



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Carbón Activado con Residuos de Plantas Secas Para la  
Adsorción de Cromo en Medio Acuoso: Revisión Sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL

**AUTORES:**

Alvarez Ramos, Angelica (ORCID: 0000-0001-9548-3233)  
Quispe Taype, Sandra Karen (ORCID: 0000-0002-6298-5197)

**ASESOR:**

Mg. Honores Balcazar, César Francisco (ORCID: 0000-0003-3202-1327)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA - PERÚ

2021

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darnos la vida y estar siempre con nosotras, guiándonos a forjar nuestro camino. A nuestra familia quienes son nuestro motor e inspiración. A todas las personas que nos han acompañado en esta etapa aportado formación tanto profesional y como ser humano.

**Angelica Alvarez Ramos**

Dedicado a mis padres y hermanos, quienes son el motor que me impulsa a seguir adelante, también me brindaron su apoyo y mis logros les debo a ellos. Son mi fortaleza y motivación para seguir creciendo profesional y personal.

**Sandra Karen Quispe Taype**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por permitirnos haber llegado en este momento importante en nuestra formación profesional. A nuestra familia por su consejos y sabiduría. A nuestro Asesor el Mg. César Francisco Honores Balcazar por el apoyo constante en su asesoría y conocimientos, por sus valiosos consejos y colaboración.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CARATULA .....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE GRAFICOS .....	v
ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRAC.....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA .....	12
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	12
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística .....	13
3.3. Escenario de estudio.....	14
3.4. Participantes .....	14
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	14
3.6. Procedimiento .....	15
3.7. Rigor científico .....	16
3.8. Método de análisis de información .....	16
3.9. Aspectos éticos.....	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
V. CONCLUSIONES.....	24
VI. RECOMENDACIONES.....	25
REFERENCIAS .....	26
ANEXOS.....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla N° 1: Comparación de la adsorción física con la adsorción química.....</i>	<i>6</i>
<i>Tabla N° 2: Antecedentes del carbón activado mediante diversos residuos .....</i>	<i>9</i>
<i>Tabla N° 3: Matriz de categorización apriorística .....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla N° 4: Porcentaje de remoción de Cr - Reactivos más empleados y Método de caracterización .....</i>	<i>18</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura N° 1: Proceso de elaboración del carbón activado.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura N° 2: Microscopio electrónico de barrido de alga roja (a) y su carbón activado (b).....</i>	<i>8</i>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico N° 1: Reactivos químicos más empleados para la preparación del carbón activado.....</i>	<i>21</i>
--	-----------

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

USEPA	: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
OMS	: Organización Mundial de la Salud
IRE	: Índice de refracción

## RESUMEN

El presente estudio de investigación tiene como principal objetivo analizar los parámetros que afectan la adsorción del cromo empleando residuos de plantas secas; para lo cual se realizó una revisión de diversas literaturas, dentro de las cuales el 90% pertenecen a la base de datos de Sciencedirect, y el 10 % a Scielo y Scopus. Para lo cual se utilizó el método de análisis documental, haciendo uso de palabras claves para la obtención de literaturas y seleccionándolas mediante un proceso de clasificación de inclusión y exclusión.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las 19 literaturas añadidas al estudio se tuvo para el primer objetivo específico de determinar el porcentaje de remoción del cromo empleando carbón activado con residuos de plantas secas que se encuentra en el intervalo de 80 al 90%; ello debido a su buena capacidad de adsorción, valencias libres activas, alta superficie, estructura porosa, reactividad superficial, inercia y estabilidad térmica que presentan los biocarbones por activación química. Acerca de la clasificación de los reactivos más empleados para la preparación del carbón activado para la adsorción de cromo en medio acuoso se tiene que los reactivos químicos más empleados son ácidos cáusticos siendo empleado por un 50% de los investigadores; entre ellos los Ácidos nítricos, Ácidos sulfúricos, Ácido clorhídrico, Ácido fosfórico; en segundo lugar, se encuentra el Hidróxido de sodio con el 25%. Por último, para Identificar los métodos de caracterización del carbón activado se tuvo que los métodos de caracterización del carbón activado más empleados son SEM, BET y FTIR en un 99%; esto debido a que estos métodos de caracterización ayudan a observar la superficie del adsorbente desarrollado, detallar y analizar el mecanismo de adsorción del adsorbato hacia el adsorbente.

**Palabras clave: Carbón activado, contaminación hídrica con cromo, biochar con plantas secas.**

## ABSTRACT

The main objective of this research study is to analyse the parameters that affect the adsorption of chromium using dried plant residues, for which a review of various literatures was carried out, 90% of which belong to the Scimedirect database, and 10% to Scielo and Scopus. For which the documentary analysis method was used, making use of key words to obtain literature and selecting them through a process of inclusion and exclusion classification.

According to the results obtained from the 19 literatures added to the study, the first specific objective of determining the percentage of chromium removal using activated carbon with dried plant residues was found to be in the range of 80 to 90%, due to its good adsorption capacity, active free valences, high surface area, porous structure, surface reactivity, inertia and thermal stability presented by biochar by chemical activation. Regarding the classification of the most used reagents for the preparation of activated carbon for the adsorption of chromium in aqueous media, the most used chemical reagents are caustic acids, which are used by 50% of the researchers; among them are nitric acids, sulphuric acids, hydrochloric acid, phosphoric acid; in second place is sodium hydroxide with 25%. Finally, to identify the methods of characterisation of activated carbon, it was found that the most used methods of characterisation of activated carbon are SEM, BET and FTIR in 99%; this is because these methods of characterisation help to observe the surface of the adsorbent developed, detail and analyse the mechanism of adsorption of the adsorbate onto the adsorbent.

**Keywords: Activated carbon, water pollution with chromium, biochar with dried plants.**

## I. INTRODUCCIÓN

Los compuestos de cromo hexavalente como el cromato y el dicromato, comúnmente designados como compuestos de Cr (VI), son metales pesados ampliamente utilizados en diferentes industrias y se consideran altamente tóxicos para la mayoría de las formas de vida; desafortunadamente convirtiéndose en un contaminante importante de las aguas subterráneas y los ríos alrededor de las industrias que utilizan dicromato (Hedayatkah et al., 2018, p.1). Se calcula que entre el 50 y el 80% de todas las especies de plantas y algas se ven afectadas negativamente por concentraciones de Cr que superan los 100 µg/L; ya que es un contaminante común de las aguas subterráneas (Gad S., 2014, p.952).

Las concentraciones tóxicas de Cr (VI) afecta a los microorganismos en cultivos puros, así como a las micro algas, en concentraciones a partir de 1 µg/L (Straif et al., 2009, p.2). Estas concentraciones de cromo, pasan a infiltrarse y percollar debajo del suelo, contaminando las aguas superficiales y subterráneas, creando así la posibilidad de convertirse en un potente cancerígeno (Tripathi S. y Chaurasia S., 2020, p.1).

Debido a ello, el Cr está listado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) como uno de los 129 contaminantes prioritarios, también figura entre las 25 sustancias peligrosas que se cree que representan la amenaza potencial más importante para la salud humana en los sitios prioritarios del superfondo (Sueker J., 1964, p.1).

Por consiguiente, los metales pesados pueden eliminarse de los medios acuosos utilizando varios métodos convencionales como la precipitación química, la extracción con disolventes, la filtración por membrana, el intercambio iónico, la eliminación electroquímica coagulación, etc. Sin embargo, estas técnicas tienen algunas desventajas como la eliminación incompleta, los requisitos de alta energía y la disponibilidad de lodo tóxico, baja eficiencia, condiciones de funcionamiento sensibles y costosa eliminación (Burakov et al., 2018, p.3).

Para superar estos inconvenientes, se han propuesto numerosos enfoques destinados a desarrollar métodos más baratos y eficaces para mejorar la calidad

de los efluentes tratados; donde la mayoría de ellos se basan en el uso de procesos de adsorción, ya que la adsorción parece tener el mayor impacto en el transporte, la toxicidad y la disponibilidad biológica de metales pesados (Santhosh et al., 2016, p.2).

Varios adsorbentes como el carbón activado, la sílice y el grafeno pueden utilizarse en la purificación del agua, pero el carbón activado ha demostrado ser un adsorbente eficiente para la eliminación de una amplia variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el agua (Karnib et al., 2014, p.2). Es una opción popular entre todos debido a su buena capacidad de adsorción, valencias libres activas, alta superficie, estructura porosa, reactividad superficial, inercia y estabilidad térmica (Soni et al., 2020, p.1).

Debido a lo expuesto anteriormente, la presente investigación tiene como problema general: ¿Cuáles son los parámetros que afectan la adsorción del cromo empleando residuos de plantas secas? Y como problemas específicos: ¿Cuál es el porcentaje de remoción del cromo empleando carbón activado con residuos de plantas secas?, ¿Cuáles son los reactivos más empleados para la preparación del carbón activado para la adsorción de cromo en medio acuoso? Y ¿Cuáles son los métodos de caracterización del carbón activado?

De la misma manera, se emplea el objetivo general: Analizar los parámetros que afectan la adsorción del cromo empleando residuos de plantas secas y como objetivos específicos se tiene: Determinar el porcentaje de remoción del cromo empleando carbón activado con residuos de plantas secas, Clasificar los reactivos más empleados para la preparación del carbón activado para la adsorción de cromo en medio acuoso e Identificar los métodos de caracterización del carbón activado.

La presente investigación pretende ampliar los conocimientos del carbón activado con residuos de plantas secas para la adsorción de cromo en medio acuoso; debido a que la presencia de cromo en el medio acuoso tiene un efecto potencialmente perjudicial sobre el agua, la fisiología humana y otros sistemas biológicos cuando se superan los niveles aceptables.

Debido a ello se justifica, debido al aporte que se pretende dar, brindando actualizados conocimientos respecto al tema, mediante la recolección a nivel nacional e internaciones; recalando que el presente estudio tiene la intención de servir como fuente académica para futuros investigadores con respecto a la aplicación del carbón activado y la contaminación de los recursos hídricos.

## II. MARCO TEÓRICO

El cromo en el medio ambiente existe principalmente como Cr(III) y Cr(VI) y los estados de oxidación del Cr desarrollan una actividad biológica diferente, donde se supone que el cromo hexavalente es unas 100-1000 veces más tóxico que el cromo trivalente; el Cr(VI) es genotóxico y citotóxico para las bacterias y las células eucariotas; en cambio, en las mismas condiciones, el Cr(III) es inactivo o activo en concentraciones mucho más elevadas (Robles J. y Armienta M., 2000, p.1). En los sistemas naturales, el cromo es estable en los estados de oxidación trivalente (Cr(III)) o hexavalente (Cr(VI)), pero el cromo trivalente es generalmente menos soluble y, por tanto, menos móvil, y mucho menos tóxico que la forma hexavalente (Puzon et al., 2008, p.2).

La aplicación del cromo se ha utilizado ampliamente en procesos industriales como la fabricación de acero inoxidable el curtido del cuero y el tratamiento de la madera lo que ha provocado la liberación de cromo en el medio ambiente (McClean J. y Beveridge T., 2001, p.4). Las industrias como la fabricación de pinturas y pigmentos, la producción de acero inoxidable, el control de la corrosión, los textiles, el curtido de cuero, la galvanoplastia de cromo, las industrias de acabado de metales, la conservación de la madera, la fotografía, etc., descargan efluentes que contienen cromo hexavalente, Cr 6+, al agua superficial (El nemr et al., 2015, p.2). Provocando una importante contaminación porque el Cr(VI) forma oxianiones, es decir, cromato, que son muy solubles y móviles en las aguas subterráneas (Middleton et al., 2003, p.1).

Debido a ello, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) ha presentado la concentración permitida de 0,1 mg/L de cromo total en el agua potable (Liang et al., 2020, p.1). Asimismo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha fijado la cantidad permitida de Cr(VI) en 0,05 mg/L; por lo tanto, cualquier efluente que contenga Cr(VI) debe ser tratado antes de verterse al medio ambiente para conservar las masas de agua y la salud humana (Bahador et al., 2021, p.2).

Los efectos que puede generar la contaminación de este metal cromo u otros metales pesados representa un problema ambiental importante debido a los efectos

tóxicos y la acumulación a lo largo de la cadena alimentaria; estos contaminantes son tóxicos y no biodegradables y probablemente tengan efectos sobre la salud (Pellerin C. y Booker R., 2000, p.1). La ingestión de agua con altas concentraciones de Cr(VI) puede producir enfermedades intestinales, gástricas y hepáticas (Aitio L., 1991, p.3). También daña el sistema nervioso, retraso mental, cáncer y anemia (Nordberg et al., 2014, p.1).

Debido a ello, se han desarrollado numerosos métodos para eliminar la forma de cromo agua como la fotocatalisis, el tratamiento redox, separación por membrana, adsorción y tratamiento biológico (Wang et al., 2020, p.2). Pero entre los tipos de tratamiento, la adsorción para eliminar el cromo del agua la adsorción tiene ventajas obvias como la eliminación rápida, la conductividad conveniente, el bajo costo y simplicidad, por lo que tiene buena aceptación (Wang et al., 2020, p.1). Para ello, la adsorción ha demostrado ser económica y eficiente para eliminar metales pesados, contaminantes orgánicos y colorantes de las aguas contaminadas (Tangjuank et al., 2009, p.2).

La adsorción mediante carbones activados resultó ser la técnica más eficiente y para mejorar aún más la eficacia de la eliminación del ion Cr(VI) del agua, los carbones activados pueden ser modificados químicamente con ácido y diferentes agentes oxidantes como HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> (Yue et al., 2009, p.3).

La adsorción es un proceso de transferencia de masa que es un fenómeno de sorción de gases o solutos por superficies sólidas o líquidas; en la superficie sólida tienen energía superficial residual debido a fuerzas desequilibradas; debido a que, cuando algunas sustancias chocan con la superficie sólida, son atraídas por estas fuerzas desequilibradas y permanecen en la superficie sólida (Hu H. y Xu K., 2020, p.1).

De acuerdo con Hu H. y Xu K., (2020, p.2) en las diferentes fuerzas de adsorción, el proceso de adsorción se puede dividir en dos categorías: adsorción física y adsorción química (Ver Tabla N°1).

Tabla N° 1: Comparación de la adsorción física con la adsorción química.

	Categorías de adsorción	
	Adsorción física	Adsorción química
<b>Fuerza de adsorción</b>	Fuerza de Van der Waals	Fuerza de enlace químico
<b>Selectividad</b>	Adsorción no selectiva	Adsorción selectiva
<b>Capa de adsorción</b>	Capas simples o múltiples	Una sola capa
<b>Calor de adsorción</b>	Bajo	Alto
<b>Tasa de adsorción</b>	Rápido	Lento
<b>Estabilidad</b>	Inestable	Estable

Fuente: Modificado de Hu H. y Xu K., 2020

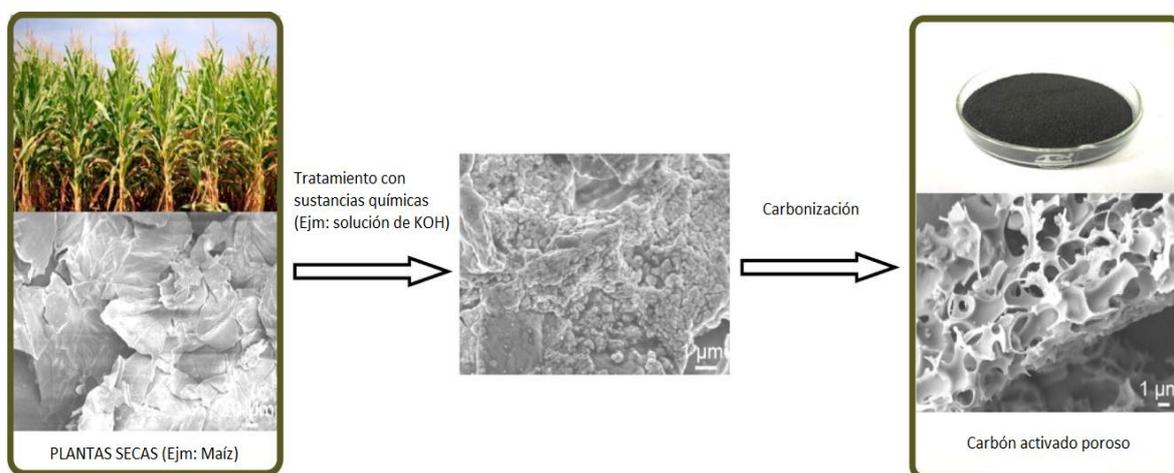
El carbón activado es el material adsorbente más utilizado en el tratamiento de aguas residuales y puede producirse por pirólisis de casi todos los componentes orgánicos carbonosos; también es famoso por su alto grado de microporosidad, derivado del carbón vegetal por activación térmica o química (Chandrasekhar K., 2019, p.2). Es un material rico en carbono, un subproducto resultante de la degradación térmica de cualquier materia prima de base orgánica en ausencia de oxígeno a temperaturas elevadas (Lehmann J., 2009, p.1).

La producción del carbón activado mediante activación física implica carbonización o calcinación de las materias primas a temperaturas elevadas (500–900 ° C) en una atmósfera inerte seguida de una oxidación leve (gasificación) de la sustancia con vapor, aire y / o dióxido de carbono a altas temperaturas (800–1000 ° C) (Bastidas et al., 2016, p.607).

Mientras que, la activación química implica la impregnación del precursor con agentes activantes químicos, principalmente agentes deshidratantes como KOH, ZnCl<sub>2</sub> y ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), seguido de pirólisis a una temperatura relativamente más baja que la temperatura de activación física (Ahmad et al., 2012, p.1).

Para la elaboración del carbón activado es esencial la elección correcta de la materia prima a emplear; siendo recomendado un material que no presente un valor alto para su obtención, como es el caso de los residuos de plantas secas (Rebolledo et al., 2016, p.5). Tal es el caso de los residuos de plantas crudas como frambuesas, grosella negra, ortiga y té verde (Bazan A. y Pietrzak R., 2020, p.1).

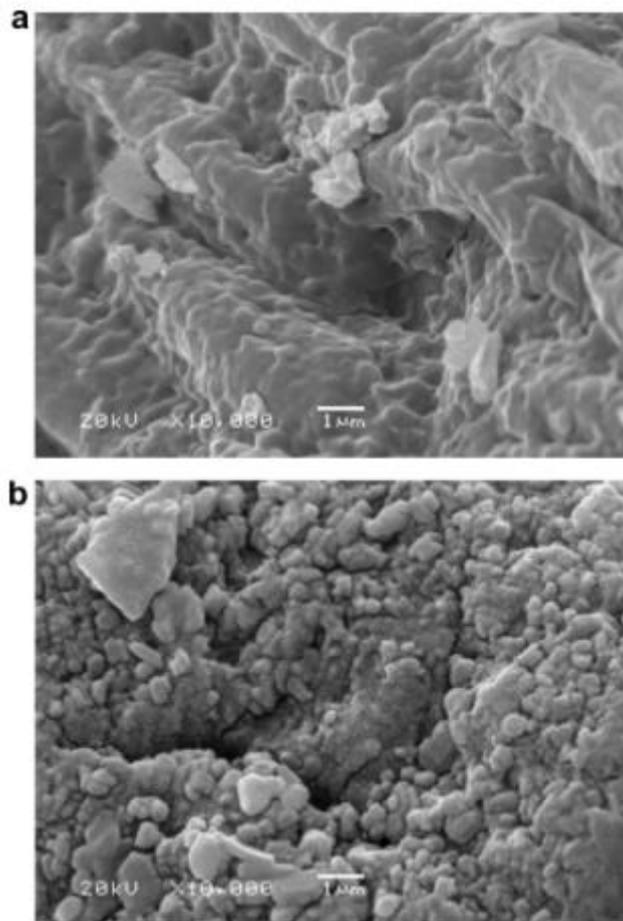
La biomasa de hojas muertas en carbón activado presenta diversas ventajas como el reducir los tiempos de quemado, curado y de acuerdo con Lay et al., (2020, p.2) es una alternativa prometedora. Los biosorbentes, como las raíces secas de jacinto de agua, *Pleurostostreatus*, *Scenedesmus* y *Dunaliellasalina*, han sido investigados para la eliminación del cromo debido a su bajo coste, fácil acceso, reciclabilidad y biodegradabilidad (Ajmani et al., 2020, p.2).



*Figuras N° 1: Proceso de elaboración del carbón activado*

*Fuente: Modificado de Zhao et al., 2020*

También, existen diversos métodos para caracterizar el carbón activado, entre ellos, el SEM que es el Microscopio electrónico de barrido; es uno de los métodos comunes para obtener imágenes de la microestructura y morfología de los materiales en SEM, un haz de electrones con baja energía se irradia al material y escanea la superficie de la muestra; se producen varias interacciones diferentes a medida que el haz alcanza y entra en el material, lo que conduce a la emisión de fotones y electrones desde o cerca de la superficie de la muestra (Bandyopadhyay et al., 2013, p.51).



*Figuras N° 2: Microscopio electrónico de barrido de alga roja (a) y su carbón activado (b)*

*Fuente: El Nemr et al., 2015*

También está la espectroscopía infrarroja; la cual se basa en la absorción de radiación electromagnética por la materia debido a los diferentes modos vibratorios de los enlaces químicos; en ello el haz de infrarrojos se dirige a un medio alto índice de refracción (reflexión interna e lement o IRE), que es transparente para la radiación IR de interés (Cameron et al., 2020, p.1). El diseño más habitual de una IRE es la placa trapezoidal, que permite determinar la orientación de las estructuras secundarias proteicas mediante dicroísmo lineal (Vigano et al., 2003, p.3).

La presente investigación cuenta con 50 investigaciones acerca de la aplicación de residuos de plantas secas para la elaboración del carbón activado, para la adsorción de cromo en medio acuoso; de las cuales se detallan las 10 más relevantes en la tabla N°2 de antecedentes.

Tabla N° 2: Antecedentes del carbón activado mediante diversos residuos

<b>Tipo de material</b>	<b>Isoterma/ Comportamiento cinético ajustado</b>	<b>Resultado</b>	<b>Fuente</b>
Carbón activado granular a partir de cáscara de coco	Langmuir	Las isotermas de adsorción para diversas temperaturas se ajustaron bien con el modelo de Langmuir. El $\text{Cr}_2\text{O}_3$ La capa de carbón activado granular altamente poroso (GAC) es responsable de su baja capacidad de adsorción de Cr (VI), por lo que se necesitaría una gran cantidad de GAC para tratar el agua con Cr (VI).	Wang et al., 2020
Moringa oleifera	Pseudo-segundo orden	Los hallazgos adquiridos revelaron que la modificación de carbón activado por quitosano y nanopartículas de $\text{Fe}_3\text{O}_4$ incrementaron la adsorción de Cr.	Bahador et al., 2021
Nanotubos de carbono	Langmuir Freundlich	El carbón activado recubierto con nanotubos de carbono adsorbe un 23,7% más en comparación con el carbón activado normal. Lo mismo ocurre con el modelo de Freundlich, donde el carbón activado recubierto con nanotubos de carbono (Tipo II) tiene la capacidad de adsorción más alta de 8.47 mg / g.	Kabbashi et al., 2020
Pterocladia capillacea	Langmuir	El Carbón activado de alga roja exhibió una alta capacidad de sorción bajo varias concentraciones iniciales de cromo y de dosis de sorbente.	El Nemr et al., 2015

Cáscara de nuez de palma	Langmuir Freundlich	El carbón activado recubierto con nanotubos de carbono se considera un excelente adsorbente de iones Cr (VI) con una capacidad de adsorción de 9.0 mg / g.	Atieh M., 2011
Cáscara de coco y bagazo de caña de azúcar	No indica	Estas briquetas se han utilizado como lecho filtrante para eliminar los metales pesados mediante el desarrollo de un experimento de columna de lecho compacto. Así, el experimento indica que la mezcla de bagazo de caña de azúcar y cáscara de coco funciona como un adsorbente eficaz para eliminar el cromo de las aguas residuales de las curtidurías.	Dhaarini et al., 2021
Cáscara de nuez y semilla de palmera datilera	Langmuir Freundlich Segundo orden	Los biocarros producidos aumentaron la disponibilidad y la absorción de nutrientes por Brassica chinensis	Abdelhafez et al., 2021
Frambuesas, grosella negra, ortiga y té verde	Freundlich Langmuir	El adsorbente más eficaz de contaminantes orgánicos e inorgánicos resultó ser el biocarbón activado obtenido de los residuos de la extracción supercrítica de frambuesas.	Bazan A. y Pietrzak R., 2020
Hojas de té ( <i>Camellia sinensis L.</i> )	Langmuir Freundlich	El biocarbón formulado a alta temperatura y su coinoculación con bacterias ( <i>Bacillus cereus</i> ) pueden mejorar la fertilidad del suelo, el crecimiento y el rendimiento del frijol mungo.	Azeem et al., 2021

Tallos de maíz	Langmuir Freundlich	Los carbón activado mostraron un alto rendimiento de adsorción de Cr (VI), y la capacidad máxima de adsorción de los AC preparados por activación con solución de KOH al 4% alcanzó 89,5 mg g <sup>-1</sup> a una dosis de adsorbente de 2,5 g · L <sup>-1</sup> y valor de pH de 4,5 .	Zhao et al., 2020
----------------	------------------------	---	-------------------

*Fuente: Elaboración propia*

### **III. METODOLOGÍA**

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

El presente estudio, presenta una investigación cualitativa; normalmente buscan responder preguntas sobre el "qué", "cómo" y "por qué" de los fenómenos; esto contrasta con las preguntas de "cuántos" o "cuánto" que se buscan responder mediante la investigación cuantitativa y una característica distintiva común de la investigación cualitativa es que los estudios a menudo apuntan a explorar y comprender, en lugar de medir fenómenos y comportamientos (Berk et al., 2015, p.2).

La presente investigación aplica el tipo de investigación aplicada, ya que, este tipo de investigación es diseñada para aplicar las teorías, y en este estudio se va aplicar las diferentes formas de aplicar el carbón activado con residuos de plantas secas, sirviendo la investigación aplicada de puente entre la investigación diseñada para probar estas teorías y la aplicación del mundo real. De acuerdo con Pacione M., (1999, p.2) el tipo de investigación aplicada brinda la oportunidad de utilizar teorías y métodos en el campo de pruebas definitivo del mundo real, además de permitir a los investigadores contribuir a la resolución de problemas del mundo real.

El diseño de este estudio es narrativo de tópico, porque se va a plasmar los hechos y acontecimientos obtenidos por diversos investigadores y las vivencias que obtuvieron para realizar el biocarbón empleando residuos de plantas secas y mediante ello buscar una confrontación de diversos autores. De acuerdo a Angrosino M., (1997, p.2) el tipo de diseño es narrativo de tópico, puede proporcionar una visión de la interacción humana, la conducta moral social, la responsabilidad de los roles percibidos y otras perspectivas integradas en un sentido amplio de la definición, la narrativa puede considerarse el discurso real entre humanos y es empleado para buscar entender la adsorción del cromo en medio acuoso empleando residuos de plantas secas.

### 3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

En la jerarquía de categorías, una categoría es más general que sus subcategorías y representa más objetos que cualquiera de sus subcategorías; las categorías de metodologías independientes de alto nivel pueden ser consideradas como diferentes dimensiones de un espacio metodológico, de modo que cada punto especifica una metodología o un grupo de metodologías que están estrechamente relacionadas entre sí y tienen una proyección en cada dimensión (Biber D., 2009, p.4). De acuerdo a ello, se detallan en la tabla N°3 las 3 categorías de acuerdo a los objetivos y problemas específicos.

Tabla N° 3: Matriz de categorización apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categorías	Subcategorías	Unidad de análisis
Determinar el porcentaje de remoción del cromo empleando carbón activado con residuos de plantas secas	¿Cuál es el porcentaje de remoción del cromo empleando carbón activado con residuos de plantas secas?	Porcentaje de remoción (Lehmann J., 2009, p.1)	Concentración inicial de Hg Cantidad de metal adsorbido (Chandrasekhar K., 2019, p.2)	(Puzon et al., 2008, p.2), (El nemr et al., 2015, p.2), (Nordberg et al., 2014, p.1),
Clasificar los reactivos más empleados para la preparación del carbón activado para la adsorción de cromo en medio acuoso	¿Cuáles son los reactivos más empleados para la preparación del carbón activado para la adsorción de cromo en medio acuoso?	Reactivos químicos (Bazan A. y Pietrzak R., 2020, p.1)	Hidróxido de potasio (KOH) Permanganato de Potasio (KMnO4) Ácido fosfórico (H3PO4) (Ahmad et al., 2012, p.1)	(Tangjuank et al., 2009, p.2), (Yue et al., 2009, p.3), (Hu H. y Xu K., 2020, p.1), (Bastidas et al., 2016, p.607),
Identificar los métodos de caracterización del carbón activado	¿Cuáles son los métodos de caracterización del carbón activado?	Técnicas y equipos de caracterización (Bandyopadhyay et al., 2013, p.51)	FT-IR SEM BET (Vigano et al., 2003, p.3)	(Ajmani et al., 2020, p.2), (Cameron et al., 2020, p.1).

Fuente: Elaboración propia

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

El presente estudio al ser una revisión sistemática no cuenta con un entorno físico en el cual se van a realizar los estudios; por lo cual se toma en cuenta como lugares de escenario a los laboratorios y campo donde se realizaron los estudios de la elaboración del carbón activado con residuos de plantas secas para la adsorción de cromo en medio acuoso, siendo estos artículos científicos extraídos de fuentes indizadas a nivel internacional.

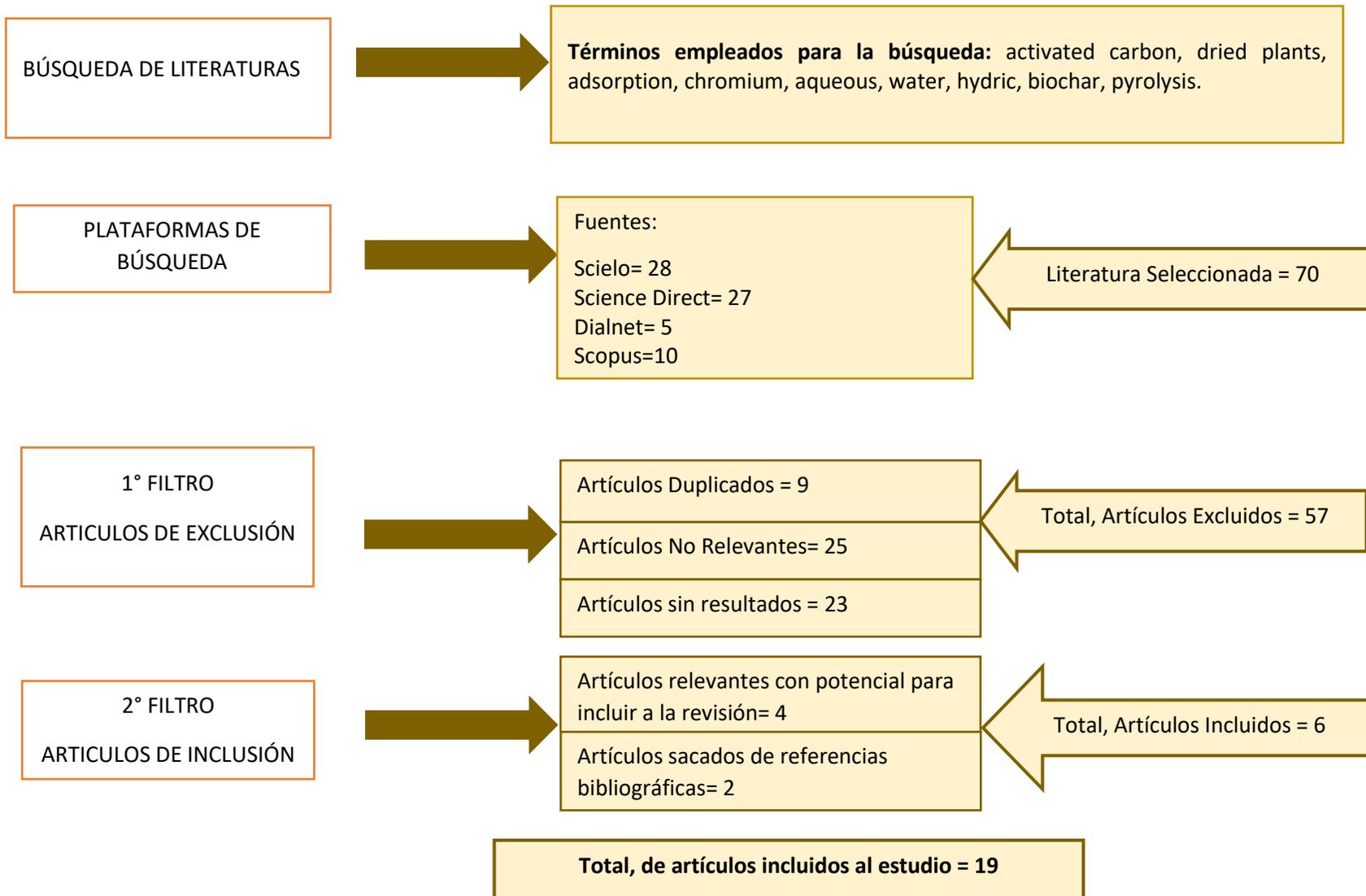
### **3.4. Participantes**

Los participantes que se involucran con el estudio son las fuentes de las cuales se extrajeron los artículos científicos y revistas científicas. Siendo estas fuentes portales web como páginas institucionales, bibliotecas virtuales, electrónicas y base de datos bibliográficas; de donde se encuentra diversas bases de datos de búsquedas científicas como artículos científicos. Siendo utilizadas en el presente estudio: Sciencedirect, Scielo y Scopus.

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

El uso de análisis de documentos es de fundamental importancia, ya que la evidencia documental a menudo debe conservarse para evaluaciones posteriores (Calvini et al., 2020, p.1). en el presente estudio se aplica la técnica de análisis documental. De acuerdo con Hartland et al., (2005, p.5) el método o métodos empleados para el análisis documental dependerán en gran medida de los propósitos y contextos en los que se lleve a cabo el análisis. De acuerdo a ello, el estudio emplea la ficha de análisis de contenido, como medio de recolección de la información (Ver Anexo 1). Esta ficha de análisis de contenido es una técnica de transcodificación automática donde se pueden transformar el contenido original sin ninguna alteración de la información mediante el uso de diversas técnicas de inferencia; en el cual se va a detallar los datos de los documentos utilizados; tales como, datos de autor, objetivos, métodos, resultados, entre otros detalles que faciliten la síntesis de los documentos originales.

### 3.6. Procedimiento



### **3.7. Rigor científico**

El presente estudio cuenta con cuatro criterios que permiten se tenga la validez del documento obtenido el rigor científico; entre ellos el primero criterio es la *Transferibilidad*: Este criterio es la aplicabilidad de los hallazgos a otros contextos (Pandey y Patnaik, 2014, p.5); y es demostrado en base a los hallazgos obtenidos por diversas literaturas que se van a utilizar para la confrontación de resultados. Como segundo criterio se aplica la *Fiabilidad*: este se encuentra basado en los hallazgos repetidos y consistentes (Pandey y Patnaik, 2014, p.5); quiere decir en el poder de obtener resultados similares en diferentes contextos y se demuestra en base a los resultados obtenidos en el presente estudio y los obtenidos por otros autores que van a respaldar el estudio. El tercer criterio es la *Confirmabilidad*: los resultados son moldeados por los encuestados y no solo por el sesgo, la motivación y el interés del investigador (Giraldo y Arias, 2011, p. 504). Este criterio se aplica en el estudio con la interpretación neutral de los diferentes hallazgos obtenidos en la recolección de literaturas a utilizar. El cuarto criterio es la *Auditabilidad*; siendo este criterio el encargado de asegurar la validez de un documento o fuente de donde se extrajo la información (Giraldo y Arias, 2011, p. 504), y este criterio es demostrado en la base de datos de las páginas web de las cuales se extrajo los artículos de investigación, los cuales son de fuentes indizadas y con un alto valor de calidad.

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

El método de triangulación está enfocado en la utilización de varios métodos, fuentes de datos teóricos, investigadores, de lugares en el estudio en el que ocurren los fenómenos (Okuda y Gómez, 2005, p.119). Dicho ello el presente estudio, emplea el método de triangulación, ya que se emplea el uso de diversas estrategias para la recolección del conglomerado de artículos, con la finalidad de contrastar diferentes observaciones de hallazgos de teorías, buscando entender un fenómeno el cual es la elaboración del carbón activado empleando diferentes residuos de plantas secas para adsorber el cromo en el medio acuoso.

El procedimiento que se siguió fue en base a la matriz apriorística elaborada en la tabla N°3., en base a las categorías y sub categorías propuestas para presentar unos resultados concisos.

Categorías:

- Porcentaje de remoción
- Reactivos químicos
- Técnicas y equipos de caracterización

Sub-Categorías:

- Cat.1: Concentración inicial de Hg, Cantidad de metal adsorbido
- Cat.2: Hidróxido de potasio (KOH), Permanganato de Potasio (KMnO<sub>4</sub>), Ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)
- Cat.3: FT-IR, SEM, BET

### **3.9. Aspectos éticos**

Los aspectos éticos que se siguieron para asegurar la validez, veracidad y autenticidad del estudio fueron los criterios descritos en el punto 3.7; cumpliendo estrictamente con la normativa vigente establecida por la universidad Cesar Vallejo Filial Lima-Este según la resolución rectoral N° 0089-2019, así como los pasos a seguir designados por la guía de productos observables de la universidad cesar vallejo, y la debida cita de los autores de quienes se hizo uso de sus investigaciones, de acuerdo a la Norma ISO 690 y 690-2.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la comparación de 19 investigaciones a nivel nacional e internacional para analizar los parámetros que afectan la adsorción del cromo empleando residuos de plantas secas se muestran los resultados en la tabla N° 4.

Tabla N° 4: Porcentaje de remoción de Cr - Reactivos más empleados y Método de caracterización

<b>Planta empleada como materia prima</b>	<b>Porcentaje de remoción</b>	<b>Tiempo y t° de pirolisis</b>	<b>Reactivo empleado para la activación</b>	<b>Método de caracterización</b>	<b>Autor</b>
<i>Moringa oleifera</i>	>90%	1 día a 105 °C	Quitosano + nanopartículas de óxido de hierro	FTIR SEM	Bahador et al., 2021
<i>No indica</i>	99% y 93%	126 días a 20°C	Sulfato	SEM	Basaran et al., 2021
Residuos de algas	90%	1 hora y 30 minutos a	Magnetita	RD, FE-SEM y VSM	Afshin et al., 2021
<i>No indica</i>	93,4%	12 horas a 70°C	Hidróxido de sodio Ácido acético Dicromato de potasio Cloruro férrico	SEM FTIR	Li et al., 2021
Cáscaras de almendra	98.2%	80 min y 59.85 °C	Ferrita de cobalto	SEM / EDX FTIR BET	Yahya et al., 2020
Madera	90%	2 horas a 800 a 900 °C	Ácido nítrico	SEM FTIR	Valentín Reyes et al., 2019
Residuos forestales	84%	1 día a 600 °C	Hidróxido de sodio Ácido nítrico	SEM, EDX, BET, XPS, XRD y FTIR	Wu et al., 2020
Residuos de desecho	97%	6 h a 100 °C	Poli (amidoxima)	SEM-EDX, BET y FTIR	Adio et al., 2019

Residuos vegetales (hojas y tallos) (desechos de maíz frente a paja de lino)	Desechos de maíz es del 97% Paja de lino es del 32%	15 min a 500 ° C	Hidróxido de sodio	SEM FTIR	Kazmierczak et al., 2021
Residuos de madera seca ( <i>Eucalyptus camaldulensis</i> serrín)	87%	2 horas a 500 ° C	Ácido fosfórico	SEM, EDX, FTIR y BET	Haroon et al., 2020
Residuos de pasto ( <i>hierba Bermuda</i> )	87.50 %	90 min a 850 ° C	Hidróxido de potasio	SEM, BET, EDX y XPS	Tu et al., 2020
Residuos de hojas secas de <i>Phoenix Dactylifera</i>	98%	180 min a 400 ° C	No indica	BET FTIR	Ahmad et al., 2021
<i>Fenol vegetal</i> de plantas secas	95%	2 horas a 850 ° C	Ácido tánico Ácido clorhídrico Hidróxido de sodio	BET FTIR	Wang et al., 2021
Residuos de plantas de hierba de partenio	92%	2 h a 400 ° C	Cloruro de cinc Ácido clorhídrico	BET FTIR	Kamaraj et al., 2020
Semillas de comino negro seco <i>Nigella sativa</i>	99%	1 hora a 298°C	Ácido fosfórico Permanganato de potasio	SEM FTIR	Thabede et al., 2020
Hojas de <i>Arundo donax Linn</i>	60%	196 ° C	Ácido fosfórico Cloruro de hierro Cloruro de aluminio Cloruro de manganeso	SEM FTIR	Sun et al., 2014
Semilla secas de níspero	90%	1 hora a 450 – 750° C	Hidróxido de sodio Ácido clorhídrico Hidróxido de potasio	SEM FTIR	Solgi et al., 2017
Hojas de sauce secas naturales	100,0%	60°C,	Nitrato férrico Sulfato de amonio	SEM	Yao et al., 2020

			Sulfato de hierro		
Hoja de desechos secos de <i>Aloe vera</i>	98.66%	2 horas a 800°C	Ácido nítrico Ácido sulfúrico	BET, XRD, FTIR, SEM, FE-SEM, EDS, TEM y HR-TEM	Prajapati et al., 2020

*Fuente: Elaboración propia*

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede decir que el porcentaje de remoción del cromo empleando carbón activado con residuos de plantas secas se encuentra en el intervalo de 80 al 90%; de acuerdo con Soni et al., (2020, p.4) ello es debido a su buena capacidad de adsorción, valencias libres activas, alta superficie, estructura porosa, reactividad superficial, inercia y estabilidad térmica.

Los investigadores que presentaron altos porcentajes de ad adsorción del Cr son los siguientes investigadores: Bahador et al., 2021 (90%), Afshin et al., 2021 (90%), Yahya et al., 2020 (98.2%), Valentín Reyes et al., 2019 (90%), Wu et al., 2020 (84%), Adio et al., 2019 (97%), Kazmierczak et al., 2021 (97%), Haroon et al., 2020 (87%), Tu et al., 2020 (87.50 %), Ahmad et al., 2021 (98%), Wang et al., 2021 (95%), Kamaraj et al., 2020 (92%), Thabede et al., 2020 (99%), Sun et al., 2014 (60%), Solgi et al., 2017 (90%), Yao et al., 2020 (100,0%), Prajapati et al., 2020 (98.66%).

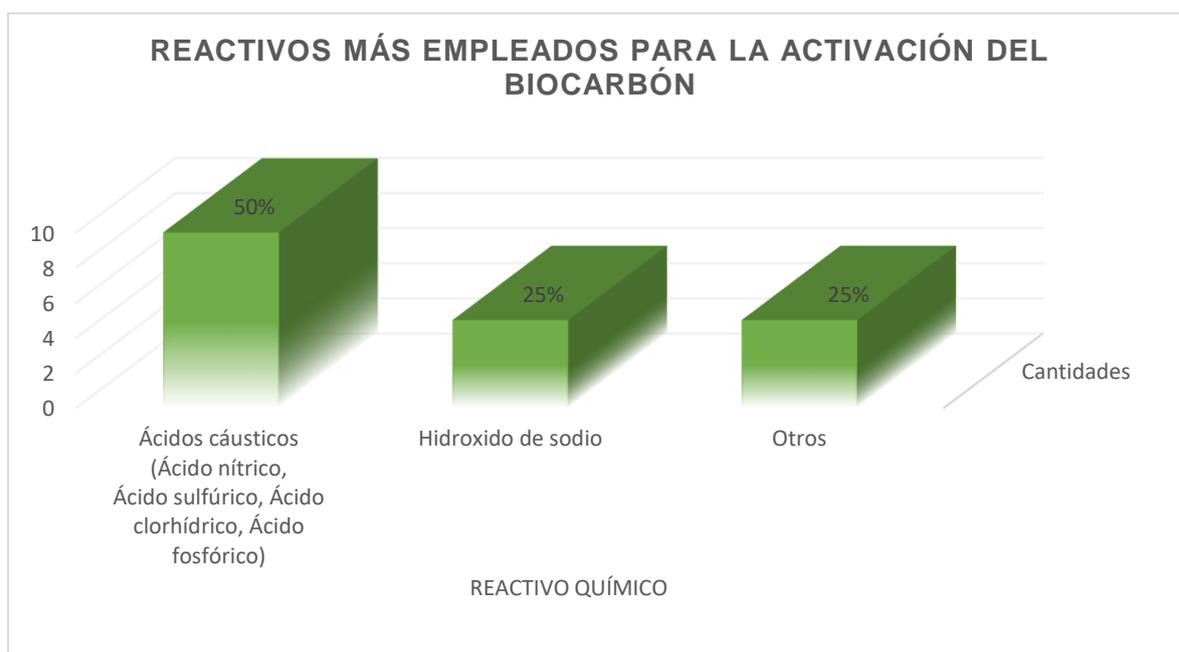
De acuerdo a Tian et al., (2020, p.5) una de las variables importantes de la preparación son la temperatura de pirolisis.

De acuerdo a ello, Prajapati et al., 2020 señala que, para la elaboración del carbón activado, con un tiempo bajo de pirolisis (2horas), a una temperatura alta de 800°C se puede dar una remoción del cromo en un 98,66%; esto es apoyado por Wang et al., 2021, quien también utilizó 2 horas con 850°C para la formación del carbón activado; y presentó porcentajes altos de remoción en un 92%. Autores como (Solgi et al., 2017), (Wang et al., 2021), (Tu et al., 2020), (Haroon et al., 2020), (Valentín Reyes et al., 2019). también han presentado resultados similares empleando dichos parámetros en la elaboración del biochar.

Esto es rechazado por Li et al., 2021; quien señala que se puede obtener buenos resultados de remoción del cromo realizando el proceso de pirólisis a bajas temperaturas (70°C), pero a tiempos más largos (12 horas); teniendo en su estudio un porcentaje de 93,4%.

Por otro lado, los reactivos más empleados para la preparación del carbón activado son esenciales de identificar para analizar los parámetros que afectan la adsorción del cromo empleando residuos de plantas secas; para ello se describe los resultados obtenidos en la comparación de 19 investigaciones respecto a la tabla N° 4 (Ver Gráfico N° 1).

*Gráfico N° 1: Reactivos químicos más empleados para la preparación del carbón activado*



*Fuente: Elaboración propia*

Los resultados obtenidos de las 19 literaturas analizadas demuestran que en un 50% los reactivos químicos más empleados para la activación del biochar son los ácidos cáusticos siendo entre ellos encontrados los Ácidos nítricos (3), Ácidos sulfúricos (1), Ácido clorhídrico (3), Ácido fosfórico (3); en segundo lugar, se encuentra el Hidróxido de sodio con el 25% (5 investigadores de 19).

De acuerdo con Sun et al., (2008, p.1) en los procesos de activación química, el precursor se trata primero con un agente de activación química, a menudo ácido

fosfórico. En este proceso, la distribución del tamaño de los poros y el área superficial para un agente activador y una materia prima dados se determinan por el grado de impregnación, es decir, la relación entre la masa de producto químico y la masa de materia prima; cuanto mayor sea el grado de impregnación, mayor será el tamaño de los poros del carbón activado final y por ende mayor la adsorción del metal (Tian et al., 2020, p.5).

La afirmación anterior es apoyada por Sun et al., (2008, p.1) son: Li et al., 2021, Valentín Reyes et al., 2019, Wu et al., 2020, Haroon et al., 2020, Wang et al., 2021, Kamaraj et al., 2020, Thabede et al., 2020, Sun et al., 2014, Solgi et al., 2017, Prajapati et al., 2020. Permittiendoles ello, obtener una remoción del cromo en un: 93,4%, 90%, 84%, 87%, 95%, 92%, 99%, 60%, 90%, 98.66%.

Los reactivos más utilizados en la industria son el cloruro de zinc, el ácido fosfórico y ácido sulfúrico; donde estos actúan tanto como agentes deshidratantes como oxidantes, por lo que la carbonización y la activación tienen lugar simultáneamente (Angi et al., 2013, p.3). Esto es apoyado por los investigadores; Kamaraj et al., 2020; quien para realizar la activación química presenta del biocarbón a base de residuos de plantas de hierba de partenio empleó la combinación de dos agentes de activación (Cloruro de cinc y Ácido clorhídrico); obteniendo un 92% de la remoción del cromo del agua como se observa en la tabla N° 4.

La afirmación anterior es también respaldada por Yakout S. y El-Deen G., (2016, p.5) quien señala que el método de activación química, cuando se compara con el cloruro de zinc, el ácido fosfórico es el más preferido debido a las desventajas ambientales asociadas con el cloruro de zinc.

Por otro lado; los métodos de caracterización del carbón activado son necesarios para caracterizar las fibras de carbón activado mediante múltiples técnicas de caracterización, como FTIR, SEM, VSM, EDX, BET, XRD y XPS; pero entre ellos los métodos de caracterización empleados en el presente estudio en un 99% son SEM, BET y FTIR (Ver tabla N° 4); debido a que estos métodos de caracterización del carbón activado ayudan a observar la superficie del adsorbente desarrollado, detallar y analizar el mecanismo de adsorción del adsorbato hacia el adsorbente

(Yakout S. y El-Deen G., 2016, p.2). También mediante el análisis BET se estudian los volúmenes de poros y el porcentaje de rendimiento de los carbonos activos.

Ello es corroborado por los siguientes investigadores: Bahador et al., 2021, Basaran et al., 2021, Afshin et al., 2021, Li et al., 2021, Yahya et al., 2020, Valentín Reyes et al., 2019, Wu et al., 2020, Adio et al., 2019, Kazmierczak et al., 2021, Haroon et al., 2020, Tu et al., 2020, Ahmad et al., 2021, Wang et al., 2021, Kamaraj et al., 2020, Thabede et al., 2020, Sun et al., 2014, Solgi et al., 2017, Yao et al., 2020, Prajapati et al., 2020.

## V. CONCLUSIONES

Lo expuesto en el presente estudio permite brindar las siguientes conclusiones respecto a los parámetros que afectan la adsorción del cromo empleando residuos de plantas secas.

1. El porcentaje de remoción del cromo empleando carbón activado con residuos de plantas secas se encuentra en el intervalo de 80 al 90%; ello debido a su buena capacidad de adsorción, valencias libres activas, alta superficie, estructura porosa, reactividad superficial, inercia y estabilidad térmica que presentan los biocarbones por activación química.
2. Los reactivos químicos más empleados para la preparación del carbón activado para la adsorción de cromo en medio acuoso son ácidos cáusticos siendo empleado por un 50% de los investigadores; entre ellos encontrados los Ácidos nítricos (3), Ácidos sulfúricos (1), Ácido clorhídrico (3), Ácido fosfórico (3); en segundo lugar, se encuentra el Hidróxido de sodio con el 25%.
3. Por último, los métodos de caracterización del carbón activado más empleados son SEM, BET y FTIR en un 99%; esto debido a que estos métodos de caracterización ayudan a observar la superficie del adsorbente desarrollado, detallar y analizar el mecanismo de adsorción del adsorbato hacia el adsorbente.

## VI. RECOMENDACIONES

Ante las conclusiones dadas se recomienda 3 puntos para los lectores y futuros investigadores que presenten interés acerca de la aplicación del carbón activado para la adsorción de cromo en medio acuoso.

1. Se recomienda estudiar los grupos funcionales como como carboxilo, amida, carbonilo y bisulfato para analizar que grupos se encuentran involucrados en los procesos de adsorción de metales pesados específicos.
2. Se recomienda a futuros investigadores realizar revisiones con biocarbones elaborados por otras especies para la adsorción del cromo en medio acuoso.
3. Se recomienda hacer uso de nuevas técnicas instrumentales como: Potencial zeta, TGA o EDX para la caracterización del adsorbente.

## REFERENCIAS

1. ABDELHAFEZ, Ahmed A., et al. Eco-friendly production of biochar via conventional pyrolysis: Application of biochar and liquefied smoke for plant productivity and seed germination. *Environmental Technology & Innovation*, 2021, vol. 22, p. 101540. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101540>
2. ADIO, Salawu Omobayo, et al. Poly (amidoxime) modified magnetic activated carbon for chromium and thallium adsorption: statistical analysis and regeneration. *Process Safety and Environmental Protection*, 2019, vol. 121, p. 254-262. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.10.008>
3. AFSHIN, Shirin, et al. Application of Box–Behnken design for optimizing parameters of hexavalent chromium removal from aqueous solutions using Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> loaded on activated carbon prepared from alga: Kinetics and equilibrium study. *Journal of Water Process Engineering*, 2021, vol. 42, p. 102113. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102113>
4. AHMAD, Tanweer, et al. The use of date palm as a potential adsorbent for wastewater treatment: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 2012, vol. 19, no 5, p. 1464-1484. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0709-8>
5. AHMAD, Ashfaq, et al. Efficient sequester of hexavalent chromium by chemically active carbon from waste valorization (*Phoenix Dactylifera*). *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2021, vol. 155, p. 105075. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105075>
6. AITIO, A.; TOMATIS, L. On the carcinogenicity of nickel and chromium and their compounds. 1991.
7. AJMANI, Abhishek, et al. Packed bed column studies of hexavalent chromium adsorption by zinc chloride activated carbon synthesized from *Phanera vahlii* fruit biomass. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2020, vol. 8, no 4, p. 103825. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103825>

8. ANGIN, Dilek; ALTINTIG, Esra; KÖSE, Tijen Ennil. Influence of process parameters on the surface and chemical properties of activated carbon obtained from biochar by chemical activation. *Bioresource Technology*, 2013, vol. 148, p. 542-549. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.08.164>
9. ANGROSINO, Michael V. Opportunity house: Ethnographic stories of mental retardation. Rowman Altamira, 1997. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=koXSohO61RkC&lpg=PP2&ots=Zwf-IBtpPE&dq=Opportunity%20house%3A%20ethnographic%20stories%20of%200mental%20retardations&lr&hl=es&pg=PP2#v=onepage&q=Opportunity%20house:%20ethnographic%20stories%20of%20mental%20retardations&f=false>
10. ATIEH, Muataz Ali. Removal of chromium (VI) from polluted water using carbon nanotubes supported with activated carbon. *Procedia Environmental Sciences*, 2011, vol. 4, p. 281-293. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.03.033>
11. AZEEM, Muhammad, et al. Tea leaves biochar as a carrier of *Bacillus cereus* improves the soil function and crop productivity. *Applied Soil Ecology*, 2021, vol. 157, p. 103732. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103732>
12. BAHADOR, Farahnaz, et al. Enhancement of the chromium removal behavior of *Moringa oleifera* activated carbon by chitosan and iron oxide nanoparticles from water. *Carbohydrate Polymers*, 2021, vol. 251, p. 117085. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117085>
13. BANDYOPADHYAY, Amit; BOSE, Susmita (ed.). Characterization of biomaterials. Newnes, 2013. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=F64aDoKssWIC&lpg=PP1&ots=plrU9FzLxW&dq=Characterization%20of%20biomaterials&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q=Characterization%20of%20biomaterials&f=false>
14. BASARAN, Senem Teksoy; KUTLAR, Fatma Seda; SAHINKAYA, Erkan. High concentration hexavalent chromium removal performance of a sulfidogenic activated carbon-bed bioreactor at moderate temperature. *Journal of Water Process Engineering*, 2021, vol. 42, p. 102162. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102162>

15. BAZAN-WOZNIAK, Aleksandra; PIETRZAK, Robert. Adsorption of organic and inorganic pollutants on activated bio-carbons prepared by chemical activation of residues of supercritical extraction of raw plants. *Chemical Engineering Journal*, 2020, vol. 393, p. 124785. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124785>
16. BERK, Michael, et al. The use of mixed methods in drug discovery: Integrating qualitative methods into clinical trials. En *Clinical trial design challenges in mood disorders*. Academic Press, 2015. p. 59-74. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405170-6.00006-3>
17. BIBER, Douglas. 38. Multi-dimensional approaches. En *Corpus linguistics*. De Gruyter Mouton, 2009. p. 822-855. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803455-2.00005-6>
18. BURAKOV, Alexander E., et al. Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes: A review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2018, vol. 148, p. 702-712. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.034>
19. BASTIDAS-OYANEDEL, Juan-Rodrigo, et al. Waste biorefinery in arid/semi-arid regions. *Bioresource technology*, 2016, vol. 215, p. 21-28. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.04.010>
20. CALVINI, Rosalba; ULRICI, Alessandro; AMIGO, José Manuel. Growing applications of hyperspectral and multispectral imaging. *Data Handling in Science and Technology*, 2020, vol. 32, p. 605-629. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63977-6.00024-9>
21. CAMERON, James M., et al. Vibrational spectroscopic analysis and quantification of proteins in human blood plasma and serum. En *Vibrational Spectroscopy in Protein Research*. Academic Press, 2020. p. 269-314. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818610-7.00010-4>
22. CHANDRASEKHAR, K. Effective and nonprecious cathode catalysts for oxygen reduction reaction in microbial fuel cells. En *Microbial Electrochemical Technology*. Elsevier, 2019. p. 485-501. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64052-9.00019-4>

23. DHAARINI, S. T., et al. An innovative prototype furnace designed to produce activated carbon for removal of chromium from tannery waste. *Materials Today: Proceedings*, 2021, vol. 45, p. 6016-6020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.530>
24. EL NEMR, Ahmed, et al. Removal of toxic chromium from aqueous solution, wastewater and saline water by marine red alga *Pterocladia capillacea* and its activated carbon. *Arabian Journal of Chemistry*, 2015, vol. 8, no 1, p. 105-117. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.01.016>
25. Gad, S. C. (2014). Chromium. *Encyclopedia of Toxicology*, 952–954. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-386454-3.00828-9>
26. Giraldo C y Arias M. El rigor científico en la investigación cualitativa. Colombia. *Invest. Educ. Enferm.* 2011, 29(3). p. 504. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/iee/v29n3/v29n3a20.pdf>
27. HAROON, Hajira, et al. Activated carbon from a specific plant precursor biomass for hazardous Cr (VI) adsorption and recovery studies in batch and column reactors: Isotherm and kinetic modeling. *Journal of Water Process Engineering*, 2020, vol. 38, p. 101577. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101577>
28. Hartland et al., Chapter 4 – Documents. 2005. Pages 75-100. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-1-876938-84-0.50004-4>
29. HEDAYATKHAH, Abolghasem, et al. Bioremediation of chromium contaminated water by diatoms with concomitant lipid accumulation for biofuel production. *Journal of environmental management*, 2018, vol. 227, p. 313-320. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.011>
30. HU, Haidong; XU, Ke. Physicochemical technologies for HRP and risk control. *En High-Risk Pollutants in Wastewater*. Elsevier, 2020. p. 169-207. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816448-8.00008-3>
31. KABBASHI, Nassereldeen A., et al. Removal of Chromium With CNT Coated Activated Carbon for Waste Water Treatment. *Encycloped. Renew. Sustain. Mater.*, 2020, vol. 4, p. 536-547. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10785-4>

32. KAMARAJ, M., et al. Facile development of sunlit ZnO nanoparticles-activated carbon hybrid from pernicious weed as an operative nano-adsorbent for removal of methylene blue and chromium from aqueous solution: extended application in tannery industrial wastewater. *Environmental Technology & Innovation*, 2020, vol. 17, p. 100540. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100540>
33. KARNIB, Mona, et al. Heavy metals removal using activated carbon, silica and silica activated carbon composite. *Energy Procedia*, 2014, vol. 50, p. 113-120. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.014>
34. KAŻMIERCZAK, Bernadetta; MOLENDĄ, Jarosław; SWAT, Marek. The adsorption of chromium (III) ions from water solutions on biocarbons obtained from plant waste. *Environmental Technology & Innovation*, 2021, p. 101737. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101737>
35. LAY, Makara, et al. Converting dead leaf biomass into activated carbon as a potential replacement for carbon black filler in rubber composites. *Composites Part B: Engineering*, 2020, vol. 201, p. 108366. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108366>
36. LEHMANN, J. Biochar for environmental management: An introduction. In 'Biochar for environmental management: Science and technology'. (Eds J Lehmann, S Joseph) pp. 1–12. International Biochar Initiative: Westerville, OH, USA, 2009.
37. LI, Bing, et al. Effective immobilization of hexavalent chromium from drinking water by nano-FeOOH coating activated carbon: Adsorption and reduction. *Journal of Environmental Management*, 2021, vol. 277, p. 111386. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111386>
38. LIANG, Hongxu, et al. Preparation of nitrogen-doped porous carbon material by a hydrothermal-activation two-step method and its high-efficiency adsorption of Cr (VI). *Journal of hazardous materials*, 2020, vol. 387, p. 121987. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121987>
39. MCLEAN, Jeff; BEVERIDGE, Terry J. Chromate reduction by a pseudomonad isolated from a site contaminated with chromated copper arsenate. *Applied and*

- Environmental Microbiology, 2001, vol. 67, no 3, p. 1076-1084. Disponible en: <https://doi.org/10.1128/AEM.67.3.1076-1084.2001>
40. MIDDLETON, Sarah S., et al. Cometabolism of Cr (VI) by *Shewanella oneidensis* MR-1 produces cell-associated reduced chromium and inhibits growth. *Biotechnology and bioengineering*, 2003, vol. 83, no 6, p. 627-637. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/bit.10725>
41. NORDBERG, Gunnar F.; FOWLER, Bruce A.; NORDBERG, Monica (ed.). *Handbook on the Toxicology of Metals*. Academic press, 2014. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=ZFxzAwAAQBAJ&lpg=PP1&ots=AMt4riBNcV&dq=%20Handbook%20on%20the%20Toxicology%20of%20Metals&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q=Handbook%20on%20the%20Toxicology%20of%20Metals&f=false>
42. PACIONE, Michael (ed.). *Applied geography: principles and practice: an introduction to useful research in physical, environmental and human geography*. Psychology Press, 1999. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-008044910-4.00663-5>
43. PANDEY, Satyendra C.; PATNAIK, Srilata. Establishing reliability and validity in qualitative inquiry: A critical examination. *Jharkhand journal of development and management studies*, 2014, vol. 12, no 1, p. 5743-5753. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/266676584\\_ESTABLISHING\\_RELIABILITY\\_AND\\_VALIDITY\\_IN\\_QUALITATIVE\\_INQUIRY\\_A\\_CRITICAL\\_EXAMINATION](https://www.researchgate.net/publication/266676584_ESTABLISHING_RELIABILITY_AND_VALIDITY_IN_QUALITATIVE_INQUIRY_A_CRITICAL_EXAMINATION)
44. Pellerin , SM Booker Reinard. *Perspectiva de salud*. 108 ( 9 ) ( 2000 ) , pág. 402.
45. PUZON, Geoffrey J., et al. Mobility and recalcitrance of organo–chromium (III) complexes. *Chemosphere*, 2008, vol. 70, no 11, p. 2054-2059. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.09.010>
46. PRAJAPATI, Anuj Kumar; DAS, Shridipta; MONDAL, Monoj Kumar. Exhaustive studies on toxic Cr (VI) removal mechanism from aqueous solution using activated carbon of Aloe vera waste leaves. *Journal of Molecular Liquids*, 2020, vol. 307, p. 112956. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.112956>

47. REBOLLEDO, Ariadna Escalante, et al. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Revista terra latinoamericana*, 2016, vol. 34, no 3, p. 367-382. Disponible en: ISSN 0187-5779
48. ROBLES-CAMACHO, J.; ARMIENTA, M. A. Natural chromium contamination of groundwater at Leon Valley, Mexico. *Journal of Geochemical Exploration*, 2000, vol. 68, no 3, p. 167-181. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(99\)00083-7](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(99)00083-7)
49. SANTHOSH, Chella, et al. Role of nanomaterials in water treatment applications: a review. *Chemical Engineering Journal*, 2016, vol. 306, p. 1116-1137. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.053>
50. SOLGI, Mostafa, et al. Synthesis and characterization of novel activated carbon from Medlar seed for chromium removal: Experimental analysis and modeling with artificial neural network and support vector regression. *Resource-Efficient Technologies*, 2017, vol. 3, no 3, p. 236-248. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.reffit.2017.08.003>
51. SONI, Richa; BHARDWAJ, Shefali; SHUKLA, Dericks Praise. Various water-treatment technologies for inorganic contaminants: current status and future aspects. En *Inorganic Pollutants in Water*. Elsevier, 2020. p. 273-295. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818965-8.00014-7>
52. STRAIF, Kurt, et al. A review of human carcinogens--part C: metals, arsenic, dusts, and fibres. *The Lancet. Oncology*, 2009, vol. 10, no 5, p. 453-454. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(09\)70134-2](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(09)70134-2)
53. Sueker, J.K. (1964). Chromium. *Environmental Forensics*, 81–95. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-012507751-4/50027-6>
54. SUN, Yuanyuan, et al. Enhanced adsorption of chromium onto activated carbon by microwave-assisted H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> mixed with Fe/Al/Mn activation. *Journal of hazardous materials*, 2014, vol. 265, p. 191-200. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.11.057>
55. SUN, Rui-Qin, et al. Catalytic performance of porous carbons obtained by chemical activation. *Carbon*, 2008, vol. 46, no 13, p. 1757-1764. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2008.07.029>

56. TANGJUANK, S., et al. Adsorption of lead (II) and cadmium (II) ions from aqueous solutions by adsorption on activated carbon prepared from cashew nut shells. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009, vol. 52, p. 110-116.
57. TRIPATHI, Shivam Mani; CHAURASIA, ShriRam. Detection of Chromium in surface and groundwater and its bio-absorption using bio-wastes and vermiculite. Engineering Science and Technology, an International Journal, 2020, vol. 23, no 5, p. 1153-1161. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.12.002>
58. TIAN, Wenjie, et al. Biomass-derived functional porous carbons for adsorption and catalytic degradation of binary micropollutants in water. Journal of hazardous materials, 2020, vol. 389, p. 121881. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121881>
59. TU, Biyang, et al. Efficient removal of aqueous hexavalent chromium by activated carbon derived from Bermuda grass. Journal of colloid and interface science, 2020, vol. 560, p. 649-658. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.10.103>
60. THABEDE, Patience Mapule, et al. Adsorption studies of toxic cadmium (II) and chromium (VI) ions from aqueous solution by activated black cumin (*Nigella sativa*) seeds. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2020, vol. 8, no 4, p. 104045. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104045>
61. VALENTÍN-REYES, J., et al. Adsorption mechanisms of hexavalent chromium from aqueous solutions on modified activated carbons. Journal of environmental management, 2019, vol. 236, p. 815-822. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.014>
62. VIGANO, CATHERINE; RUYSSCHAERT, JEAN-MARIE; KONINGS, WILN. BACTERIAL MULTIDRUG RESISTANCE MEDIATED BY ABC TRANSPORTERS GERRIT J. POELAREND. ABC Proteins: From Bacteria to Man, 2003, p. 243. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-012352551-2/50013-5>

63. WANG, Gen, et al. Magnetic mesoporous carbon nanospheres from renewable plant phenol for efficient hexavalent chromium removal. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2021, vol. 310, p. 110623. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2020.110623>
64. WANG, Tao, et al. A novel ternary magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Carbon layer composite for efficient removal of Cr (VI): A combined approach using both batch experiments and theoretical calculation. *Science of the Total Environment*, 2020, vol. 730, p. 138928. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138928>
65. WANG, Yongmei, et al. Cr (VI) adsorption on activated carbon: mechanisms, modeling and limitations in water treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2020, vol. 8, no 4, p. 104031. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104031>
66. WU, Feng, et al. Recycling supercapacitor activated carbons for adsorption of silver (I) and chromium (VI) ions from aqueous solutions. *Chemosphere*, 2020, vol. 238, p. 124638. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124638>
67. YAKOUT, S. M.; EL-DEEN, G. Sharaf. Characterization of activated carbon prepared by phosphoric acid activation of olive stones. *Arabian journal of chemistry*, 2016, vol. 9, p. S1155-S1162. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.12.002>
68. YAHYA, Muibat Diekola, et al. Characterization of cobalt ferrite-supported activated carbon for removal of chromium and lead ions from tannery wastewater via adsorption equilibrium. *Water Science and Engineering*, 2020, vol. 13, no 3, p. 202-213. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wse.2020.09.007>
69. YAO, Bing, et al. Removal of hexavalent chromium in aqueous solution using organic iron-based composites synthesized and immobilized by natural dried willow leaves. *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 247, p. 119132. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119132>

70. YUE, Zhongren, et al. Removal of chromium Cr (VI) by low-cost chemically activated carbon materials from water. *Journal of hazardous materials*, 2009, vol. 166, no 1, p. 74-78. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.10.125>
71. ZHAO, Jiaming, et al. Corn stalk-based activated carbon synthesized by a novel activation method for high-performance adsorption of hexavalent chromium in aqueous solutions. *Journal of colloid and interface science*, 2020, vol. 578, p. 650-659. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.06.031>

## ANEXOS

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO</b>
--	---------------------------------------

**TITULO:**

<b>DATOS DEL AUTOR: NOMBRE(S)</b>		
<b>PAGINAS UTILIZADAS</b>	<b>AÑO DE PUBLICACION</b>	<b>LUGAR DE PUBLICACION</b>
<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b>		
<b>CÓDIGO:</b>		
<b>PALABRAS CLAVES :</b>		
<b>TÉCNICA DE CARACTERIZACIÓN:</b>	FTIR: SEM: BET:	
<b>REACTIVO QUÍMICO</b>	HIDRÓXIDO DE POTASIO (KOH) PERMANGANATO DE POTASIO (KMNO4) ÁCIDO FOSFÓRICO (H3PO4)	
<b>PORCENTAJE DE REMOCIÓN</b>	CONCENTRACIÓN INICIAL: CANTIDAD DE METAL ADSORBIDO:	
<b>RESULTADOS :</b>		
<b>CONCLUSIONES:</b>		

*Elaboración propia*



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, HONORES BALCAZAR CÉSAR FRANCISCO docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, asesor de Tesis titulada: "CARBÓN ACTIVADO CON RESIDUOS DE PLANTAS SECAS PARA LA ADSORCIÓN DE CROMO EN MEDIO ACUOSO: REVISIÓN SISTEMÁTICA", cuyos autores son ALVAREZ RAMOS ANGELICA, QUISPE TAYPE SANDRA KAREN, constato que la investigación cumple con el índice de similitud establecido, y verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

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

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

Lima, 02 de noviembre de 2021

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
HONORES BALCAZAR CÉSAR FRANCISCO <b>DNI:</b> 41134159 <b>ORCID:</b> 0000-0003-3202-1327	