



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión Sistemática: Adsorción de Metales Pesados en Aguas
Contaminadas usando Carbón Activado**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL

AUTOR:

Aucapuella Oxa, Jessica (ORCID: 0000-0001-9869-4044)

ASESOR:

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

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA - PERÚ

2021

Dedicatoria

Con mucho cariño a mis padres en especial a mi madre por la ayuda y la fuerza que siempre me has brindado has estado a mi lado en los momentos más difíciles siempre dándome tu apoyo para salir adelante, eres un gran ejemplo mamá.

Con amor a José mi compañero que siempre me crítica y me alienta para salir adelante y jamás rendirme y en especial para el gran amor de mi vida y el que me da fuerza cada día para seguir adelante a mi hijo Jaren.

Agradecimiento

En primer lugar, a Dios por haberme permitido llegar hasta este momento tan importante y esperado a lo largo de la carrera el cual me permite crecer como profesional, este es el primer paso de los muchos que vienen. A mi familia que siempre me ha brindado su apoyo. También a la universidad César Vallejo y me asesor por haber brindado su tiempo y paciencia para poder presentar un buen trabajo de investigación.

ÍNDICE

Caratula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
I INTRODUCCIÓN.....	1
II MARCO TEORICO.....	3
III METODOLOGÍA	19
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	19
3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización.....	19
3.3 Escenario de estudio.....	21
3.4 Participantes.....	21
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	21
3.6 Procedimientos.....	22
3.7 Rigor científico.....	23
3.8 Método de análisis de información.....	24
3.9 Aspectos éticos.....	25
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
V CONCLUSIONES.....	35
VI RECOMENDACIONES.....	36
REFERENCIAS.....	37
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Antecedentes de trabajos aplicando carbón activado para la remoción de metales pesados.....	15
Tabla N°2: Matriz de categorización apriorística.....	20
Tabla N°3: Clasificación de métodos de activación.....	26
Tabla N°4: Parámetros influyentes en la adsorción.....	29
Tabla N°5: Métodos de caracterización.....	32

ÍNDICE DE GRÁFICO

Gráfico N°1: Diagrama metodológico de elaboración del trabajo de investigación....	23
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Ciclo de combustión del proceso de elaboración del biochar.....	6
Figura N°2: Estructura del Carbón activado.....	7
Figura N°3: Estructura del carbón tipo gráfico.....	7
Figura N°4: Resumen gráfico del proceso de preparación y adsorción del carbón activado.....	9
Figura N°5: Imagen MEB de carbón activado.....	13

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

MP = Metales pesados

CA= Carbón activado

FCA= Fibras de carbón activado

FTIR= espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier

BET= Brunauer Emmett y Teller

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo analizar el uso del carbón activado para la adsorción de metales pesados en medio acuoso, a través de la influencia de diversos métodos de activación empleado en diversas investigaciones y los parámetros influyentes en la adsorción, así como los diferentes métodos de caracterización del carbón activado. 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 físicas de activación del carbón se obtuvo que el tiempo de contacto más empleado por los investigadores es de 3 h y en la metodología química el uso de reactivo químico es el ácido fosfórico (H_3PO_4) y señalando que el uso de la combinación de una activación química seguido de la activación física es la que brinda un mejor producto final. Así también, el parámetro influyente en la adsorción de los metales pesados en agua son el pH y el tamaño de partícula siendo el mejor un pH en rangos de (4-6) los más empleados, esto quiere decir que la adsorción del carbón activado llega al equilibrio en pH ácido. Por último, la caracterización del carbón activado es más empleado con el método de Espectroscopía de infrarrojo con Transmisión de Fourier (FTIR) siendo aplicados en un 80% de investigadores. Recomendando aplicar nuevas técnicas de caracterización métodos de activación del biochar.

Palabras clave: Carbón activado, adsorción de metales pesados, contaminación del agua.

Abstract

The objective of this research is to analyze the use of activated carbon for the adsorption of heavy metals in aqueous media, through the influence of different activation methods used in various investigations and the influential parameters in adsorption, as well as the different methods of characterization of activated carbon. For this purpose, a compilation of information was used by searching in databases such as Science Direct and Scielo, using key words as a reference for the information selection criteria. In the physical methodologies of carbon activation it was obtained that the contact time most used by the researchers is 3 h and in the chemical methodology the use of chemical reagent is phosphoric acid (H_3PO_4) and indicating that the use of the combination of a chemical activation followed by physical activation is the one that provides a better final product. Also, the influential parameters in the adsorption of heavy metals in water are pH and particle size, the best being a pH in the range of (4-6), which means that the adsorption of activated carbon reaches equilibrium at acid pH. Finally, the characterization of activated carbon is most commonly used with the Fourier Transmission Infrared Spectroscopy (FTIR) method being applied by 80% of researchers. It is recommended to apply new characterization techniques for biochar activation methods.

Key words: Activated carbon, adsorption of heavy metals, water contamination.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, muchos países emergentes se enfrentan a un grave problema de contaminación ambiental que afecta directa e indirectamente a los recursos hídricos, de suelo y del aire; entre los muchos problemas ambientales que han causado preocupación y crecimiento interés por mejorar, quizás igualmente importante e impresionante, está la contaminación del agua debido al hecho de que el agua es un recurso importante, necesario para todos los aspectos de la existencia tanto en los seres humanos como en los ecosistemas (MohanKuMar et al, 2016 , p.5).

La contaminación del agua por diversas fuentes es un problema "perverso" que amenaza la calidad de la misma, la salud de los ecosistemas, la biodiversidad, y por lo tanto la prestación de servicios de los ecosistemas que apoyan los medios de vida y el bienestar de los seres humanos desde la escala local hasta la mundial (Patterson et al., 2019, p.1)

La contaminación del agua se genera a través de diversas actividades y fuentes, las actividades humanas y las industrias son de una cuestión importante en muchos países, ya que, el suministro de agua es una de las fuentes más importantes para uso urbano, agrícola e industrial, pero el aumento significativo en las aguas residuales directamente en el río aumenta la contaminación de esta; convirtiéndose el problema real de la protección del medio ambiente acuático en una de las tareas más importantes a nivel mundial (Long et al., 2019, p.2), además, es señalado que los sectores agrícolas e industriales son las principales fuentes de contaminación del agua en los países en desarrollo, ya que, la agricultura en los países en desarrollo es un sector vulnerable y el uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas químicos causa graves contaminaciones de las aguas y el ser humano (Xiao et al., 2021, p.2).

El recurso hídricos están contaminados debido a la acumulación de metales pesados y metales debido a las emisiones de las zonas industriales, minerales de desechos, uso de fertilizantes el suelo, pesticidas, aguas residuales de riego, desechos electrónicos, etc (Singh et al., 2016, p.759), estos metales pesados en el agua pueden introducirse en la flora y fauna marina, así como en el ser humano, contaminando las

verduras que son fuentes de alimentación del hombre, trayendo consigo riesgos para la salud por el consumo de estas (Tomno et al., 2020, p.1);

Por lo anterior, se crean problemas de salud cuando se acumula en las células vivas y alteran las funciones normales de varios órganos de un organismo vivos (Gupta, 2015, p.1).

Es por ello que se aplican diversas técnicas de tratamiento; hasta ahora, numerosos enfoques, como el método electroquímico, precipitación química, coagulación química, membrana filtración, intercambio de iones, biorremediación y adsorción, estos han sido aplicado para la eliminación de metales pesados, de los cuales, la adsorción se considera la técnica físico-química más eficaz para la eliminación de metales pesados debido a la simplicidad de funcionamiento, rentabilidad y naturaleza regenerativa de la adsorbentes.

El carbón activado es utilizado de manera rentable y ampliamente en diferentes tratamientos de aguas residuales; se deriva por el método de pirólisis y activación química llevada a cabo por vapor o tratamiento químico; estableciéndose la importancia en la adsorción de las materias residuales del agua (Buvaneswari K., y singanan M., 2020, p.3).

Del mismo modo, se plantea como **problema General:** ¿Cuál es el uso del carbón activado para la adsorción de metales pesados? Y como **problemas específicos:** ¿Cuáles son los métodos de activación en la elaboración del carbón activado para la adsorción de metales pesados? ¿Cómo identifica los parámetros que influyen en la adsorción de metales pesados usan carbón activado? y ¿Cuáles son los métodos de caracterización del carbón activado para la adsorción de metales pesados?

Por lo expuesto anteriormente se planteó como **objetivo General:** Analizar el uso del carbón activado para la adsorción de metales pesados y **objetivos específicos:** Identificar los métodos de activación en la elaboración del carbón activado para la adsorción de metales pesados, Indicar cuáles son los parámetros que influyen en la adsorción de metales pesados e Identificar los métodos de caracterización del carbón

activado para la adsorción de metales pesados.

Actualmente en el Perú se necesita reducir la contaminación hídrica por metales pesados; para lo cual se aplican diversos tipos de tecnologías capaces de minimizar el problema que nos aqueja, para lo cual el carbón activado es una manera de reducirla; siendo esta una tecnología verde para producir carbón de alta capacidad, bajo costo y amigable con el medio ambiente ayudando a la adsorción de metales pesados. En tal sentido, el presente trabajo de investigación se justifica porque pretende emplear los diversos trabajos realizados a nivel mundial sobre la adsorción de metales pesados en aguas contaminadas empleando carbón activado; contribuyendo de esta manera a la sociedad y a futuros investigadores con una investigación actualizada.

II. MARCO TEÓRICO

La contaminación por metales pesados presenta su origen por fuentes naturales o antropogénicas (Ji et al., 2018, p.2), donde la procedencia de los metales pesados de fuentes antropogénicas son más móviles y biodisponibles que los presentes en su forma mineral natural y, por tanto, generan mayores riesgos para la salud humana y ambiental (Zhu et al., 2015, p.4), estos metales pesados liberados por las diversas actividades industriales acaban llegando al medio ambiente, especialmente a las aguas superficiales de las zonas urbanas (Li et al, 2019, p.2).

Con el tiempo, la contaminación por metales pesados en las aguas superficiales ha cambiado de la contaminación por un solo metal a la contaminación por metales mixtos; donde el número de metales pesados con concentraciones superiores a los límites de los estándares de la OMS y USEPA fue menor en los países desarrollados de Europa y América del Norte, y mayor en los países en desarrollo de África, Asia y América del Sur (Zhou et al., 2017, p.2).

Por ello, la contaminación del agua por las actividades humanas y las industrias son un problema que acarrea a muchos países; donde también el arroyo viene a ser la fuente de suministro de agua más importante para uso urbano, agrícola e industrial, pero ahora un aumento significativo de las aguas residuales directamente en el río aumenta la contaminación de esta agua; volviéndose este un problema mundial de protección del medio acuático (Long B., 2020, p.1).

En países como Taiwán existen problemas de contaminación por metales pesados debido a vertidos ilegales donde los niveles de sedimentos de los ríos presentaban niveles de contaminación graves, siendo el Cu el que presentaba la mayor concentración media de 432,29 mg/kg de peso seco (Hoang et al., 2020, p.2).

En el Perú, el problema de la contaminación del agua se ve agravado por la falta de conciencia ambiental entre los usuarios del agua y otros recursos naturales (Guevara, 2016, p.15); en Ancash – Perú se da por la minería que genera metales pesados siendo este un problema muy complejo de contaminación ya que promueve efectos

químicos, físicos, biológicos y ecológicos negativos en el medio ambiente en especial en el recurso hídrico por sus efluentes o desembocaduras (Grande et al., 2019, p.2). Siendo la contaminación por metales pesados en los cuerpos de agua común en áreas donde se practica la minería ilegal y trayendo consigo que el agua potable no sea segura para actividades domésticas como beber y cocinar (Duncan et al., 2018, p. 4).

Casi todos los metales pesados son tóxicos y pueden presentar graves riesgos para la salud de los organismos vivos, además de su naturaleza bioacumulativa y no biodegradable (Harindintwali et al., 2020, p.1); los efectos de los metales pesados como el plomo, el mercurio, el cobre, el zinc, cobalto y cadmio en la salud humana han sido extensamente estudiado y bien documentado, la ingestión excesiva de tales metales puede causar envenenamiento acumulativo, cáncer, daños al sistema nervioso, etc. (Abbas M., 2020, p.1).

Los metales pesados, una vez liberados en el medio ambiente, podrían llegar al cuerpo humano directamente a través de la ingestión de polvo e indirectamente a través de la ingesta de alimentos, son extremadamente peligrosas debido a su carácter tóxico, persistente y bioacumulativo (Ullah R., y Muhammad S., 2020, p.2).

Así mismo, la contaminación por metales pesados no sólo amenaza la salud de los ciudadanos y animales nativos por el efecto de enriquecimiento de la cadena alimentaria, también afecta directamente a la composición, abundancia y patrón de distribución de las comunidades microbianas del medio ambiente (Li sha et al., 2021, p.2).

Por ello, se han desarrollado diferentes técnicas para restaurar las propiedades del agua contaminada, como el carbón activado (CA), siendo utilizado ampliamente como una herramienta de utilidad industrial y ambiental siendo un gran adsorbente para la eliminación de contaminantes orgánicos y metales pesados de las fases acuosas (Kharrazi et al., 2020, p.1).

El carbón puede ser activado mediante diversos reactivos químicos; la modificación del carbón activado se considera un proceso eficaz para mejorar sus características

de adsorción, donde los carbones activados pueden ser preparados con KOH (Kharrazi et al., 2020, p.2) y la estructura de carbón consta de una estructura estratificada con capas paralelas, tiene un alto porcentaje de porosidad, como se muestra en la siguiente figura (Vidal, 2003, p.170). Se sintetiza a partir de la materia prima utilizada y es reconocida como una técnica de tratamiento rentable y amigable al medio ambiente (Nejadshafiee V. e Islami M., 2019, p.1).

La aplicación de la materia prima a base de carbón activado para la eliminación de metales pesados de soluciones acuosas ha sido un tema científico importante en la última década (Cha et al., 2016, p.3). Por ello el carbón activado es bien conocido por su actividad catalítica para producir muchos productos terminados (Por los diferentes tipos de materiales precursores empleados), como combustibles alternativos, tratar aguas residuales ambientales y se puede realizar a base de diferentes tipos de residuos.

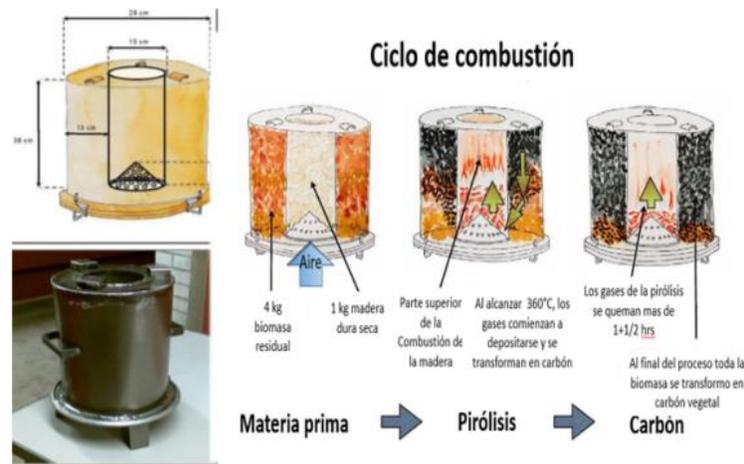


Figura N°1: Ciclo de combustión del proceso de elaboración del biochar
Fuente: Trujillo, 2019

En la figura N°1 se visualiza la interpretación gráfica del proceso de pirólisis por el que pasa la materia prima elegida para la carbonización del biochar.

Además, cabe resaltar que la eficiencia de los carbones en la eliminación de metales de soluciones acuosas depende principalmente de las propiedades del contaminante y de las características del adsorbente, como el área superficial, la porosidad, el pH y el material precursor utilizado (Sizmur et al., 2017, p.2).

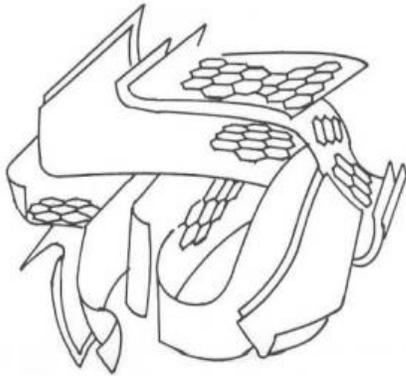


Figura N°2: Estructura del Carbón activado

Fuente: Luna et al., 2007

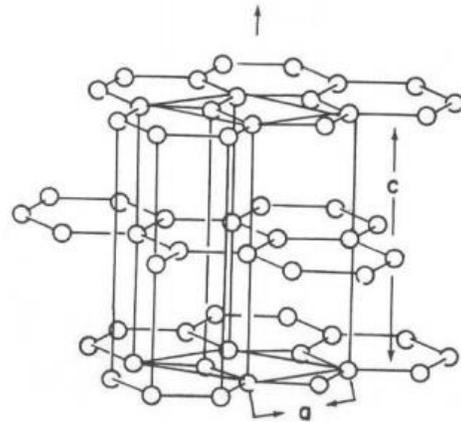


Figura N°3: Estructura del carbón tipo gráfico

Fuente: Luna et al., 2007

El carbón activado se genera cuando al carbón que fue producido por el proceso de pirólisis o carbonización se le somete adherencia con gas o compuestos químicos para aumentar sus propiedades adsorbentes (Alvares et al, 2016, p.1). La búsqueda de un método de activación suave y rentable para preparar biocarbón con excelente capacidad de adsorción es ventajoso para ampliar su potencial aplicación industrial (He et al., 2020, p.2).

La preparación del carbón activado puede lograrse adecuadamente seleccionando primero el precursor apropiado, controlando el paso de pirólisis y luego controlando su proceso de activación posterior; por cualquiera de los dos existentes; ya sea la activación química o física (Linares A., y Cazorla D., 2013, p.156).

El biocarbón se puede activar por dos métodos; ya sea la activación física o la activación química la diferencia entre ellas consiste en que la activación física presenta dos pasos; el proceso de pirolisis y la reacción de la pirolisis mediante una atmósfera de gases oxidantes; mientras que el método de activación química consta de un solo paso, ya que, se aplican sustancias químicas para la activación, este compuesto químico modifica el proceso de carbonización (Ospina et al., 2014, p.77).

En la activación física: carbonización y activación del carbonizado mediante la acción de gases oxidantes como vapor de agua, dióxido de carbono, aire, o mezclas de los mismos, siendo el oxígeno activo del agente activante, el responsable de quemar las partes más reactivas del esqueleto carbonoso conjuntamente con el alquitrán retenido dentro de la estructura porosa, y la extensión del quemado dependerá de la naturaleza del gas empleado y de la temperatura de activación (Labrada et al., 2011, p.260). Las temperaturas varían de entre los 800 y 1000 °C con un gas oxidante para que así los átomos del carbón se vayan eliminando de forma selectiva (Gomez, 2010, p.2).

La activación química: se caracteriza porque la carbonización y la activación tienen lugar en una sola etapa, llevada a cabo por la descomposición térmica de la materia prima impregnada con agentes químicos, tales como ácido fosfórico, cloruro de zinc, hidróxido de potasio o tiocianato potásico (Labrada et al., 2011, p.261). Se pueden utilizar diferentes compuestos para la activación como: KOH, NaOH, H₃PO₄, y ZnCl₂ (Kunowsky et al., 2008, p.5).

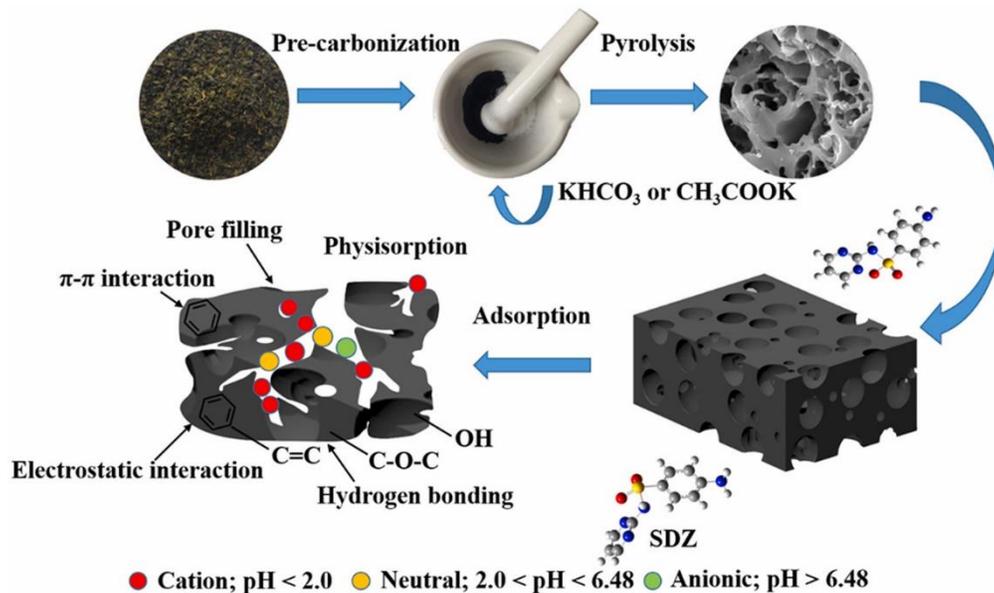


Figura N°4: Resumen gráfico del proceso de preparación y adsorción del carbón activado

Fuente: He et al., 2020

En la figura N°4 se ve el proceso de preparación del biocarbón activado a base de residuos de té aplicando reactivo químico para la activación y el mecanismo de adsorción de sulfadiazina.

Las fibras de carbón activado (FCA) son carbonos porosos con forma de fibra y estructura porosa bien definida que pueden prepararse con una alta capacidad de adsorción (Rivas et al., 2006, p.4).

El objetivo durante la activación es tanto aumentar el número de poros y aumentar el tamaño de los existentes de modo que el carbono poroso resultante tenga una alta capacidad de adsorción (Linares A., y Cazorla D., 2013, p.156).

Durante estos años, se han estudiado muchos adsorbentes para el tratamiento de metales pesados en los que el carbón activado (CA) han sido considerados como los adsorbentes más adecuados debido a sus grandes superficies específicas, su bajo costo y sus características respetuosas con el medio ambiente (Zhu et al., 2018, p.1).

Por otro lado, la adsorción de carbón activado es una barrera comúnmente utilizada

para eliminar los microcontaminantes (Yin R., y Shang S., 2020, p.2). y se encuentra establecido como el enfoque fundamental más eficiente y prometedor por su eficiencia y remoción (Daifullah et al., 2004, p.4).

La isoterma de adsorción es esencial para seleccionar los carbonos adecuados para el tratamiento de aguas residuales, ya que proporciona información importante sobre la eficiencia de los carbonos y las interacciones involucradas entre el metal y las partículas adsorbentes (Salah et al., 2019, p.1). Donde se han propuesto varios modelos empíricos para el análisis de la adsorción de metales pesados en carbonatos derivados de la biomasa; como los modelos principales son las ecuaciones de Langmuir, Freundlich, Halsey y Temkin (Jellali et al., 2016, p.2).

La isoterma de Langmuir es la opción principal para la mayoría de los modelos de adsorción y tiene muchas aplicaciones en la cinética de superficies (normalmente conocida como cinética de Langmuire Hinshelwood) y en la termodinámica como técnica cinética, Langmuir, fue capaz de describir la isoterma de tipo I utilizando la idea de que la adsorción estaba restringida a una monocapa (Langmuir I., 1918, p.5). La representación matemática de la isoterma de adsorción de Langmuir se expresa como:

$$Q_e = \frac{Q_m \cdot k_L \cdot C_e}{1 + k_L \cdot C_e}$$

Donde; C_e (mg/g) representa la cantidad de adsorbato que permanece en la solución en equilibrio, Q_e (mg/g) representa la cantidad de adsorbato (mg) adsorbida por unidad de adsorbente (g), Q_m (mg/g) significa la capacidad máxima de adsorción, y K_L (L/mg) es la constante de isoterma de Langmuir. El valor de K_L se correlaciona con la variación de las características superficiales del adsorbente, como la superficie específica y la porosidad (Kumar et al., 2019, p.5).

La ecuación de Freundlich o isoterma de adsorción de Freundlich es una isoterma de adsorción y también una relación empírica entre la concentración de un soluto en la superficie de un adsorbente y la concentración del soluto dentro del líquido con el que

se está en contacto (Ashin et al., 2017, p.3). La expresión matemática de la isoterma de adsorción de Freundlich es:

$$X/m=Kp^{1/n}$$

También se puede expresar como:

$$\text{Log } x/m=\text{log } K+1/n \text{ log } p$$

Donde; x es la masa del adsorbato, m es la masa del adsorbente, p es la presión de equilibrio del adsorbato, K y n son constantes para un adsorbato y adsorbente dada, A alta presión, $1/n = 0$ por tanto, la cantidad de adsorción será independiente de la presión (Foo K. y Hammed B., 2010, p.10).

La Isoterma de adsorción de Halsey se aplica a los sistemas heterogéneos que siguen a la adsorción multicapa a una distancia relativamente grande de la superficie (Ray et al., 2020, p.6) y la ecuación de la isoterma de Halsey se puede representar de la siguiente manera:

$$Q_e = (KH/C_e)^{1/nH}$$

Dónde; nH y KH son las constantes de isoterma de Halsey y se pueden calcular utilizando la pendiente y la intersección del gráfico de adsorción de Halsey ($\ln Q_e$ frente a $\ln C_e$), respectivamente.

Asimismo, es importante observar la morfología superficial de los carbones activados, para poder caracterizarlos, ya que estos diferentes métodos se desarrollan y aplican con diferentes equipos:

Según la isoterma de adsorción de Temkin, el calor de adsorción (ΔH_{ads}) de la superficie de las moléculas de adsorbato disminuye con la exposición de las superficies del adsorbente, sigue la interacción indirecta entre el adsorbente y el adsorbato y se caracteriza por las energías de unión igualmente distribuidas (Ringot

et al., 2007, p.8) y es representada por la siguiente ecuación matemática lineal:

$$Q_e = \frac{R_T}{v} L_n k_T + \frac{R_T}{b} \ln C_e$$

Donde; R es la constante universal de los gases, que es igual a J/K/mol, T es la temperatura (K), k_T es la constante de isoterma de Temkin (L/g), relacionada con la energía máxima de enlace, y b representa la constante de Temkin (J/mol), relacionada con el calor de adsorción. El gráfico de Temkin (Q_e frente a $\ln C_e$) proporciona información sobre k_T y b a través de la intercepción y la pendiente, respectivamente. Un valor positivo de b indica que el proceso de adsorción es de naturaleza endotérmica y viceversa.

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) se utiliza para identificar los enlaces químicos en una molécula produciendo un espectro de absorción de infrarrojos (Jaliya et al., 2020, p.284). El espectrómetro FTIR visualiza las vibraciones de los enlaces químicos típicos y el grupo funcional específico de la estructura molecular (Wibawa et al., 2020, p.4). Las estructuras morfológicas y las propiedades magnéticas del adsorbente se estudian mediante la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR).

Las imágenes de la morfología de la superficie de los materiales de los carbones activados se caracterizan por el instrumento SEM o MEB; este escanea la morfología de la superficie de las muestras para obtener las mejores imágenes con varios aumentos de 5.000, 10.000 y 20.000 veces (Wibawa et al., 2011, p.2).

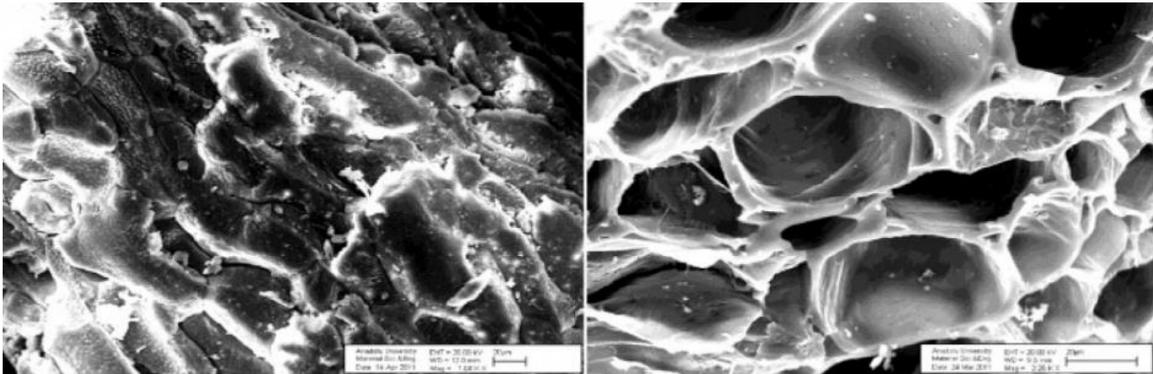


Figura N°5: Imagen MEB de carbón activado

Fuente: Jellali et al., 2016

En la Figura N°5 se visualiza la imagen de microscopía electrónica de barrido de la cáscara de almendra cruda y su carbón activado derivado a una temperatura de pirólisis de 600°C y una velocidad de calentamiento de 10°C/min.

La técnica del interferómetro se utiliza para medir la temperatura de la superficie; esto nos da datos precisos por debajo de la longitud de onda del láser (0.5µm) en el espectro visible y tiene una sensibilidad térmica de 8.1498rad/RIU (rango RI: 1.331-1.387) y -0.05rad/°C (rango T°= 20°C – 90°C). (Wang et al., 2019, p.1) y se utiliza para medir las diferentes temperaturas a las que se encontraba el biorreactor.

Y finalmente la determinación del superficie específica BET propuesta por Brunauer Emmett y Teller donde se determina la superficie específica con medición de porosidad aplicando la ecuación BET, para conocer la región donde será adsorbida y la cantidad de contaminantes en este caso metálico (Alonso, 2016. s.n). El análisis BET ofrece una evaluación única y precisa del área superficial de los materiales por medio de la adsorción de múltiples capas de nitrógeno, medida en función de la presión relativa utilizando un analizador totalmente automatizado. El método incluye evaluaciones del área externa y del área de los poros para determinar el área superficial específica global en m²/g, lo que proporciona información crucial para estudiar los efectos de la

porosidad superficial y el tamaño de las partículas en muchas aplicaciones (Walton K. y Snurr R., 2007, p.2).

Tabla N°1: Antecedentes de trabajos aplicando carbón activado para la remoción de metales pesados

Autor	Material precursor	Método de activación		Parámetros	Isotermas	Métodos de caracterización
		Física	Química			
Daifullah et al., 2004	Cáscara de arroz	Tiempo de impregnación 1 h.	H ₃ PO ₄	T°= 700°C Tamaño de partícula= <0,125 mm pH de 6,5	Langmuir y Freundlich	FTIR
Li et al., 2019	Lodo	Tiempo de impregnación 4 h.	HNO ₃	T°= 500°C Tamaño de partícula= 9mm pH de 3	Langmuir y Freundlich	BET
Liu et al., 2020´ +	-	Tiempo de impregnación 2h.	FeCl ₃	T°= 300°C pH de 5	Isoterma de desorción de nitrógeno	FTIR, MEB
Cao et al., 2019	Jacinto de agua Común	Tiempo de impregnación 1 h.	KOH	T°= 800°C Tamaño de partícula= 0,45 µm pH de 4,16	Langmuir y Freundlich	SEM, TEM, BET

Lo et al., 2012	Bambú	Tiempo de impregnación 1 h.	Agua desionizada	T°= 800°C Tamaño de partícula= 180–150m pH de 5,81	Langmuir	BET
Baccar et al., 2009	Aceitunas tunecinas	Tiempo de impregnación 2h.	H3PO4	T°= 650°C Tamaño de partícula= <1.5 mm pH de 7	Isoterma de adsorción de nitrógeno	BET, SEM. FTIR
Tsibranska, I., y Hristova, E. (2010)	Huesos de albaricoque	Tiempo de impregnación 1 h y 30min.	HCl	Tamaño de partícula= 2–2.5 mm pH de 5	Langmuir	FTIR
Wan et al., 2017	Madera	Tiempo de impregnación 4 h.	-	T°= 300°C Tamaño de partícula= 0,25 mm pH de 6,38	-	BET

Saifuddin M. y Kumaran P., 2005	Cáscara de palma aceitera	Tiempo de impregnación 1 h y 30 min.	NaCl	T°= 110°C Tamaño de partícula= 100 ~ 150 µm. pH de 5	Langmuir	FTIR, BET
Sun-Kou et al., 2014	Semilla de aguaje	Tiempo de impregnación 4 h.	H3PO4	T°= 600 °C pH de 4	Langmuir, Freundlich y Redlich Peterson	MEB, BET
Kharrazi et al., 2020	desechos de olmo	Tiempo de impregnación 24 h.	KOH	T°= 800 °C pH de 6-7	Langmuir y Freundlich	SEM, FTIR
Mouni et al., 2011	huesos de ciruela	Tiempo de impregnación 2 – 180 min.	-----	T°= 650 °C pH de 6	Langmuir	BET

Pap et al., 2017	hueso de albaricoque	Tiempo de impregnación 30 min	H ₃ PO ₄	T°= 500 °C pH de 6	Langmuir	BET, FTIR
Bohli et al., 2015	huesos de aceituna	Tiempo de impregnación 2.5 h.	H ₃ PO ₄	pH de 5	Langmuir y Freundlich	SEM, FTIR
Kyzas et al., 2019	cáscaras de patata	Tiempo de impregnación 2 h.	H ₃ PO ₄	T°= 600 °C pH de 6	Langmuir	FTIR

Elaboración propia

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo aplicada; de acuerdo con Ceroni M., (2010, p.1) la investigación aplicada nos lleva a saber los conocimientos básicos importantes acerca de un tema en específico. Este tipo de investigación solo toma en cuenta investigaciones que estudian teorías científicas previamente validadas, para la solución de problemas prácticos y el control de situaciones de la vida cotidiana (Cordero Z., 2009, p.7).

Siendo aplicado en el presente estudio, ya que, se ahonda acerca de la contaminación del agua por metales pesados, buscando la solución en la técnica de remediación de carbón activado.

3.1.2. Diseño de la investigación

Asimismo, el diseño del estudio es de temática narrativa cualitativa; narrativo porque es un esquema de investigación e intervención para contar una historia que ayuda a resolver cuestiones poco claras, se utiliza con el propósito de evaluar una secuencia de eventos (Malhotra, 2004, p.80); y el diseño temático, centrándose en un tema, evento o fenómenos, según Mertens (2010).

Y es utilizado este diseño debido a que se recopila información de las experiencias de investigadores que utilizan el carbón activado empleando diversos materiales precursores o sustancias químicas; de manera que se pueda analizar los resultados y aspectos relevantes de la adsorción de metales pesados.

3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización

La tabla N°2 presenta las categorías y sub categorías que serán analizadas en este estudio; se clasificará de acuerdo con metas específicos y problemas específicos; adsorción de metales pesados en aguas contaminada mediante el uso de carbón activado y el uso del carbón activado para la adsorción de

metales pesados, así como de métodos de activación, parámetros de influencia y métodos de caracterización descritos en los diversos artículos de investigación recopilados para esta revisión.

Tabla N°2 Matriz de categorización apriorística

Problemas Específicos	Objetivo Específico	Categorías	Sub Categorías	Criterio 1	Criterio 2
¿Cuáles son los métodos de activación en la elaboración del carbón activado para la adsorción de metales pesados?	Identificar los métodos de activación en la elaboración del carbón activado para la adsorción de metales pesados.	Métodos de activación (Linares A., y Cazorla D., 2013, p.156).	-Químico (Labrada et al., 2011, p.261). -Físico (Gomez, 2010, p.2).	De acuerdo al tipo de proceso (Alvares et al, 2016, p.1).	De acuerdo a la aplicación de reactivo químico o carbonización (Rivas et al., 2006, p.4).
¿Cómo identifica los parámetros que influyen en la adsorción de metales pesados usando carbón activo?	Indicar cuáles son los parámetros influyen en la adsorción de metales pesados.	Parámetros de la absorción. (Walton K. y Snurr R., 2007, p.2)	-Temperatura -Tamaño de partícula -Agitación -pH (Walton K. y Snurr R., 2007, p.2)	De acuerdo al rango de medición (Cha et al., 2016, p.3).	De acuerdo al límite de detección (Cha et al., 2016, p.3).
¿Cuáles son los métodos de caracterización del carbón activado para la adsorción de metales pesados?	Identificar los métodos de caracterización del carbón activado para la adsorción de metales pesados.	Métodos de caracterización (Ullah R., y Muhammad S., 2020, p.2).	-FTIR (Jaliya et al., 2020, p.284). -BET (Alonso, 2016. s.n). -SEM (Wibawa et al., 2011, p.2).	De acuerdo el tipo de material empleado (Vidal, 2003, p.170)	Determina el tipo de estructura (Vidal, 2003, p.170)

Elaboración propia

3.3. Escenario de estudio

Este estudio no tiene un escenario de investigación porque no existe un entorno físico en el que se realizó el estudio.

Se consideró como escenario a todas las investigaciones obtenidas de revistas indexadas que absorban el problema de la contaminación por metales pesados en agua como tema principal, para el desarrollo del carbón activado y la adsorción de estos metales.

Por ello, se señala que el escenario de estudio donde se realizaron las investigaciones revisadas corresponde a las fuentes hídricas, específicamente contaminadas con metales pesados (Pb, As, Cd, Hg, entre otros) a causa de fuentes antropogénicas; las cuales traen consigo daños a la salud humana y al medio ambiente; para lo cual se emplea el carbón activado.

3.4. Participantes

Los documentos, informes, libros, artículos e investigaciones que hacen referencia y contribuyan a la formulación de los objetivos planteados se consideran herramientas primarias. Las investigaciones deben obtenerse de fuentes como: Scielo, Science Direct y Scopus.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de análisis documental, es considerada como una técnica indirecta y es un conjunto de operaciones donde se busca describir los documentos de forma unificada sistemática para facilitar su recuperación; donde se extrae la información de la fuente original y se busca tener información como: la descripción bibliográfica, la clasificación, indización, entre otros (Dulzaides M. y Molina A., 2004, p.3).

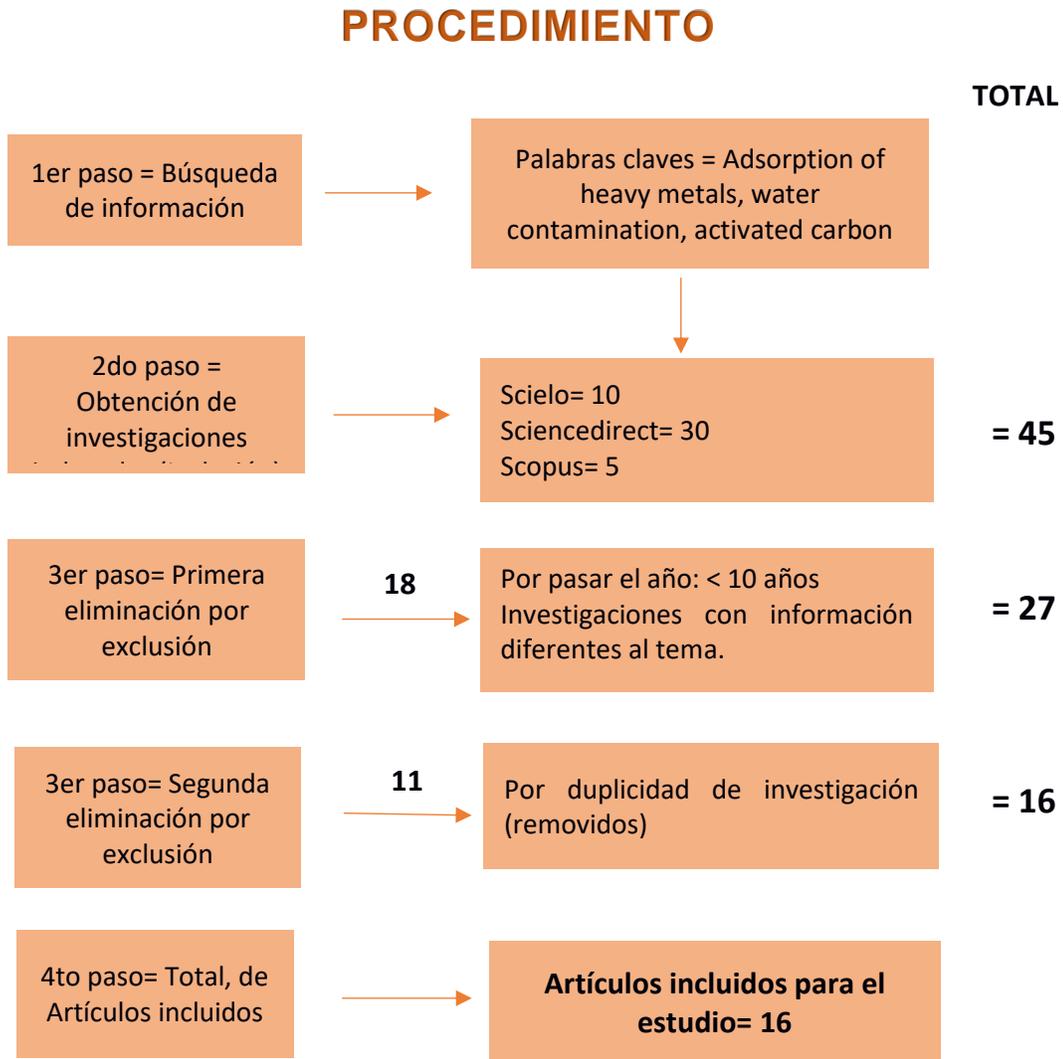
En este estudio, la recogida de datos e información se ha desarrollado a través de una herramienta clave llamada "ficha de análisis de contenido" (Anexo N°1), de la que se extrajo la información más relevantes estudio para su uso, como por ejemplo: el número de páginas, el año y lugar de publicación, 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

En el grafico N° 1 se presenta el diagrama metodológico de elaboración del trabajo de investigación que consiste en la clasificación de diversas investigaciones que traten acerca de la contaminación del agua por metales pesados, aplicando la minimización al carbón activado; donde se pasaron por 4 pasos, en los cuales están el proceso de búsqueda de información (recolección de datos e inclusión), dos procesos de exclusión y por último el total de artículos incluidos.

Gráfico N°1: Diagrama metodológico de elaboración del trabajo de investigación



Elaboración propia

3.7. Rigor científico

Los criterios de rigor científico, aplicados a la investigación cualitativa, ayudan a establecer orientaciones teóricas, metodológicas y procedimentales, encontrándose así respuestas a los problemas planteados. Es por ello que este trabajo tiene una coherencia razonable ya que la información ha sido extraída de diferentes fuentes indexadas debido al sustento que presenta con

los siguientes rigores científicos:

La dependencia: Implica la estabilidad de los datos, un proceso de seguimiento de dichos datos a través de una descripción de las condiciones en las que fueron generados, las fuentes y verificación de los participantes, los factores clave para la solución del problema (Noreña, et al., 2012, p. 267). por lo tanto, se establecieron criterios dependientes debido a la consistencia de la información utilizando métodos y estrategias para comparar resultados.

La credibilidad: Se trata de un conjunto de datos auténticos presentado por autores que han vivido el fenómeno a estudiado y que buscan generar confianza en la investigación utilizando métodos específicos (Domínguez y Briceño, 2013, p. 120). Este criterio es aplicado en los autores que emplean en sus investigaciones el carbón activado en medio acuoso y de los cuales tomamos como base para comparar metodologías y resultados.

Transferencia: Extender resultados e hipótesis, transferir los resultados identificados a otros estudios, teniendo en cuenta la descripción detallada del contexto en el que se generaron los resultados (Erazo, M., 2011, p.128-129). Por esta razón, para el presente estudio, cumple con el criterio de transferencia, ya que el investigador se compromete a brindar información suficiente en el contexto en estudio para compararlo con otros estudios, y puede ser aplicado en otros contextos o en futuras investigaciones

Confirmabilidad: El criterio de confirmabilidad o reflexividad; las investigaciones que apliquen este criterio deben garantizar la autenticidad de las descripciones de los participantes; este criterio explicaría el papel de este autor en el trabajo de investigación (Noreña-Peña A., et al., 2012, p.4). Y esto se evidencia en la presente investigación en cada cita que se hace al autor, , año y página desde donde se hizo el aporte.

3.8. Método de análisis de datos

El análisis de la información es ejecutado por las categorías que se obtienen de los problemas específicos y objetivos específicos, siendo 3 las categorías: Método de activación, parámetros y metodologías de caracterización; estas

serán evaluadas de acuerdo a las sub categorías (Químico, físico, Temperatura, tamaño de partícula, pH, FTIR, BET y SEM) y el uso de carbón activado para la adsorción de metales pesados.

Luego de recolectar los datos de acuerdo al procedimiento descrito en el punto 3.4 se agrupó y analizó la información fue agrupada y analizada de manera coherente y los criterios para un mayor análisis de la información se realizaron una línea la búsqueda de las categorías, subcategorías y criterios definidos.

Uno de los criterios fue agrupar los antecedentes y el método de acuerdo con las similitudes que tienen con el carbón activado aplicado en medio acuoso.

Las ventajas y desventajas de los artículos más antiguos se estudian con los artículos más nuevos debido a la complejidad de la información.

Se han estudiado las similitudes y diferencias en los tipos de método y propiedades aplicables a la adsorción de carbón activado en metales pesados.

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: 2010, 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 al análisis del uso del carbón activado para la adsorción de metales pesados se tiene que; los métodos de activación se dividen en dos tipos: físicos y químicos.

Tal como se puede observar en la Tabla N°3, en el cual se describe los métodos de activación en la elaboración del carbón activado para la adsorción de metales pesados en agua.

Tabla N°3: Clasificación de métodos de activación

Autor	Método de Activación		Temp.	Material precursor
	Físico	Químico		
Kharrazi et al., 2020	24horas	KOH	800°C	desechos de olmo
Li et al., 2019	4 h	HNO3	500°C	Lodo
Daifullah et al., 2004	1 h.	H3PO4	700°C	Cáscara de arroz
Cao et al., 2019	1 h	KOH	800°C	Eichhornia crassipes de raíz larga
Lo et al., 2012	1 h	Agua desionizada	800°C	Bambú
Baccar et al., 2009	2h	H3PO4	650°C	Aceitunas tunecinas

Tsibranska, I., y Hristova, E. (2010)	1 h y 30min.	HCl	-	Huesos de albaricoque
Wan et al., 2017	4 h.	-	300°C	Madera
Mouni et al., 2011	2–180 min.	H ₂ SO ₄	650°C	huesos de ciruela
Pap et al., 2017	30 min.	H ₃ PO ₄	500°C	hueso de albaricoque
Bohli et al., 2015	2.5 h.	H ₃ PO ₄	600°C	huesos de aceituna
Guo et al., 2010	-	-	700°C	lecho de aves de corral
Parlayici S. y Pehlivan E., 2017	4h.	H ₃ PO ₄	500°C	hueso de ciruela (Prunus nigra)
Kaddour et al., 2013	2h.	H ₃ PO ₄	600°C	hueso de albaricoque
Kyzas et al., 2019	2h.	H ₃ PO ₄	600°C	cáscaras de patata
Treviño et al., 2013	4h.	H ₃ PO ₄	800°C	pepita de ciruela

Elaboración propia

Los resultados obtenidos en la Tabla N°3 nos indican que, respecto a los métodos de activación físicos y químicos, el método más empleado es la unión de los dos métodos; Prauchner et al., (2016, p.1) afirma que los mejores resultados se obtienen mediante el uso de la combinación de una activación química seguido de la activación física, debido a que mejora las propiedades de adsorción del carbón ya que los enlaces de la moléculas son estables y las altas temperaturas aumentarían el volumen de los microsporos por ende tendrían mejor adsorción en comparación con el método solo físico y químico 23%.

Realizando una comparación de 16 investigaciones se obtuvo que 8 utilizan al ácido fosfórico (H_3PO_4) como reactivo químico del método de activación que varía en tiempos de contacto de 1 a 4 horas presentando como tiempo promedio las 3h. y con temperaturas promedio de 600 °C como lo indican los autores (Daifullah et al., 2004), (Baccar et al., 2009), (Pap et al., 2017), (Bohli et al., 2015), (Parlayici S. y Pehlivan E., 2017), (Kaddour et al., 2013), (Kyzas et al., 2019), (Kaddour et al., 2013), (Kyzas et al., 2019), (Treviño et al., 2013).

Con respecto a los métodos de activación en la elaboración del carbón activado visualizados en la Tabla N°4, se tiene que las investigaciones de (Kyzas et al., 2019) y (Kaddour et al., 2013) utilizan como activación química al ácido fosfórico (H_3PO_4) con tiempos de 2 horas ambas; estos resultados son apoyados con (Baccar et al., 2009) en la Tabla N°1 de antecedentes, quien también utiliza al ácido fosfórico (H_3PO_4) como método de activación química con un tiempo de impregnación de 2 horas para el método de activación física.

Por otro lado, (Kharrazi et al., 2020) señala que para un mejor método de activación química se utiliza el Hidróxido de potasio (KOH) con una temperatura de 800°C; esta información es apoyada por (Cao et al., 2019) en la Tabla N°1 de antecedentes, quien presentando en su investigación como método de activación química al Hidróxido de potasio (KOH) con una temperatura también de 800°C.

Asimismo, se realizó una comparación de los parámetros influyentes en la adsorción de metales pesados donde se analizan en la tabla N°4; de acuerdo a 16 investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional.

Tabla N°4: Parámetros influyentes en la adsorción

Autor	Parámetros de la adsorción				% de remoción o capacidad de adsorción
	T°	Tamaño de partícula	Agitación	pH	
Kharrazi et al., 2020	800°C	2 mm	250 RPM	pH 6-7	Capacidad máxima de adsorción: Pb(II)= 232,56 mg/g Cr(VI)= 113,63 mg/g
Li et al., 2019	500°C	9mm	3000 RPM	pH 3	% remoción: 99% de Cu 43% de Zn 35% de Al
Daifullah et al., 2004	700°C	<0,125 mm	-	pH 6,5	ácido húmico
Cao et al., 2019	800°C	0,45 µm	175 RPM	pH 4,16	Capacidad de adsorción pb2+= 1,34mmol/g Cd2+= 1,22mmol/g Cu2+= 1,07mmol/g Ni2+= 0,97mmol/g Zn2+= 0,93mmol/g
Lo et al., 2012	800°C	180–150 mm	-	pH 5,81	% remoción: Pb(II)= 99,9%, Cu(II)= 100%, Cr(III)= 100%, Cd(II)= 96,4%

Baccar et al., 2009	650°C	<1.5 mm	-	pH 7	Capacidad de adsorción Cu 2+ = 37,9 mg/g
Tsibranska, I., y Hristova, E. (2010)	-	2–2.5 mm	-	pH 5	-
Wan et al., 2017	300°C	0,25 mm	-	pH 6,38	-
Mouni et al., 2011	650°C	250-125 µm	150 RPM	pH 6	Capacidad de adsorción Pb (II)= 21,38 mg/g % remoción: Pb(II)= 86,7%
Pap et al., 2017	500°C	200 mm	140 RPM	pH 6	Capacidad de adsorción Pb= 171,56 mg/g Cd= 111,78 mg/g Ni= 62,19 mg/g
Bohli et al., 2015	-	0.375 mm	400 RPM	pH 5	Capacidad de adsorción Pb= 147.526 mg/g Cd= 57,098 mg/g Cu= 17,665 mg/g
Guo et al., 2010	700°C	0.88 mm	4000 RPM	pH 4,8	404 mmol de Cummol de Pb 2+ 236 mmol de Zn 2+ y 250–300 mmol de Cd 2+

Parlayici S. y Pehlivan E., 2017	500°C	4 mm	-	pH 6	Capacidad de adsorción Cu(II)= 48,31 mg/g Pb(II)= 80,65 mg/g
Kaddour et al., 2013	-	0,3 ppm	100 RPM	pH 9	% remoción: Co= 50%
Kyzas et al., 2019	600°C	0.15 mm	160 RPM	pH 6	Capacidad de adsorción Pb(II)= 167 mg/g
Treviño et al., 2013	800°C	1 mm	200 RPM	pH 5	% remoción: Pb2+= 100%

Elaboración propia

Los resultados obtenidos en la Tabla N°4 se tiene que la importancia del pH y el tamaño de partícula son esenciales para obtener buenos resultados de la capacidad de adsorción o porcentaje de remoción de los metales pesados en agua; siendo el 100% de los investigadores analizados quienes corroboran lo mencionado; así como Bejarano et al., (2016, p.7) quien menciona en su estudio que las interacciones entre los niveles tanto de pH como de tamaño de partícula influyen significativamente en la adsorción de metales pesados en el agua.

El 90% (14 de 16 investigaciones) de los autores que se encuentra ubicados en la Tabla N°5 obtuvieron el pH en rango de (4-6), esto quiere decir que la adsorción del carbón activado llega al equilibrio en pH ácido y solo el 10% (2 de 16 investigaciones) de los autores presentan rangos de pH que va del (7-9) que quiere decir que llegan al equilibrio en un pH básico.

Los autores que presentan niveles de pH básico de entre 7-9 son (Kaddour et al., 2013) y (Baccar et al., 2009).

Por el contrario, quienes presentan un pH ácido en rangos de 4-6 son: (Kharrazi et al.,

2020), (Li et al., 2019), (Daifullah et al., 2004), (Cao et al., 2019), (Lo et al., 2012), (Tsibranska, I., y Hristova, E. (2010)), (Wan et al., 2017), (Mouni et al., 2011), (Pap et al., 2017), (Bohli et al., 2015), (Guo et al., 2010), (Parlayici S. y Pehlivan E., 2017), (Kyzas et al., 2019), (Treviño et al., 2013).

Lo et al., (2012) señala que aplicando un pH de 5,81 (ácido) en el carbón activado se obtienen óptimos resultados de diversos metales pesados como: Pb(II)= 99,9%, Cu(II)= 100%, Cr(III)= 100%, Cd(II)= 96,4%; estos resultados son respaldados por Kyzas et al., (2019) quien obtuvo un porcentaje de remoción del 100% para Pb²⁺, aplicando un pH de 5; así como Mouni et al., (2011) quien obtuvo en su investigación un porcentaje de remoción del 86,7% para Pb(II) aplicando un pH 6

Los métodos de caracterización del carbón activado son importantes para determinar la eficacia de la adsorción del carbón activado aplicados en el agua; por ello, son caracterizadas con diferentes equipos y técnicas, las cuales son explicadas en la tabla N°5.

Tabla N°5: Métodos de caracterización

Autor	Caracterización	
	Física (SEM, BET)	Química (FTIR)
Kharrazi et al., 2020	SEM	FTIR
Li et al., 2019	BET	FTIR
Daifullah et al., 2004	-	FTIR
Cao et al., 2019	SEM, BET	-
Lo et al., 2012	BET	-
Baccar et al., 2009	BET, SEM	FTIR

Tsibranska, I., y Hristova, E. (2010)	-	FTIR
Wan et al., 2017	BET	-
Mouni et al., 2011	-	FTIR
Pap et al., 2017	BET	FTIR
Bohli et al., 2015	SEM	FTIR
Guo et al., 2010	SEM	FTIR
Parlayici S. y Pehlivan E., 2017	SEM	FTIR
Kaddour et al., 2013	-	FTIR
Kyzas et al., 2019	-	FTIR
Treviño et al., 2013	SEM	-

Elaboración propia

Los resultados obtenidos en la Tabla N°5 para determinar la caracterización del biochar en el medio acuoso nos muestra que el 80% utilizaron FTIR, debido a que la espectroscopia FTIR es uno de los mejores métodos para identificar la estructura molecular, como grupo funcional y enlace, cualitativamente de acuerdo con las frecuencias características (Mallakpour S. y Azimi F., 2020, p.4). Esta técnica se utiliza para determinar la presencia (y concentración) de enlaces o grupos funcionales activos en muestras orgánicas o inorgánicas en forma cristalina, microcristalina o amorfa y de acuerdo a ello determina los cambios de los grupos funcionales en el momento de la adsorción del biochar (Barhoum et al., 2018, p.2).

El microscopio electrónico de barrido (SEM) obtiene las características (área, promedio y desviación estándar) del carbón activado en las imágenes SEM, la morfología microscópica de la capa de carbón activado para determinar la porosidad y con ello obtener mejor adsorción de los metales; a pesar de ser aplicado en menor cantidad por los investigadores es por ello la importancia de los investigadores señalados en la

Tabla N°5 por aplicar este análisis; siendo el 20% de los investigadores que lo aplican; entre ellos se encuentran: (Treviño et al., 2013), (Parlayici S. y Pehlivan E., 2017), (Guo et al., 2010), (Bohli et al., 2015), (Baccar et al., 2009), (Cao et al., 2019), (Kharrazi et al., 2020).

V. CONCLUSIONES

Se concluye respecto al uso del carbón activado para la adsorción de metales pesados que presenta grandes propiedades de adsorción hacia metales pesados así mismo existen investigadores que han aplicado en sus investigaciones diferentes métodos de activación y métodos de caracterización; los cuales se explican a continuación:

- Respecto a la identificación de los métodos de activación en la elaboración del carbón activado para la adsorción de metales pesados se obtuvo que tanto los métodos de activación física con la activación química son importantes en igual medida para obtener mejores resultados de adsorción; siendo el ácido fosfórico (H_3PO_4) el reactivo químico más empleado de acuerdo a la comparación de diversas investigaciones, con un tiempo de contacto promedio de 3 horas.
- De acuerdo con los parámetros que influyen en la adsorción de metales pesados se obtuvo que los parámetros más influyentes son el pH y el tamaño de partícula del carbón activado; siendo un 90% de los investigadores quienes aplican un pH ácido que varía de entre 4-6
- Finalmente, los métodos de caracterización para el carbón activado que más emplean los investigadores es el FTIR en un 80% y posteriormente el SEM en un 20%; siendo estos determinantes para poder obtener un mejor producto final de carbón activado para una mejor adsorción de metales pesados del agua.

VI. RECOMENDACIONES

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

- Profundizar en otras metodologías para la activación del carbón que no sean tan conocidas o aplicadas a nivel nacional e internacional y realizar comparaciones para determinar la viabilidad o eficiencia en la adsorción de diversos contaminantes.
- Se recomienda trabajar con mayores rangos de pH y tamaño de partícula para mejorar el conocimiento de la adsorción de metales pesados.
- Utilizar metodologías no convencionales de caracterización del carbón activado para determinar óptimas eficiencias en la adsorción de metales pesados en medio acuoso.

REFERENCIAS

1. ABBAS, Moussa. Modeling of adsorption isotherms of heavy metals onto Apricot stone activated carbon: Two-parameter models and equations allowing determination of thermodynamic parameters. [En línea] Materials Today: Proceedings, 2020. [fecha de consulta: 15 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.320>
2. ALVAREZ, Miguel.[et al].Desarrollo y aplicaciones de materiales avanzados de carbón. [en línea]. Universidad internacional de andalucia. Sevilla. 2014. [fecha de consulta: 15 de enero del 2021]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/396916617/Carbon>
3. BACCAR, R., et al. Preparation of activated carbon from Tunisian olive-waste cakes and its application for adsorption of heavy metal ions. [en línea]. Journal of Hazardous Materials, 2009, vol. 162, no 2-3, p. 1522-1529.
4. BARHOUM, Ahmed, et al. Physicochemical characterization of nanomaterials: Polymorph, composition, wettability, and thermal stability. [en línea]. En Emerging Applications of Nanoparticles and Architecture Nanostructures. Elsevier, 2018. p. 255-278. [fecha de consulta 26 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-51254-1.00009-9>
5. BEJARANO, Ana, et al. Parameters influencing adsorption of Paraburkholderia phytofirmans PsJN onto bentonite, silica and talc for microbial inoculants. [en línea]. Applied Clay Science, 2017, vol. 141, p. 138-145. [fecha de consulta 26 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.02.022>
6. BOHLI, Thouraya, et al. Evaluation of an activated carbon from olive stones used as an adsorbent for heavy metal removal from aqueous phases. [en línea]. Comptes rendus chimie, 2015, vol. 18, no 1, p. 88-99. [fecha de consulta 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.crci.2014.05.009>
7. BUVANESWARI, K.; SINGANAN, M. Review on scanning electron microscope analysis and adsorption properties of different activated carbon materials. [en línea]. Materials Today: Proceedings, 2020. [fecha de consulta 14 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.426>

8. CAO, Fangjun, et al. Study on the adsorption performance and competitive mechanism for heavy metal contaminants removal using novel multi-pore activated carbons derived from recyclable long-root Eichhornia crassipes. [en línea]. Bioresource technology, 2019, vol. 276, p. 211-218. [fecha de consulta: 19 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.007>
9. CERONI GALLOSO, Mario. ¿Investigación básica, aplicada o sólo investigación? [en línea]. Revista de la Sociedad Química del Perú, 2010, vol. 76, no 1, p. 5-6. [fecha de consulta: 29 de marzo del 2021]. ISSN 1810-634X
10. CHA, Jin Sun, et al. Production and utilization of biochar: A review. [en línea]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2016, vol. 40, p. 1-15. [fecha de consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.06.002>.
11. CORDERO, Zoila Rosa Vargas. La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. [en línea]. Revista educación, 2009, vol. 33, no 1, p. 155-165. [fecha de consulta: 29 de marzo del 2021]. ISSN: 0379-7082, 2009
12. DAIFULLAH, A. A. M.; GIRGIS, B. S.; GAD, H. M. H. A study of the factors affecting the removal of humic acid by activated carbon prepared from biomass material. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. [en línea]. 2004, vol. 235, no 1-3, p. 1-10. [fecha de consulta: 15 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2003.12.020>
13. Domínguez, M. y Briceño, I. Aspectos éticos en la investigación cualitativa Enf Neurol. Revista de Enfermería Neurológica. (Mex) [en línea] 12(3): 118-121, 2013. p.120. [fecha de consulta: 29 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/enfneu/ene-2013/ene133b.pdf> ISSN 1870-6592
14. DULZAIDES IGLESIAS, María Elinor; MOLINA GÓMEZ, Ana María. Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso. [en línea]. Acimed, 2004, vol. 12, no 2, p. 1-1. [fecha de consulta: 29 de marzo del 2021]. ISSN 1024-9435
15. DUNCAN, Albert Ebo; DE VRIES, Nanne; NYARKO, Kwabena Biritwum. Assessment of heavy metal pollution in the main Pra River and its tributaries in the Pra Basin of Ghana. [En línea] Environmental nanotechnology, monitoring & management, 2018, vol. 10, p. 264-271. [fecha de consulta: 15 de enero del 2021].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2018.06.003>

16. FOO, Keng Yuen; HAMEED, Bassim H. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. [En línea] *Cemical engineering journal*, 2010, vol. 156, no 1, p. 2-10. [fecha de consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-46139-9.00009-8>
17. GRANDE, J. A., et al. The Negro River (Ancash-Peru): A unique case of water pollution, three environmental scenarios and an unresolved issue. [En línea] *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 648, p. 398-407. [fecha de consulta: 15 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.068>
18. GOMEZ, Alexander. [et al]. Carbon activado de cuesco de palma. [en línea] Universidad nacional de colombia .2010. [en línea]. Taylor y Francis. London. 2005. [fecha de consulta: 19 de enero del 2021]. Disponible en: <https://www.unikassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-820-0.volltext.frei.pdf>
ISBN: 97889958-820-0
19. GUO, Mingxin; QIU, Guannan; SONG, Weiping. Poultry litter-based activated carbon for removing heavy metal ions in water. [En línea] *Waste Management*, 2010, vol. 30, no 2, p. 308-315. [fecha de consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.08.010>
20. GUPTA, Vinod Kumar; NAYAK, Arunima; AGARWAL, Shilpi. Bioadsorbents for remediation of heavy metals: current status and their future prospects. [En línea] *Environmental engineering research*, 2015, vol. 20, no 1, p. 1-18. [fecha de consulta: 13 de enero del 2021].
21. HARINDINTWALI, Jean Damascene, et al. Biochar-bacteria-plant partnerships: Eco-solutions for tackling heavy metal pollution. [En línea] *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2020, vol. 204, p. 111020. [fecha de consulta: 15 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111020>
22. HE, Xianglei, et al. Enhanced adsorption capacity of sulfadiazine on tea waste biochar from aqueous solutions by the two-step sintering method without corrosive activator. [En línea]. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 9, no 1, p. 104898. [fecha de consulta: 18 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104898>

23. HOANG, Hong-Giang, et al. Heavy metal contamination trends in surface water and sediments of a river in a highly-industrialized region. [En línea]. Environmental Technology & Innovation, 2020, vol. 20, p. 101043. [fecha de consulta: 29 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101043>
24. HOU, Qiaoqiao, et al. Total concentrations and sources of heavy metal pollution in global river and lake water bodies from 1972 to 2017. [En línea] Global Ecology and Conservation, 2020, vol. 22, p. e00925. [fecha de consulta: 15 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00925>
25. JELLALI, Salah, et al. Biomass-derived chars used as adsorbents for liquid and gaseous effluents treatment. [En línea]. En Char and Carbon Materials Derived from Biomass. Elsevier, 2019. p. 229-290. [fecha de consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814893-8.00007-9>
26. JI, Hongbing, et al. Distribution and risk assessment of heavy metals in overlying water, porewater, and sediments of Yongding River in a coal mine brownfield. [En línea]. Journal of Soils and Sediments, 2018, vol. 18, no 2, p. 624-639. [fecha de consulta: 29 de marzo del 2021].
27. KADDOUR, Samia; ABBAS, Moussa; TRARI, Mohamed. Kinetic and equilibrium studies of cobalt adsorption on apricot stone activated carbon (ASAC). [En línea]. Current Opinion in Biotechnology, 2013, no 24, p. S67. [fecha de consulta: 26 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.05.181>
28. KHARRAZI, Seyyede Maryam, et al. A novel post-modification of powdered activated carbon prepared from lignocellulosic waste through thermal tension treatment to enhance the porosity and heavy metals adsorption. [En línea]. Powder Technology, 2020, vol. 366, p. 358-368. [fecha de consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.01.065>
29. KYZAS, George Z., et al. Nanobubbles effect on heavy metal ions adsorption by activated carbon. [En línea]. Chemical Engineering Journal, 2019, vol. 356, p. 91-97. [fecha de consulta: 26 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.09.019>
30. KUNOWSKY, Mirko, et al. Impact of the carbonisation temperature on the activation of carbon fibres and their application for hydrogen storage. [En línea]. International

- Journal of Hydrogen Energy, 2008, vol. 33, no 12, p. 3091-3095. [fecha de consulta: 19 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.01.036>
31. KHARRAZI, Seyyede Maryam, et al. A novel post-modification of powdered activated carbon prepared from lignocellulosic waste through thermal tension treatment to enhance the porosity and heavy metals adsorption. [En línea] Powder Technology, 2020, vol. 366, p. 358-368. [fecha de consulta: 15 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.09.050>
 32. KUMAR, Neeraj; FOSSO-KANKEU, Elvis; RAY, Suprakas Sinha. Achieving controllable MoS₂ nanostructures with increased interlayer spacing for efficient removal of Pb (II) from aquatic systems. [En línea] ACS applied materials & interfaces, 2019, vol. 11, no 21, p. 19141-19155. [fecha de consulta: 25 de enero del 2021] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123996>
 33. Labrada-vázquez, benigno; sánchez del campo-lafita, ana. efecto de la lixiviación como tratamiento previo en la obtención de carbón activo de concha de coco por el método de activación física. [En línea]. Tecnología Química, 2011, vol. 31, no 3, p. 259-271. [fecha de consulta: 19 de enero del 2021]. ISSN 2224-6185
 34. LANGMUIR, Irving. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. [En línea]. Journal of the American Chemical society, 1918, vol. 40, no 9, p. 1361-1403. [fecha de consulta: 25 de enero del 2021]
 35. Li, Y., Zhou, Q., Ren, B., Luo, J., Yuan, J., Ding, X., Bian, H., Yao, X., 2019. Reviews of environmental contamination and toxicology. In: de Voogt, Pim (Ed.), Trends and Health Risks of Dissolved Heavy Metal Pollution in Global River and Lake Water from 1970 To 2017. [En línea]. Springer, Cham, pp. 1–24. [fecha de consulta: 29 de marzo del 2021]. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1007/398_2019_27.
 36. LI, Sha, et al. Profiling multiple heavy metal contamination and bacterial communities surrounding an iron tailing pond in Northwest China. [En línea] Science of The Total Environment, 2021, vol. 752, p. 141827. [fecha de consulta: 18 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141827>
 37. LI, Loretta Y.; GONG, XuDong; ABIDA, Otman. Waste-to-resources: Exploratory surface modification of sludge-based activated carbon by nitric acid for heavy metal adsorption. [En línea]. Waste Management, 2019, vol. 87, p. 375-386. . [fecha de

consulta: 19 de enero del 2021]. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.019>

38. Linares-Solano, A., & Cazorla-Amorós, D. (2013). Activated Carbon Fibers. Handbook of Advanced Ceramics. [En línea]. 155–169. [fecha de consulta: 19 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385469-8.00010-1>
39. LO, Sheng-Fong, et al. Adsorption capacity and removal efficiency of heavy metal ions by Moso and Ma bamboo activated carbons. [En línea] Chemical Engineering Research and Design, 2012, vol. 90, no 9, p. 1397-1406. [fecha de consulta: 19 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2011.11.020>
40. LONG, Bui Ta. Inverse algorithm for Streeter–Phelps equation in water pollution control problem. [En línea] Mathematics and Computers in Simulation, 2020, vol. 171, p. 119-126. [fecha de consulta: 12 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2019.12.005>
41. LUNA, Donaciano, et al. Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco. [En línea] ContactoS, 2007, vol. 64, no 10, p. 39-48. [fecha de consulta: 15 de enero del 2021].
42. MALHOTRA, Naresh K. Investigación de mercados: un enfoque aplicado. Pearson educación, 2004. [fecha de consulta: 25 de enero del 2021].
43. MALLAKPOUR, Shadpour; AZIMI, Faezeh. Spectroscopic characterization techniques for layered double hydroxide polymer nanocomposites. [En línea] En Layered Double Hydroxide Polymer Nanocomposites. Woodhead Publishing, 2020. p. 231-280. [fecha de consulta: 26 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101903-0.00006-4>
44. MIKŠÍK, František, et al. Enhancing water adsorption capacity of acorn nutshell based activated carbon for adsorption thermal energy storage application. [En línea] Energy Reports, 2020, vol. 6, p. 255-263. [fecha de consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.038>
45. MOHANKUMAR,k, , V. HARIHARAN y PRASADA RAO.Heavy Metal Contamination in Groundwater around Industrial Estate vs Residential Areas in Coimbatore, India. [En línea] Pulmet. Biochemistry. Abril 2016 [fecha de consulta: 12 de enero del

- 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.7860/JCDR/2016/15943.7527>
46. MOUNI, Lotfi, et al. Adsorption of Pb (II) from aqueous solutions using activated carbon developed from Apricot stone. [En línea] Desalination, 2011, vol. 276, no 1-3, p. 148-153. [fecha de consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.03.038>
 47. NEJADSHAFIEE, Vajihe; ISLAMI, Mohammad Reza. Adsorption capacity of heavy metal ions using sultone-modified magnetic activated carbon as a bio-adsorbent. [En línea] Materials Science and Engineering: C, 2019, vol. 101, p. 42-52. [fecha de consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.03.081>
 48. NOREÑA-PEÑA, Ana, et al. Aplicabilidad de los criterios de rigor y éticos en la investigación cualitativa. [En línea]. Aquichan, 2012, vol. 12, no 3, p. 263-274. [fecha de consulta: 29 de marzo del 2021]. ISSN 1657-5997
 49. OSPINA-GUARÍN, Viviana M.; BUITRAGO-SIERRA, Robison; LÓPEZ-LÓPEZ, Diana P. Preparación y caracterización de carbón activado a partir de torta de higuera. [En línea] Tecnológicas, 2014, vol. 17, no 32, p. 75-84. [fecha de consulta: 18 de enero del 2021]. ISSN 0123-7799
 50. PAP, Sabolč, et al. Utilization of fruit processing industry waste as green activated carbon for the treatment of heavy metals and chlorophenols contaminated water. [En línea] Journal of Cleaner Production, 2017, vol. 162, p. 958-972. [fecha de consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.083>
 51. PARLAYICI, Şerife; PEHLIVAN, Erol. Removal of metals by Fe₃O₄ loaded activated carbon prepared from plum stone (Prunus nigra): kinetics and modelling study. [En línea] Powder technology, 2017, vol. 317, p. 23-30. [fecha de consulta: 26 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.04.021>
 52. PATTERSON, James J.; SMITH, Carl; BELLAMY, Jennifer. Understanding enabling capacities for managing the 'wicked problem' of nonpoint source water pollution in catchments: A conceptual framework. [En línea] Journal of Environmental Management, 2013, vol. 128, p. 441-452. [fecha de consulta: 12 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.05.033>
 53. PRAUCHNER, Marcos J.; SAPAG, Karim; RODRÍGUEZ-REINOSO, Francisco.

- Tailoring biomass-based activated carbon for CH₄ storage by combining chemical activation with H₃PO₄ or ZnCl₂ and physical activation with CO₂. [En línea] Carbon, 2016, vol. 110, p. 138-147. [fecha de consulta: 26 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2016.08.092>
54. PUNIA, Pinki, et al. Recent advances in synthesis, characterization, and applications of nanoparticles for contaminated water treatment-A review. [En línea] Ceramics International, 2020. [fecha de consulta: 15 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.09.050>
 55. Ray, S. S., Gusain, R., & Kumar, N. (2020). Adsorption equilibrium isotherms, kinetics and thermodynamics. [en línea]. Carbon Nanomaterial-Based Adsorbents for Water Purification, 101–118. [fecha de consulta 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821959-1.00005-2>
 56. RINGOT, Diana, et al. In vitro biosorption of ochratoxin A on the yeast industry by-products: comparison of isotherm models. [en línea]. Bioresource technology, 2007, vol. 98, no 9, p. 1812-1821. [fecha de consulta 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.06.015>
 57. RIVAS, F. J., et al. Adsorption of landfill leachates onto activated carbon: equilibrium and kinetics. [en línea]. Journal of hazardous materials, 2006, vol. 131, no 1-3, p. 170-178. [fecha de consulta 19 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.09.022>
 58. SAIFUDDIN M, Nomanbhay; KUMARAN, Palanisamy. Removal of heavy metal from industrial wastewater using chitosan coated oil palm shell charcoal. [en línea]. Electronic journal of Biotechnology, 2005, vol. 8, no 1, p. 43-53. [fecha de consulta 29 de marzo del 2021]. ISSN: 0717-3458
 59. SALDANA, Jully Pahola Calderon, et al. Metodología de la investigación científica en postgrado. Lulu. com, 2010. [fecha de consulta 25 de enero del 2021].
 60. SINGH, M [et al]. Heavy Metals Contamination in Water and their Hazardous Effect on Human Health-A Review [en línea]. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences Volume 5 Number 10(2016) [fecha de consulta 13 de enero del 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2016.510.082>. ISSN: 2319-7706

61. SIZMUR, Tom, et al. Biochar modification to enhance sorption of inorganics from water. [En línea] Bioresource Technology, 2017, vol. 246, p. 34-47. [fecha de consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.082>.
62. SUN-KOU, María del Rosario, et al. Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje. [En línea]. Revista de la sociedad Química del Perú, 2014, vol. 80, no 4, p. 225-236. [fecha de consulta: 29 de marzo del 2021]. ISSN 1810-634X
63. TOMNO, Rose M., et al. Heavy metal contamination of water, soil and vegetables in urban streams in Machakos municipality, Kenya. [En línea] Scientific African, 2020, vol. 9, p. e00539. [fecha de consulta: 13 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00539>
64. TREVIÑO-CORDERO, H., et al. Synthesis and adsorption properties of activated carbons from biomass of Prunus domestica and Jacaranda mimosifolia for the removal of heavy metals and dyes from water. [En línea] Industrial Crops and Products, 2013, vol. 42, p. 315-323. [fecha de consulta: 26 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.05.029>
65. TRUJILLO, Enmer, et al. Producción y caracterización química de biochar a partir de residuos orgánicos avícolas. [En línea] Revista de la Sociedad Química del Perú, 2019, vol. 85, no 4, p. 489-504. [fecha de consulta: 15 de enero del 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n4/2309-8740-rsqp-85-04-489.pdf>
66. ULLAH, Rahim; MUHAMMAD, Said. Heavy metals contamination in soils and plants along with the mafic-ultramafic complex (Ophiolites), Baluchistan, Pakistan: Evaluation for risk and phytoremediation potential. [En línea] Environmental Technology & Innovation, 2020, p. 100931. [fecha de consulta: 18 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100931>
67. VIDAL, Francisco Javier Rodríguez. Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. Ediciones Díaz de Santos, 2003. [fecha de consulta: 15 de enero del 2021]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=xDICgAAQBAJ&lpg=PA170&dq=estructura%20del%20carbon%20activado&hl=es&pg=PA170#v=onepage&q=estructura%20>

[del%20carbon%20activado &f=falseZ](#)

68. WAN, Jinzhong, et al. Remediation of organochlorine pesticides contaminated soils by surfactants enhanced washing combined with activated carbon selective adsorption. [En línea]. Pedosphere, 2017. [fecha de consulta: 19 de enero del 2021]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60328-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60328-X)
69. 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: 25 de enero de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141672>
70. WALTON, Krista S.; SNURR, Randall Q. Applicability of the BET method for determining surface areas of microporous metal- organic frameworks. [En línea] Journal of the American Chemical Society, 2007, vol. 129, no 27, p. 8552-8556. [fecha de consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/ja071174k>
71. WIBAWA, Pratama Jujur, et al. SEM, XRD and FTIR analyses of both ultrasonic and heat generated activated carbon black microstructures. [En línea] Heliyon, 2020, vol. 6, no 3, p. e03546. [fecha de consulta: 19 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03546>
72. WIBAWA, Pratama Jujur, et al. Design, preparation and characterization of polystyrene nanospheres based-porous structure towards UV-vis and infrared light absorption. [En línea] Physics Procedia, 2011, vol. 22, p. 524-531. [fecha de consulta: 19 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2011.11.081>
73. XIAO, Lu; LIU, Jianyue; GE, Jinwen. Dynamic game in agriculture and industry cross-sectoral water pollution governance in developing countries. [En línea] Agricultural Water Management, 2021, vol. 243, p. 106417. [fecha de consulta: 12 de enero del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106417>
74. YIN, Ran; SHANG, Chii. Removal of micropollutants in drinking water using UV-LED/chlorine advanced oxidation process followed by activated carbon adsorption. [En línea]. Water Research, 2020, vol. 185, p. 116297. [fecha de

consulta: 19 de enero del 2021]. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116297>

75. ZHU, Fangkun, et al. Study on heavy metal levels and its health risk assessment in some edible fishes from Nansi Lake, China. [En línea]. Environmental monitoring and assessment, 2015, vol. 187, no 4, p. 1-13. [fecha de consulta: 29 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4355-3>
76. ZHU, Jiang, et al. Removal of toluene from waste gas by adsorption-desorption process using corncob-based activated carbons as adsorbents. [En línea] Ecotoxicology and environmental safety, 2018, vol. 165, p. 115-125. [fecha de consulta: 19 de enero del 2021]. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.105>

ANEXO N° 1:

	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
---	---------------------------------------

TITULO: A novel post-modification of powdered activated carbon prepared from lignocellulosic waste through thermal tension treatment to enhance the porosity and heavy metals adsorption

PAGINAS UTILIZADAS: 358-368	AÑO DE PUBLICACION 2020	LUGAR DE PUBLICACION Science Direct
---------------------------------------	-----------------------------------	---

AUTOR (ES): KHARRAZI, Seyyede Maryam
--

DOI	:	https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.09.050
MATERIA PRECURSOR	:	Desechos de olmo
MÉTODO DE ACTIVACIÓN	:	Física, Química
PARÁMETROS DE ADSORCIÓN	:	T°, Tamaño de partículas, agitación, pH
ISOTERMAS	:	Langmuir y Freundlich
MÉTODO DE CARACTERIZACIÓN	:	Física (SEM), Química (FTIR)



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, AUCAPUCLLA OXA JESSICA estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al Trabajo de Investigación / Tesis titulado: "REVISIÓN SISTEMÁTICA: ADSORCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUAS CONTAMINADAS USANDO CARBÓN ACTIVADO", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que el Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda citatextual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

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

Apellidos y Nombres del Autor	Firma
AUCAPUCLLA OXA JESSICA DNI 47236017 ORCID: 0000-0001-9869-4044	