temperatura de pirolisis y Tamaño de partícula.

Por otro lado, se tiene como segunda categoría “Cinética”, en el cual se tiene como subcategorías la velocidad de adsorción y pH quienes ayudarán a analizar cuál es la cinética que se aplica en la adsorción de cadmio en biocarbón de residuos forestales

Finalmente, para la tercera categoría “Metodologías”, quien nos ayudará a identificar los métodos de caracterización de las propiedades fisicoquímicas en la preparación de biochar y está definida por las subcategorías, Metodologías, Físicas, Químicas.

3.9. Aspectos éticos

El desarrollo de la presente investigación, estará sujeta al código de ética de la Universidad Cesar Vallejo, en el cual se indica que para realizar una investigación esta se basa en una serie de normas que regulan las buenas prácticas y los principios éticos, para de tal modo garantizar la responsabilidad y honestidad de los investigadores.

Por otro lado, el autor del presente estudio, estará sometido a recibir las sanciones e infracciones descritas en la Resolución de Consejo Universitario N° 0126-2017/UCV, Artículo 22, si en caso se comprobara cualquier infracción y la cual estará sujeta a consideración del Tribunal de Honor de la Universidad. De igual forma se cumple con citar, a los autores de los artículos que son motivo de análisis, según la Norma ISO 690: 2017 detallando datos que comprueban su autenticidad como; nombre del autor, años y página.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ante la revisión de los artículos científicos con respecto a la cinética y termodinámica en la adsorción de cadmio en biocarbón de residuo forestal, se presentan los siguientes resultados.

Tal como se puede observar en el siguiente cuadro, en el cual se describe la influencia de la termodinámica en la adsorción de Cd en biocarbón de residuo forestal teniendo como sub categorías influyentes la temperatura de pirolisis y el tamaño de partícula.

Tabla N°3: Clasificación de la cinética y termodinámica en la adsorción de Cd

Precursor	Termodinámica			Cinética			Metodología de caracterización	Remoción de Cd	Referencia
	Temperatura	Tamaño de partícula	Tipo	Velocidad Adsorción	pH	Tipo			
Paja de colza	600°C	2 y 5mm	Langmuir	60min.	5,5	pseudosegundo	FTIR, SEM	81,10 mg g ⁻¹	Li bing et al., 2017
Cáscaras de maní	-	-	Langmuir y Freundlich	12h.	5,0	-	SEM, FTIR, BET	200 mg L ⁻¹	Cheng et al., 2016
Cascara de Piña	400°C	-	Langmuir	300min.	6,0	pseudosegundo orden	SEM, FTIR	92,7 mg g ⁻¹	Teng et al., 2020
Residuo de pino	600°C	0,5mm	Isoterma de	24h.	6,0	pseudo segundo	FTIR	85,8 mg / g	Park et

			Langmuir			orden			al., 2019
--	--	--	----------	--	--	-------	--	--	-----------

Madera de álamo	550°C	0,250mm	Modelo de RedlichPeterson	3 h.	7,0	pseudo segundo orde	FTIR	216,2 mg g ⁻¹	Chen et al., 2020
Paja de cesamo	700°C	0,5mm	Langmuir	4h.	10,1	Pseudo segundo orden	FTIR	86 mg g ⁻¹	Park et al., 2016
Paja Pennisetum sp	600°C	2-3cm y pasado por un tamiz de 100mallas	Freundlich y Langmuir	2h.	5,0	pseudo segundo orden y pseudo primer orden	FTIR, SEM	95,23 mg g ⁻¹	Yin et al., 2020
Paja de maíz	600-800°C	0,154 mm	Langmuir	2h.	8,0	pseudosegundo orden	SEM	46.90mg g ⁻¹	Khan et al., 2020
Corteza de pinos	600°C	0,5 mm	Freundlich y Langmuir	4h.	5,0	pseudo segundo orden	FTIR	85.8 mg g ⁻¹	Park, et al., 2019
Planta Ipomoea	550°C	0,2 mm	Freundlich	2h.	7,0	pseudo segundo	SEM, FTIR, BET,	72,43 mg g ⁻¹	Goswami et al.,

fistulosa			Langmuir			orden				2016
Paja colza	de 600°C	5,0 mm	Freundlich Langmuir	30 min.	5,5	pseudosegundo orden	FTIR, BET	SEM,	14,46 g mg · h ⁻¹	Li et al., 2017
Cola caballo	de 550°C	<0,15 mm	Freundlich Langmuir	24 h.	6,5	pseudo segundo orden y pseudo primer orden	FTIR		139 mg · g ⁻¹	Lian et al., 2016
colza	500-700°C	0.5 - 2 mm	Sips	48 h.	3,5	pseudo primer orden	FTIR, SEM		25 mg L ⁻¹	Lam et al., 2019

De las investigaciones mencionada anterior mente se puede asegurar que el tipo de materia prima, la cinética y termodinámica influyen de manera directa en la adsorción del metal Cd, así como en las propiedades fisicoquímicas del biochar. Ya que, las condiciones de pirólisis y las características de la materia prima (composición, distribución de tamaño de partícula, tamaño de poro, entre otras), determinan en gran medida las propiedades físicas y químicas del carbón producido y por ende brindando las características esenciales en el producto final para obtener óptimos resultados en el proceso de adsorción (Rebolledo et al., 2016, p.8).

Analizando la influencia de la termodinámica en la adsorción de cadmio en biocarbón de residuo forestal se puede decir que los modelos más empleados son Freundlich y Langmuir influyendo la temperatura de pirólisis para mejores resultados siendo estos mayores a 500°C; De acuerdo con Li et al., (2019, p. 2) estos modelos se adoptan principalmente como las isothermas de adsorción.

De acuerdo con Rebolledo et al., (2016, p.5) la pirólisis es el proceso termoquímico esencial y el más usado para transformar biomasa y otros materiales orgánicos, siendo la temperatura adecuada los que se encuentran en 400°C a más, ya que a estas temperaturas la MP se descompone térmicamente, liberando una fase de vapor y generando una fase sólida residual (biocarbón); esto es corroborado por Parck et al., (2019, p.2) en su investigación detallado en la Tabla N°1, donde aplica un T° de pirólisis de 600°C para el proceso de pirólisis, obteniendo resultados óptimos en la adsorción de Cd.

Así también de acuerdo al segundo objetivo respecto a analizar cuál es la cinética que se aplica en la adsorción de cadmio en biocarbón de residuos forestales en la preparación de biochar; de acuerdo a la Tabla N°3 la cinética que se aplica en 12 de 13 investigaciones, en la adsorción de cadmio en biocarbón de residuos forestales es el Pseudo segundo orden; señalando como sub categorías que la velocidad de adsorción y el pH influyen de manera significativa para que ocurra una mayor rapidez en la adsorción de este metal; ya que, el modelo de pseudo-segundo orden se

emplea como modelo cinético de iones de metales pesados y contaminantes orgánicos en el agua tanto en el agua como en el suelo.

Por último, los métodos de caracterización de las propiedades fisicoquímicas en la preparación de biochar, de acuerdo a la información recolectada y señalada en la Tabla N°1, se puede decir que existen diversos métodos y técnicas aplicadas a la caracterización del biocarbón, pero entre la más utilizada está la técnica del FTIR, quien aporta conocimientos para identificar las diversas longitudes de onda de excitación de los enlaces moleculares mediante la radiación policromática, pudiendo de esta manera obtener la información de la absorbancia relativa que permite detectar los grupos funcionales (Parikh et al., 2014, p.4). De acuerdo con Wang et al., (2020, p.3) la importancia del FTIR viene por la determinación de los grupos funcionales que aparecen en la superficie y con ello se puede saber cuánto es el aumento de la capacidad de eliminación de Cd.

Se confirma de acuerdo con Parikh et al. (2014, p1) mencionan que el FTIR permite aclarar la composición química del biochar, en relación al aumento de temperatura y tiempo de pirolisis, obteniendo que a mayor temperatura la detección resulta ser difícil; es por ello la importancia de estas dos subcategorías.

V. CONCLUSIONES

Se concluye respecto al efecto de la cinética y termodinámica del biocarbón de residuos forestales en la adsorción de cadmio, que sí influyen en el proceso de adsorción del cadmio, debido a que la cinética es usada para entender el mecanismo de adsorción y la termodinámica señala la eficacia del biochar.

En relación al primer objetivo, respecto a la influencia de la termodinámica influye de manera significativa en la composición fisicoquímica que sufre el biochar en cuanto pasa por el proceso de pirólisis, obteniendo propiedades que permiten la eficacia de la adsorción del metal Cd, como es el caso del aumento de la porosidad quien permite un mayor ingreso y facilidad de este metal (Cd).

En cuanto al segundo objetivo la cinética que se aplica en la adsorción de cadmio en biocarbón de residuos forestales de acuerdo a la revisión a nivel nacional e internacional que se hizo se obtuvo que la cinética que más se aplica es el pseudo segundo orden y la velocidad de adsorción y el pH influyen de manera significativa para que ocurra una mayor rapidez en la adsorción de este metal.

Por último, los métodos de caracterización de las propiedades fisicoquímicas en la preparación de biochar, más empleados son el FTIR y el SEM, ya que aportan conocimientos para detectar los grupos funcionales eficientes en el biochar; como los grupos carbonilo, quienes atribuyen una alta capacidad de adsorción.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar mayores investigaciones respecto a la aplicación de los residuos forestales como materia prima para la elaboración de biochar. Crear un registro de los residuos forestales que no estén valorizados, y de esta manera 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.
- Trabajar con otras metodologías en la caracterización de la elaboración del biochar: Métodos existentes que no son muy aplicados o conocidos que se aplican en la elaboración del biochar, para realizar una comparación y determinar qué tan factible es su aplicación y eficiencia.
- Ampliar la investigación en función a otros tipos técnicas, equipos y procedimientos de caracterización en el biochar; debido a que las tecnologías mejoran al pasar los años, existen otras tecnologías que son aplicadas para determinar las características y realizar una comparación en función al costo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ADVANCES in Agronomy por Parikh Sanjai [et al]. Department of Land, Air and Water Resources [en línea]. 2014. [Fecha de consulta: 22 de diciembre de 2020]. Capítulo 1. Soil Chemical Insights Provided through Vibrational Spectroscopy. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/p>
1. AMEN, Rabia, et al. Lead and cadmium removal from wastewater using ecofriendly biochar adsorbent derived from rice husk, wheat straw, and corncob. [en línea]. Cleaner Engineering and Technology, 2020, p. 100006. [Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2020.100006>
2. ARI, TARIGAN. Expectations, attitudes, and preferences regarding support and purchase of eco-friendly fuel vehicles [En línea], 2019. [Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://doi:10.1016/j.jclepro.2019.04.190>
3. BEHERE, Ketki; YOON, Seongkyu. n-layer BET Adsorption Isotherm Modeling for Multimeric Protein A Ligand and its Lifetime Determination. [En línea]. *Journal of Chromatography B*, 2020, p. 122434. [Fecha de consulta: 11 de diciembre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2020.122434>
4. CADMIUM adsorption characteristics of biochar derived using various pine tree residues and pyrolysis temperatures por Park [et al]. Journal of colloid and interface science [En línea]. Octubre 2019, Vol 553. [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.06.032>
5. CALERO, M. et al. Biosorption kinetics of cd (ii), cr (iii) and pb (ii) in aqueous solutions by olive stone. brazilian journal of chemical engineering. [En línea]. 2009. [Fecha de consulta: 9 de diciembre del 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-66322009000200004>

6. Characterization of cadmium removal from aqueous solution by biochar produced from *Ipomoea fistulosa* at different pyrolytic temperatures por Goswani [et al]. 2016.
Vol. 97. [Fecha de consulta: 22 de diciembre del 2020]. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.10.007>
7. CHEN, D. et al. Pyrolysis polygeneration of pine nut shell: quality of pyrolysis products and study on the preparation of activated carbon from biochar. bioresource technology. [En línea]. 2016, [Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.107>
8. CHEN, C. MAIER, J. Synergistic silver storage in the composite RbAg4I5: graphite thermodynamics and kinetics. [En línea], 2017. [Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssi.2017.09.019>
9. CHEN, L. et al. Phytoremediation of cadmium (Cd) and uranium (U) contaminated soils by *Brassica juncea* L. enhanced with exogenous application of plant growth regulators. [En línea]. 2019. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125112>
10. CHEN, Z. et al. Removal of cd and pb with biochar made from dairy manure at low temperature. journal of integrative agriculture. [En línea], 2019, [Fecha de consulta:

10 de diciembre de 2020]. Disponible en:
[https://doi.org/10.1016/S20953119\(18\)61987-2](https://doi.org/10.1016/S20953119(18)61987-2)
11. CHEN, Quan, et al. Classical theory and electron-scale view of exceptional Cd (II) adsorption onto mesoporous cellulose biochar via experimental analysis coupled with DFT calculations. [En línea]. *Chemical Engineering Journal*, 2018, vol. 350, p.

- 1000-1009. [Fecha de consulta: 11 de diciembre del 2020]. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.06.054>
12. CHENG, Qiming, et al. Adsorption of Cd by peanut husks and peanut husk biochar from aqueous solutions. [En línea]. *Ecological Engineering*, 2016, vol. 87, p. 240245. [Fecha de consulta: 17 de diciembre del 2020]. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.11.045>
13. Escalante, A. et al. Biocarbón (biochar) naturaleza, historia, fabricación y el uso de suelo. *Terra latinoamericana*. [En línea]. 2016. [Fecha de consulta: 9 de diciembre del 2020]. Disponible en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018757792016000300367&script=sci_arttext
14. Gezahegn, Sossina; SAIN, Mohini; THOMAS, Sean C. Phytotoxic Condensed Organic Compounds are Common in Fast but not Slow Pyrolysis Biochars. [En línea]. *Bioresource Technology Reports*, 2020, p. 100613. [Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2020]. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100613>
15. Haeldermans, T., et al. A comparative techno-economic assessment of biochar production from different residue streams using conventional and microwave pyrolysis. [En línea]. *Bioresource Technology*, 2020, vol. 318, p. 124083. [Fecha de consulta: 11 de diciembre de 2020]. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124083>
16. HERNANDEZ, Maria. Eliminación de NOx mediante fotocatalisis heterogénea. Tesis (Doctorado en Oceanografía). [en línea]. La palma de Gran ganaría: Universidad de las palmas de gran ganaría, 2017. [Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2020]. Disponible en:
file:///C:/Users/JORGE%20CHAVEZ%20ULARTE/Downloads/0746895_00000_0

[000.pdf](#)

17. Hu, Y., Cheng, H., Tao, S., 2016. The challenges and solutions for cadmiumcontaminated rice in China: a critical review. [en línea]. *Environ. Int.* 92–93, 515–532. [Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2016.04.042>.
18. Huaraca-fernandez, Jhon N., et al. Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión. [En línea]. *Información tecnológica*, 2020, vol. 31, no 4, p. 139-152. [Fecha de consulta: 18 de diciembre del 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000400139>
19. Jarup, L., Akesson, A., 2009. Current status of cadmium as an environmental health problem. [en línea]. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 238 (3), 201–208. Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.taap.2009.04.020>.
20. Khum-in, Vinita, et al. Combining Biochar and Zerovalent Iron (BZVI) as a Paddy Field Soil Amendment for Heavy Cadmium (Cd) Contamination Decreases Cd but Increases Zinc and Iron Concentrations in Rice Grains: A Field-Scale Evaluation. [En línea]. *Process Safety and Environmental Protection*, 2020. [Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.05.008>
21. Krochmalny, Krystian, et al. Determination of the marker for automation of torrefaction and slow pyrolysis processes—A case study of spherical wood particles. [En línea]. *Renewable Energy*, 2020, vol. 161, p. 350-360. [Fecha de consulta: 11 de diciembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.100>

22. LAM, Yan Yan; LAU, Sam SS; WONG, Jonathan WC. Removal of Cd (II) from aqueous solutions using plant-derived biochar: Kinetics, isotherm and characterization. [En línea]. Bioresource Technology Reports, 2019, vol. 8, p. 100323. [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100323>
23. LI, Xiangping, et al. Preparation and application of magnetic biochar in water treatment: A critical review. [En línea]. Science of The Total Environment, 2020, vol. 711, p. 134847. [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134847>
24. LI, Bing, et al. Adsorption of Cd (II) from aqueous solutions by rape straw biochar derived from different modification processes. [En línea]. Chemosphere, 2017, vol. 175, p. 332-340. [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.061>
25. LIAN, Wanli, et al. Utilization of biochar produced from invasive plant species to efficiently adsorb Cd (II) and Pb (II). [En línea]. Bioresource Technology, 2020, vol. 317, p. 124011. [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124011>
26. LI, Bing, et al. Adsorption of Cd (II) from aqueous solutions by rape straw biochar derived from different modification processes. [En línea]. Chemosphere, 2017, vol. 175, p. 332-340. [Fecha de consulta: 17 de diciembre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.061>
27. Maršálek, Roman; ŠVIDRNOCH, Martin. The adsorption of amitriptyline and nortriptyline on activated carbon, diosmectite and titanium dioxide. [En línea].

Environmental Challenges, 2020, p. 100005. [Fecha de consulta: 11 de diciembre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2020.100005>

28. 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: 22 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125701>
29. Meharg, A.A., Norton, G., Deacon, C., Williams, P., Adomako, E.E., Price, A., et al., 2013. Variation in rice cadmium related to human exposure. [en linea]. *Environ. Sci. Technol.* 47 (11), 5613–5618. Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2020].
Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1021/es400521h>.
30. MOHAMMED, N. et al. phenol adsorption on biochar prepared from the pine fruit shells: equilibrium, kinetic and thermodynamics studies. *journal of environmental management*. [En línea], 2018. [Fecha de consulta: 11 de diciembre de 2020].
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.033>.
31. Mu'azu, Nuhu Dalhat; ESSA, Mohammed Hussain; LUKMAN, Salihu. Scale-up of hybrid electrokinetic–adsorption technique for removal of heavy metals from contaminated saline-sodic clay soil. [En línea]. *Journal of King Saud University Engineering Sciences*, 2019, vol. 31, no 2, p. 122-130. [Fecha de consulta: 29 de enero de 2021].
32. Parikh, Sanjai J., et al. Soil chemical insights provided through vibrational spectroscopy. En *Advances in agronomy*. [En línea]. Academic Press, 2014. p. 1-148. [Fecha de consulta: 17 de diciembre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.icis.2019.06.032>

33. Park, Jong-Hwan, et al. Cadmium adsorption characteristics of biochars derived using various pine tree residues and pyrolysis temperatures. [En línea]. Journal of colloid and interface science, 2019, vol. 553, p. 298-307. [Fecha de consulta: 17 de diciembre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.06.032>
34. Park, Jong-Hwan, et al. Competitive adsorption of heavy metals onto sesame straw biochar in aqueous solutions. [En línea]. Chemosphere, 2016, vol. 142, p. 77-83. [Fecha de consulta: 18 de diciembre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.093>
35. Qui et al. Remediation of cadmium-contaminated soil with biochar simultaneously improves biochar's recalcitrance. [En línea], 2019. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2019]. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113436>
36. Quispe yana, Raúl F., et al. Concentración de metales pesados: cromo, cadmio y plomo en los sedimentos superficiales en el río Coata, Perú. [en línea]. Revista Boliviana de Química, 2019, vol. 36, no 2, p. 83-90. [Fecha de consulta: 06 de noviembre 2020] Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S02505460201900020003&lng=es&nrm=iso
37. Rebolledo, et al. biocarbón (biochar) i: naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. [En línea], 2016. [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018757792016000300367&script=sci_arttext
38. Rebolledo, Ariadna Escalante, et al. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. [En línea]. Revista terra latinoamericana, 2016, vol. 34, no 3, p. 367-382. [Fecha de consulta: 17 de diciembre del 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>

39. Salgado, Ana. Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos. [en línea]. Revista Scielo. 2007, vol. 13 n° 13. [Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s172948272007000100009
40. Shen, Huazhen, et al. Adsorption phenomenon and kinetic mechanisms of Hg0 and HgCl2 by innovative composite sulfurized activated carbons. [en línea]. Fuel, 2019, vol. 256, p. 115894. [Fecha de consulta: 29 de enero de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115894>
41. Singh, Satyansh; CHAKRABORTY, Jyoti Prasad; MONDAL, Monoj Kumar. Pyrolysis of torrefied biomass: Optimization of process parameters using response surface methodology, characterization, and comparison of properties of pyrolysis oil from raw biomass. [En línea]. Journal of Cleaner Production, 2020, vol. 272, p. 122517. [Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122517>
42. TENG, Dongye, et al. Efficient removal of Cd (II) from aqueous solution by pinecone biochar: Sorption performance and governing mechanisms. [En línea]. Environmental Pollution, 2020, p. 115001. [Fecha de consulta: 17 de diciembre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115001>
43. WANG, Lu, et al. Performance and mechanisms for remediation of Cd (II) and As (III) co-contamination by magnetic biochar-microbe biochemical composite: Competition and synergy effects. [En línea]. Science of The Total Environment, 2020, vol. 750, p. 141672. [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141672>

44. XU, Zhangyi, et al. Manganese ferrite modified biochar from vinasse for enhanced adsorption of levofloxacin: Effects and mechanisms. [En línea]. *Environmental Pollution*, 2020, p. 115968. [Fecha de consulta: 11 de diciembre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115968>
45. XUE, Y. et al. Pyrolysis of sewage sludge by electromagnetic induction: biochar properties and application in adsorption removal of pb (ii), cd (ii) from aqueous solution. waste management. [En línea], 2019. [Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.047>
46. YIN, Guangcai, et al. Novel Fe-Mn binary oxide-biochar as an adsorbent for removing Cd (II) from aqueous solutions. [En línea]. *Chemical Engineering Journal*, 2020, vol. 389, p. 124465. [Fecha de consulta: 18 de diciembre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124465>
47. ZHANG, W. et al. Metal immobilization by sludge-derived biochar: roles of mineral oxides and carbonized organic compartment. [En línea], 2017. [Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10653-0169851-z>
48. ZHANG, H. et al. Enhanced mercury removal by transplanting sulfur-containing functional groups to biochar through plasma. [En línea], 2019. [Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.05.068>
49. ZHANG, X. et al. Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. [En línea], 2013. [Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2020]. Disponible en: doi [10.1007/s11356-013-1659-0](https://doi.org/10.1007/s11356-013-1659-0)

50. ZHANG, X. et al. Effect of pyrolysis temperature and correlation analysis on the yield and physicochemical properties of crop residue biochar. [En línea], 2019. [Fecha de consulta: 20 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122318>
51. ZHANG, Y. et al. Tuning interfacial structure and mechanical properties of graphene oxide sheets/polymer nanocomposites by controlling functional groups of polymer. [En línea], 2019. [Fecha de consulta: 20 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144152>

ANEXOS:

 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
--	---------------------------------------

TÍTULO:

PAGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACION <input type="text"/>	LUGAR DE PUBLICACION <input type="text"/>
---------------------------	---	---

TIPO DE INVESTIGACION:	AUTOR (ES):
-------------------------------	--------------------

CÓDIGO :	
PALABRAS CLAVES :	ELABORACIÓN DE BIOCHAR", "ADSORCIÓN DE BIOCHAR", "APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS FORESTALES", "ADSORCIÓN DE METALES PESADOS", "BIOCHAR", "ADSORCIÓN".
TIPO DE METODOLOGÍA :	
TIPO DE MATERIA PRIMA :	

CARACTERIZACIÓN DE BIOCHAR	
RESULTADOS :	

CONCLUSIONES:	
----------------------	--