

# UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



*Una Institución Adventista*

**Determinación de la Remoción de Cromo (VI) de aguas mediante la adsorción por carbono a partir de las baterías de litio recicladas modificadas con  $MnO_2$ .**

Por:

Maritza Condori Huancapaza  
José Hernando Quispe Yapó

Asesor:

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

**Lima, julio del 2020**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Ing. Milda Amparo Cruz Huaranga, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión

### DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: “**Determinación de la Remoción de Cromo (VI) de aguas mediante la adsorción por carbono a partir de las baterías de litio recicladas modificadas con  $MnO_2$** ” constituye la memoria que presenta los estudiantes **Maritza Condori Huancapaza y José Hernando Quispe Yapó**, para aspirar Grado académico de bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, a los 20 días de agosto del año 2020.



---

Ing. Milda Amparo Cruz Huaranga

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a.....30..... día(s) del mes de.....julio.....del año ..2020.. siendo las...15:50...horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):  
 .....Ing. Orlando Alan Poma Porras.....,el(la) secretario(a):  
 .....Mg. David Andres Sumire Quenta..... y los demás miembros:  
 .....Ing. Josue Isac Carrillo Espinoza, Mg. Javier Raúl Condor Huamán.....  
 .....y el(la) asesor(a) ..... Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga  
 ..... con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: ..... Determinación de la Remoción de Cromo (VI) de aguas mediante la adsorción por carbono a partir de las baterías de litio recicladas modificadas con MnO2.....

.....de los (las) egresados (as): a) Maritza Condori Huancapaza.....  
 .....b) Jose Hernando Quispe Yapó.....  
 .....conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en  
 .....Ingeniería Ambiental.....  
*(Denominación del Grado Académico de Bachiller)*

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando.....a los..... candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por.....los..... candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Maritza Condori Huancapaza.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

Candidato/a (b): Jose Hernando Quispe Yapó.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó.....a los..... candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
 Presidente/a

  
 \_\_\_\_\_  
 Secretario/a

\_\_\_\_\_  
 Asesor/a

\_\_\_\_\_  
 Miembro

\_\_\_\_\_  
 Miembro

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (a)

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (b)

# **Determinación de la Remoción de Cromo (VI) de aguas mediante la adsorción por carbono a partir de las baterías de litio recicladas modificadas con MnO<sub>2</sub>.**

## **DETERMINATION OF CHROMIUM (VI) REMOVAL FROM WATERS BY CARBON ADSORPTION FROM RECYCLED LITHIUM BATTERIES MODIFIED WITH MNO<sub>2</sub>.**

CONDORI HUANCAPAZA MARITZA<sup>1</sup> QUISPE YAPO JOSÉ HERNANDO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela profesional de Ingeniería Ambiental, Lima – Perú

---

### **Resumen**

Este artículo de revisión tiene como objetivo revisar los últimos avances sobre la factibilidad de la remoción del cromo (VI) mediante la adsorción de carbono. A lo largo de la revisión se presenta investigaciones sobre los diferentes tipos de residuos (orgánicos e inorgánicos) empleados como precursores para la obtención del carbón activado, los cuales fueron aplicados para la remoción de Cr (VI) ya que poseen una buena estructura porosa y capacidad de adsorción, además se especifica y analiza los resultados obtenidos por los investigadores. Se concluye que en las investigaciones presentadas dan significancia a los residuos para la síntesis de carbón activado además son económicamente viables y ayuda a reducir la contaminación del ambiente. Por otra parte, se determinó que la adsorción de cromo (VI) partir del activado del ánodo de baterías ion litio modificado con MnO<sub>2</sub> es realizable mediante un proceso adecuado y a condiciones óptimas.

*Palabras claves: Carbón activado, Adsorción, Cromo (VI), Baterías de Ion Litio recicladas*

---

### **Abstract**

This review article aims to review the latest advances in the feasibility of removing chromium (VI) through carbon adsorption. Throughout the review, research is presented on the different types of waste (organic and inorganic) used as precursors for obtaining activated carbon, which were applied for the removal of Cr (VI) since they have a good porous structure and adsorption capacity, in addition the results obtained by the researchers are specified and analyzed. It is concluded that in the presented investigations they give significance to the residues for the synthesis of activated carbon, they are also economically viable and help to reduce the contamination of the environment. On the other hand, it was determined that the adsorption of chromium (VI) from the activation of the lithium ion battery anode modified with MnO<sub>2</sub> is feasible by a suitable process and under optimal conditions.

*Keywords: Activated carbon, Adsorption, Chromium (VI) y Recycled Lithium Ion batteries*

---

<sup>1</sup> Autor de correspondencia:  
Universidad Peruana Unión, EP. Ingeniería Ambiental  
Km. 19 Carretera Central, Ñaña, Lima  
Tel.: 957400470  
E-mail: [maritza.ch@upeu.edu.pe](mailto:maritza.ch@upeu.edu.pe)<sup>1</sup> y [hernandoquispe@upeu.edu.pe](mailto:hernandoquispe@upeu.edu.pe)<sup>2</sup>

## 1. Introducción

La contaminación de aguas por metales pesados tóxicos es producto del vertido de efluentes industriales, entre los metales vertidos en fuentes hídricas se encuentra el Cromo (VI), agente oxidante que pertenece a los metales pesados más tóxicos, mutagénicos y cancerígenos, considerado como 100 veces más dañino aproximadamente que el Cr (III), que es la otra forma estable de cromo que existía en el medio ambiente (Wang et al., 2016). El Cr (VI) es “generado por la minería, industrias de curtiembre, galvanoplastia, y en la producción de acero, cemento, colorantes, material fotográfico y pinturas corrosivas” (Ramírez et al., 2020), representando un daño significativo para el ecosistema y la salud humana” (Ramírez et al., 2020)

Debido a estas problemáticas, en la actualidad se vienen realizando estudios para el tratamiento de aguas contaminadas por los metales pesados, para lo cual se están aplicando diferentes metodologías convencionales como la filtración por membrana, osmosis inversa, nanofiltración, ultrafiltración, adsorción, electrodiálisis y floculación – coagulación y los no convencionales; fotoremediación, hidrogeles y biopolímeros, a la misma vez se busca reducir costos energéticos y operacionales (Vidal et al., 2018).

Efome, et al., (2018) indica que en los últimos años la adsorción, entre las técnicas mencionadas anteriormente sobre la eliminación de metales pesados, se reconoce como el mejor proceso de tratamiento de las aguas contaminadas por metales pesados, debido a las características de bajo costo, alta eficiencia y fácil de operar.

Muchas investigaciones se centran en sintetizar adsorbentes más accesibles y rentables, entre ellos están las investigaciones de (Demarchi et al., 2019; Gómez, et al., 2018; Rai et al., 2016; Tu et al., 2020; Wu et al., 2020; Zhao et al., 2017), quienes realizaron con diferentes residuos que son abundantes y de bajo costo, como residuos orgánicos (de origen leguminosa, híbridos, fructífero, etc.) e inorgánicos (carbón de condensadores, heces de termitas, arenas petrolíferas, baterías de ion litio, etc.), además pueden seleccionarse como precursores de un adsorbentes. Sin embargo, es necesario un proceso de activación química a alta temperatura usando un activador cáustico para que estos precursores obtengan un área superficial específica alta, o de lo contrario la capacidad de adsorción era bastante baja.

Estudios recientes han demostrado que el óxido de manganeso es uno de los más prometedores adsorbentes para la eliminación de metales pesados del agua debido a sus características, por ejemplo; área de superficie alta, buena estabilidad bajo condiciones ácidas (Kim, et al., 2013 & Wan et al., 2016). Gheju et al., (2016), informó que la capacidad máxima de adsorción del dióxido de manganeso fue  $0.83 \text{ mg. g}^{-1}$ , el cual se obtuvo a condiciones óptimas de pH 5.9 y temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo, el óxido de manganeso es poco práctico para ser aplicado de forma independiente debido a su fácil conglomerado, una mala dispersión y la propiedad de separación débil (Ren et al., 2011; Sari & Tüzen, 2013).

El uso de baterías de iones de litio ha aumentado rápidamente en la última década, lo cual pueden llegar a ser un problema grave si no tiene un tratamiento adecuado debido a la existencia de metal tóxico o compuestos inflamables (Bertuol et al., 2016). Sin embargo, el reciclaje de desechos incluyendo el carbón podría traer

beneficios económicos ya que existen investigaciones como el de Zhao et al., (2017), usaron el ánodo como materia prima para la preparación de nuevos adsorbente de carbono aplicado en el tratamiento de aguas contaminadas con metal pesado.

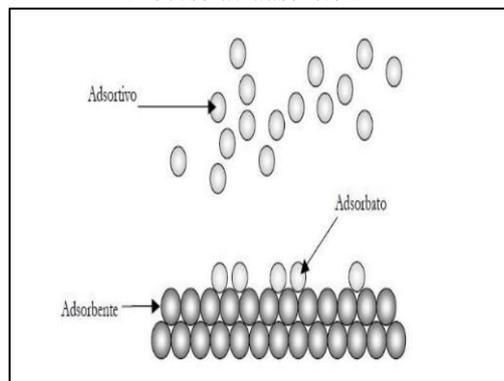
El ánodo recuperado de los baterías de Ion de litio (LIBs) muestra un gran superficie y estructura de carbono estable y puede ser un material de soporte poroso deseado para el óxido de manganeso. Entonces el  $MnO_2$  modificado al carbón del LIBs son eficientes para el tratamiento de aguas contaminadas por metales y también es un enfoque ecológico, el cual beneficiara la economía y el ambiente (Zhao et al., 2017).

Es por ello, que el objetivo de este artículo es revisar bibliografía de los últimos avances sobre la factibilidad de la remoción del cromo (VI) mediante la adsorción de carbono.

## 2. Adsorción

La adsorción el cual implica la transferencia de una sustancia en la acumulación a la superficie de otra. Un proceso donde un sólido se utiliza para quitar una sustancia soluble del agua (Francisco 2013).

**Figura 1.**  
*Proceso de adsorción*



*Fuente:*(Adsorción et al., 2013)

### 2.1. Tipos de adsorción

#### 2.1.1. Adsorción Física

Originada principalmente por las Fuerzas de Van der Waals y electrostáticas, dándose estas entre las moléculas del adsorbato y los átomos que componen la superficie del adsorbente y reversible (Fernández Pino, 2011).

#### 2.1.2. Adsorción química.

Resultado de la interacción química entre el sólido y la sustancia adsorbida. Se lleva a cabo cuando la sustancia se une a la superficie mediante fuerzas covalente, irreversible a menos que sean cambios muy drásticos (Fenol, 2008).

## 2.2. Factores que intervienen la adsorción.

### 2.2.1. pH

Según Pakade et al., (2017) el pH de la solución afecta tanto a la química del adsorbato como al adsorbente, no obstante los adsorbentes que dependen de la atracción electrostática suelen dar altas eficiencias de eliminación a bajos valores de pH.

### 2.2.2. Temperatura del fluido.

El aumento de temperatura mejora la adsorción de los metales pesados, (Carvajal & Bastidas, 2019), sin embargo, la capacidad de adsorción del carbón activado disminuye a mayores temperaturas en fluidos no viscosos (Cajusol Rivera, 2019).

### 2.2.3. Tamaño de los Poros.

El tamaño de los poros afecta en la adsorción de contaminantes presentes en el agua, mientras el poro sea de menor tamaño la absorción aumenta (Li et al., 2002).

### 2.2.4. Dosis del Adsorbente.

Según Pakade et al.,(2017) el incremento de la dosis de adsorbente provoca una disminución de la capacidad de adsorción.

## 3. Carbón activado

Los carbones activados son aprovechados para el tratamiento de aguas, con la finalidad de adsorber metales pesados y otros contaminantes, su eficiencia de remoción depende básicamente de la textura y la química superficial (Aylas et al., 2016).

Bastidas et al., (2010) menciona que la preparación se lleva a través de procesos físicos o químicos, con la adición de químicos para su activación. Los carbones activados son usados comúnmente en procesos de descontaminación de aguas, recuperación de solventes, control de emisiones, decoloración de líquidos, eliminación de olores, soportes catalíticos y otros procesos.

Según la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry - Unión Internacional de Química Pura y Aplicada), se distinguen tres grupos de poros según su tamaño (Callewaert, 2014).

**Tabla 1.**  
*Clasificación de tamaño de poros*

Clasificación del tamaño de poros	
Macroporos	> 50 nm diámetro
Mesoporos	2-50 nm diámetro
Microporos	> 2 nm diámetro

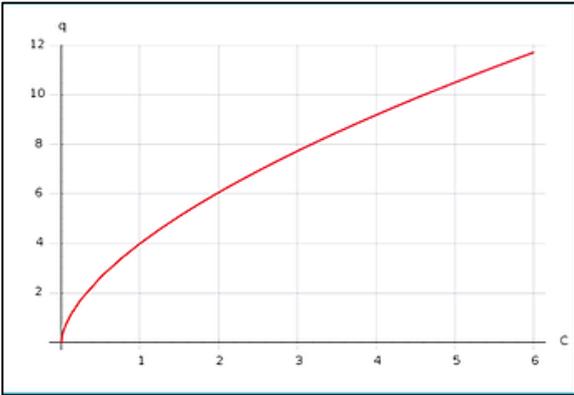
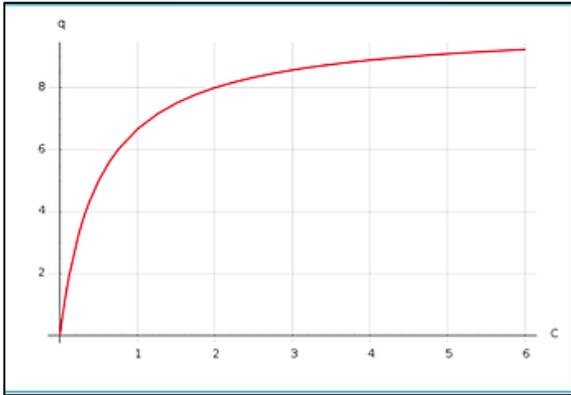
**Fuente:** Callewaert (2014).

## 4. Modelos teóricos de equilibrio del proceso.

### 4.1. Isoterma de adsorción.

Isotermas de adsorción y la determinación del parámetro “ $q_e$ ”, que mide la capacidad de adsorción del sustrato (adsorbato) en el adsorbente y el parámetro C que expresa la cantidad de adsorbato (Fenol, 2008), describen una relación de equilibrio entre la concentración que se logra en la fase fluida y también en las partículas de adsorbente, a cierta temperatura (Medina et al., 2015).

**Tabla 2.**  
Definición y características de los modelos Freundlich y Langmuir.

	FREUNDLICH	LANGMUIR
Definición	Las isotermas de Freundlich y Langmuir son aproximaciones lineales que describen la distribución entre el adsorbente y la solución. También son conocidos como modelos teóricos y funcionan solo bajo unos fundamentos específicos. Estos dos modelos son los más comunes y se suelen emplear para comparar el rendimiento del proceso de adsorción.	
Ecuación	$q_e = K * C_e^{\frac{1}{n}}$	$q_e = q_{max} * \frac{C_e * b}{(1 + b * C_e)}$
	$q_e$ : Cantidad adsorbida en equilibrio	$q_e$ : Cantidad adsorbida en equilibrio
	$C_e$ : Concentración de metal en equilibrio	$C_e$ : Concentración de metal en equilibrio
Parámetros	$K$ : Constante de equilibrio de FREUNDLICH	$b$ : Constante referida a la afinidad de adsorción entre el adsorbente y adsorbato.
	$n$ : Constante referida a la afinidad de adsorción entre el adsorbente y adsorbato.	$q_{max}$ : Constante referida a la cantidad máxima de adsorción del adsorbente.
Forma lineal	$\log(q_e) = \log(K) + \frac{1}{n} * \log(C_e)$	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{bq_{max}} + \frac{1}{q_{max}} * q_e$
Aproximación		

**Fuente:** Martínez, (2015).

### 4.2. Cinética de adsorción.

En la adsorción, como proceso dependiente del tiempo, la velocidad efectiva de la adsorción depende tanto de las condiciones de operación (Flujo, temperatura, composición y presión) que son necesarios conocer su rapidez para el diseño y evaluación de adsorbentes. (Castellar-Ortega et al., 2019). Es importante porque la cinética describe la tasa de absorción de adsorbato, que a su vez controla al residente tiempo en la interfaz adsorbente-solución.

### 4.2.1. Modelo cinético de adsorción.

**Tabla 3.**  
*Modelos cinéticos*

Modelo cinético	Ecuación	Parámetro
Pseudo-primer orden	$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t})$	$q_e$ : es la capacidad de adsorción en equilibrio, $k_1$ es la constante de pseudo primer orden.
Pseudo-segundo orden	$q_t = \frac{t}{\left(\frac{1}{k_2 q_e^2}\right) + \left(\frac{t}{q_e}\right)}$	$K_2$ : es la constante de pseudo segundo orden, $q_e$ es la capacidad de adsorción en equilibrio.
Ecuación de Elovich	$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha \beta) + \frac{1}{\beta} \ln t$	$\alpha$ : es la constante de la ecuación de elovich, $\beta$ es el exponente en la ecuación elovich
Difusión intraparticular	$q_t = k\sqrt{t}$	$K$ : es la constante de difusión.

*Fuente:* Tejada-Tovar et al., (2015)

### 4.3. Microscopia de barrido electrónico.

Una técnica que utiliza electrones en lugar de luz para formar una imagen, con la finalidad de ver la parte de la estructura porosa que en la química del carbón también influencia la capacidad de adsorción (Farrow & Baker 2015).

**Figura 2.**  
*Microscopia de barrido electrónico*



*Fuente:* Redbionova, (2015).

## 5. Adsorbentes a base de carbono

Desde hace más de una década se han presentado artículos de revisión sobre la aplicación de Carbones Activados (CA) en la remediación de contaminantes como el cromo del agua, lo que implica la existencia de un gran potencial para el uso de CA en la eliminación de cromo (VI) del agua (Ioannidou & Zabaniotou, 2007; Mohan & Pittman, 2006). La preparación de la CA generalmente se realiza mediante la carbonización de la materia prima a temperaturas inferiores a 800 ° C en ausencia de oxígeno seguido de la activación del producto carbonizado (carbón), que se realiza física o químicamente (Dias et al., 2007; Ioannidou & Zabaniotou, 2007). Los AC comerciales son caros, y esto ha llevado a la generación de adsorbentes de bajo costo por muchos investigadores que usan materiales de desechos (Demarchi et al., 2019; Ioannidou & Zabaniotou, 2007).

Algunas AC utilizadas para la eliminación de Cr (VI) de soluciones acuosas derivadas recientemente son:

### 5.1.1. Residuos de condensadores

Wu et al., (2020) presentaron una investigación titulada “*Reciclaje de carbones activados por supercondensador para la adsorción de iones de plata (I) y cromo (VI) en soluciones acuosas*”, cuyo objetivo fue remover plata Ag (I) y cromo hexavalente Cr (VI) mediante un adsorbente de alta eficiencia, a través del reciclaje de carbón activado de supercondensadores comerciales gastados, para ello fijaron condiciones óptimas de concentración inicial 200 mg/l con una dosis de 2 g/l, a temperatura ambiente, pH 1.5 y tiempo de contacto 6 hr. mostrando así los resultados con capacidades máxima de adsorción de 104,0 y 96.3mg para Ag (I) y Cr (VI).



### 5.1.2. Restos de arenas petrolíferas

Gómez et al., (2018) presentaron un estudio titulada “*Optimización del Proceso de Adsorción de Cr(VI) sobre Carbón Activado de Origen Bituminoso*”, dichos autores utilizaron las arenas petrolíferas como adsorbente de Cr (VI) en una solución acuosa, establecieron las siguientes condiciones óptimas del proceso (pH de 2, a 40°C y dosis de adsorbente de 6 g.L-1) y concentración inicial de 1000 mg/L, obteniendo como resultado con estas condiciones experimentales la eficiencia de remoción de Cr(VI) fue del 100%, el carbón activado mostró una alta capacidad de adsorción (16.53 mg.g-1), alcanzando el equilibrio de adsorción en menos de 60 minutos y el proceso de adsorción se ajustó a un modelo cinético y modelo de adsorción de Langmuir.

**Figura 4.**  
*Restos de arena petrolífera*



*Fuente:* Gómez et al., (2018).

### 5.1.3. Grama de pasto de bermuda

En el investigación presentado por (Biyang et al., 2020) sobre la “Eliminación eficiente de cromo hexavalente acuoso por carbón activado derivado de pasto Bermuda”, el carbón activado fue desarrollado a partir de pasto de Bermuda (BGAC) con el fin de controlar el cromo hexavalente de aguas residuales. La mejor condición captada fue el valor de pH 2, concentración inicial del CR (VI) 200 mg/l<sup>-1</sup>, dosis adsorbente 0.5 g/l<sup>-1</sup>, tiempo de contacto por 18 Hr a temperatura ambiente. La máxima adsorción del estudio fue 403.23 mg g<sup>-1</sup>.

**Figura 5.**

*Pasto de Bermuda*



*Fuente:* Biyang et al., (2020).

### 5.1.4. Heces de termitas

Demarchi et al., (2019), realizaron un estudio sobre “Preparación, caracterización y aplicación de carbón activado magnético a partir de heces de termitas para la adsorción de Cr (VI) a partir de soluciones acuosas”. El carbón activado por carbono magnético (MAC) Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> se desarrolló utilizando heces de termitas y ácido sulfúrico como agente modificador del carbono. Se alcanzó 66 mg g<sup>-1</sup> de capacidad máxima de adsorción, a temperatura 25 ° C, pH 3, concentración inicial 50 mg/l con una dosis de 5 g/l y tiempo de contacto 2 Hr.

**Figura 6.**

*Heces de termitas*



*Fuente:* Demarchi et al., (2019).

### 5.1.5. Cáscara de nuez

Pakade, et al., (2017) en el proyecto de investigación titulado “*Secuestro de cromo hexavalente de soluciones acuosas por carbón activado derivado de cáscaras de nuez de macadamia*” investigó la viabilidad de los carbones activados preparados a partir de cáscaras de nuez de macadamia como un adsorbente eficiente para la eliminación del cromo hexavalente (Cr (VI)) de las soluciones acuosas. Para la eliminación efectiva de Cr (VI), los parámetros óptimos encontrados fueron concentración inicial  $100 \text{ mg L}^{-1}$ , pH 2, 120 minutos de tiempo de contacto y  $0.2 \text{ g/l}$  de sorbente. Mostrando así la capacidad de adsorción de  $22,3 \text{ mg g}^{-1}$  con una eficiencia de 96%.

**Figura 7.**  
*Cáscara de nuez*



*Fuente:* Pakade, et al., (2017).

### 5.1.6. Grano de mango

Rai et al., (2016) en su investigación de “*Eliminación de cromo hexavalente Cr (VI) usando carbón activado preparado a partir de grano de mango activado con  $\text{H}_3\text{PO}_4$* ” experimentó la adsorción de Cr (VI) empleando como materia prima los granos de las cáscaras secas de mango el cual se sacaron y se pulverizaron en un molino de micropulverización. El polvo obtenido se activó con  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . En los experimentos realizados determinaron las que condiciones óptimas son; concentración inicial de  $20 \text{ mg/L}$ , dosis  $2.5 \text{ g/1000ml}$ , pH 2 a una temperatura de  $35^\circ \text{ C}$ . alcanzando una capacidad máxima de adsorción de Cr (VI) era de  $7.8 \text{ mg g}^{-1}$

**Figura 8.**  
*Grano de Mango*



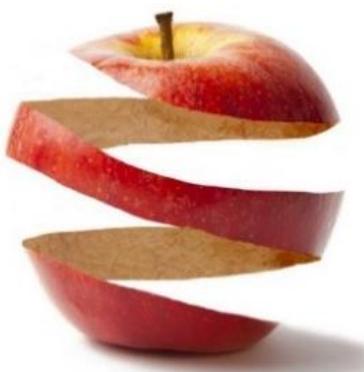
*Fuente:* Pinterest, (2019).

### 5.1.7. Cáscara de manzana

Doke & Khan,(2017) presentaron una investigación titulada “*Equilibrio, cinética y mecanismo de difusión de la adsorción de Cr (VI) sobre carbón activado derivado de la cáscara de manzana*”, dicho estudio investigó la eliminación de Cr (VI) de una solución acuosa en carbón activado derivado de la cáscara de manzana. La cáscara de manzana de madera en polvo se activó con ácido  $H_2SO_4$  y tratamiento térmico en horno de mufla a  $600\text{ }^\circ\text{C}$  durante 2 hr. La eficacia de eliminación de Cr (VI) fue superior al 95% a pH (1,8) y una cantidad muy baja de  $1,25\text{ g/L}^{-1}$  de carbón activado para una concentración inicial de cromo hexavalente de  $75\text{ mg/L}$ .

**Figura 9.**

*Cascara de manzana*



*Fuente:* Elpais, (2019).

### 5.1.8. Torta de prensa

Norouzi et al., (2018) en el estudio dominado “*Preparación, caracterización y evaluación de adsorción de Cr (VI) del carbón activado con NaOH producido a partir de torta de prensa; un desperdicio agroindustrial*”, usaron la torta de prensa para el carbón activado utilizando NaOH. El carbón activado preparado mostró un área superficial específica alta ( $2025.9\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$ ) y textura microporosa (86.01%). Se aplicó con éxito para la adsorción de Cr (VI) de soluciones acuosas, a condiciones óptimas determinadas en el estudio (temperatura ambiente, rpm = 250, dosis =  $1\text{ g/L}$ , concentración inicial  $300\text{ mg/L}$ ) alcanzando capacidades máximas de adsorción hasta  $282.8\text{ mg g}^{-1}$  (pH = 2). Los datos cinéticos e isotérmicos experimentales de adsorción de Cr (VI) sobre el carbón activado fueron descritos por los modelos Elovich y Redlich-Peterson.

**Figura 10.**

*Torta de prensa*



*Fuente:* Norouzi et al., (2018).

### 5.1.9. Carbón activado

En el estudio presentado por (Nowruzi et al., 2020) sobre la “*Síntesis de un quitosano / alcohol polivinílico / biocompuesto de carbón activado para la eliminación de cromo hexavalente de una solución acuosa*”, se sintetizó un biocompuesto de quitosano / alcohol polivinílico / carbón activado y se usó para la eliminación de cromo hexavalente de una solución acuosa. Se obtuvo una adsorción máxima de 109,89 (mg / g) en condiciones operativas de Ph=2, Dosis=4.9 g/L, concentración inicial de 110 ml/L a un tiempo de equilibrio 4Hr.

**Figura 11.**

*Carbón activado (comercial)*



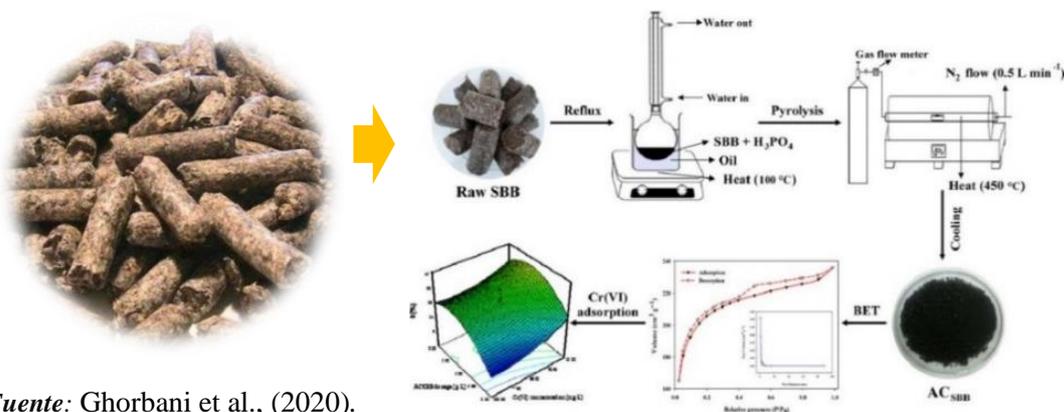
*Fuente:* Nowruzi et al., (2020).

### 5.1.10. Bagazo de remolacha azucarera

Ghorbani et al., (2020) presentaron una investigación titulado “*Optimización y modelado de la adsorción acuosa de Cr (VI) sobre carbón activado preparado a partir de residuos agrícolas de bagazo de remolacha azucarera mediante la aplicación de metodología de superficie de respuesta*”, usaron residuos del bagazo de remolacha azucarera (SSB) como precursor para la producción de carbón activado. El carbón activado preparado por le bagazo de remolacha azucarera (AC SBB) se usó para la eliminación de Cr (VI) de soluciones acuosas. En el estudio determinaron que las condiciones óptimas para remover el Cr (VI) es; pH =4, dosis 1.49 g/l, temperatura (20-30 °C) y concentración inicial de 10.13 mg/l. La remoción alcanzo una capacidad de 52.8 mg/g.

**Figura 12.**

*Bagazo de remolacha azucarera*



*Fuente:* Ghorbani et al., (2020).

### 5.1.11. Bagazo de la caña de azúcar

Sharma et al., (2019) en su investigación “*Tetrápodos de ZnO y compuesto híbrido basado en carbón activado: adsorbentes para una descontaminación mejorada de cromo hexavalente a partir de una solución acuosa*”. usaron como adsorbente del Cr (VI) el nanocompuesto de ZnO-tetrapods / carbón activado (ZnO-T / AC) para ello sintetizó el carbón activado a partir del bagazo de la caña de azúcar por activación química por hidróxido de sodio y en el carbón activado se introdujo el tridimensional de ZnO-tetrapodal. En el proceso de la reducción de Cr (VI) usando adsorbente de ZnO-T / AC se realizó pruebas hasta llegar a las condiciones óptimas pH (2), el tiempo de contacto (3 Hr.) y la dosis del adsorbente (2 g/L) con una concentración inicial de 10 mg/L. Se logró una remoción de 96 % y una capacidad de remoción de 6.64 mg/g<sup>-1</sup>.

**Figura 13.**

Bagazo de la caña azucarera



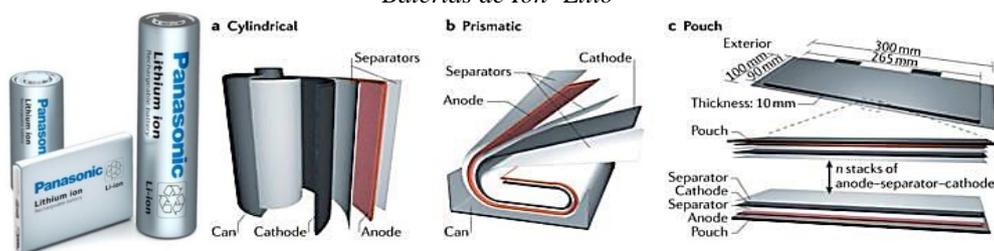
*Fuente:* Thamizhparithi Maari.

### 5.1.12. Ánodo de las baterías de Ion de Litio (LIBs)

Zhao et al., (2017) usó MnO<sub>2</sub> en partículas de grafito obtenidas a partir de baterías de iones de litio logrando así (MnO<sub>2</sub>- AG) para tratar el plomo, el cadmio y plata en aguas. La modificación MnO<sub>2</sub>- AG realizó una amplia mejora de la capacidad de la absorción del Pb (II), Cd (II) y Ag (I), alcanzando una capacidad máxima de 99.88 mg/g, 29.49 mg/g y 67.80 mg/g con una eficiencia de 99,9%, 79,7% y 99,8%, respectivamente. Para ello determinaron que las condiciones óptimas fueron; pH 4, dosis 1g/L, concentración inicial de 50 mg/l por un tiempo de equilibrio de 24 hrs a 200 rpm y a una temperatura de ±23 °C.

**Figura 14.**

Baterías de Ion- Litio



*Fuente:* Zhao et al., (2017).

**Tabla 4.***Comparación de eficiencia de remoción de Cr (VI)*

Precursor	Agente químico	Condiciones Operacionales			Concentración adsorbente	Concentración Inicial mg/L	Adsorción %	Capacidad máxima de adsorción	Autores
		T °C	pH	Tiempo de contacto (Hr)	(g/l ó mg/l)				
Supercondensador	NaOH	24	1.5	2	2 g/L	200 mg/ L	86 %	96.3 mg g <sup>-1</sup>	Wu et al., (2020)
Restos de arenas petrolíferas	NaOH	40	2	1	6 g/L	1000 mg/ L	100 %	16.53 mg g <sup>-1</sup>	Gómez et al., (2018)
Gramina de pasto	KOH	25	2	10	0.5 g/L	200 mg/ L	96 %	403.23 mg g <sup>-1</sup>	Biyang et al., (2020)
Heces de termitas	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	25	3	2	5 g/L	125 mg/ L	79 %	66 mg g <sup>-1</sup>	Demarchi et al., (2019),
Cáscara de nuez	NaOH	Ambiente	2	2	0.2 g/L	100 mg/ L	96 %	22,3 mg g <sup>-1</sup>	Pakade, et al., (2017)
Pepa de mango	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	35	2	-	2.5g/1000ml	20 mg/ L	99 %	7.8 mg g <sup>-1</sup>	Rai et al., (2016)
Cáscara de manzana de madera.	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ambiente	1.8	2	1,25 g/L	75 mg/ L	95 %	109,89 mg g <sup>-1</sup>	Doke & Khan,(2017)
Torta de prensa	NaOH	Ambiente	2		1 g/L	300 mg/L	91 %	282.8 mg g <sup>-1</sup>	Norouzi et al., (2018)
Carbón activado	NaOH	25	2	4	4.9 g/L	110 mg/ L	97 %	109.89 mg g <sup>-1</sup>	Nowruzi et al., (2020)
Bagazo de remolacha azucarera	NaOH	20-30	4	-	1.49 g/l	10.13 mg/L	51 %	52.8 mg/g.	Ghorbani et al., (2020)

Bagazo de la caña de azúcar	NaOH	20-60	2	3	2 g/L	10 mg/L	96 %	6.64 mg/g <sup>-1</sup> .	Sharma et al., (2019)
-----------------------------	------	-------	---	---	-------	---------	------	---------------------------	-----------------------

**Fuente:** Elaboración propia

En el análisis de la comparación de estudios sobre la remoción de Cr (VI) mediante la adsorción se puede observar que en la investigación de los carbones activados de origen bituminoso (restos petrolíferas) es el que mejor remueve el CR (VI), además alcanzó una capacidad máxima de adsorción de 16.53 mg. g<sup>-1</sup> con una eficiencia de 100%, significativamente mayor que los adsorbentes que del carbón activado de restos de supercondensador, pasto de bermuda, heces de termitas, cáscara de nuez, grano de mango, cáscara de manzana, torta de prensa, carbón activado comercial, bagazo de remolacha azucarera y remolacha de la caña de azúcar. Adicionalmente, los adsorbentes mencionados requieren de un tiempo de equilibrio muy alto para la adsorción Cr (VI) (2 a 10 horas, respectivamente). Por otra parte, hay que señalar que todos los adsorbentes reportados fueron aplicados para la adsorción de cromo (VI) de soluciones acuosas con concentraciones iniciales de Cr (VI) mucho menores (10-300) mg/L) al cual se utilizó en el estudio de adsorbente de restos petrolíferas (1000 mg/L), Sin embargo el pH óptimo que determinaron los investigadores se encuentra en un rango de (1.5 -4) incluyendo la investigación de Gómez et al., 2018 (Ph= 2).

**Tabla 5.**

*Comparación de eficiencia de remoción de Pb, Cd y Ag.*

Precursor	Agente químico	Metal	Condiciones Operacionales			Concentración adsorbente (g/l ó mg/l)	Concentración Inicial mg/L	Adsorción %	Capacidad máxima de adsorción	Autores
			T °C	pH	Tiempo de contacto (Hr)					
Ánodo de las baterías de Ion de Litio	KMnO4	Pb	23	4	24	1 g/L	50 mg/L	99.9 %	99.88 mg g <sup>-1</sup>	Zhao et al., (2017)
		Cd						79.7 %	29.49 mg g <sup>-1</sup>	
		Ag						99.8 %	67.80 mg g <sup>-1</sup>	

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 6 se puede observar que el activado del ánodo de las baterías de ion litio modificado con MnO<sub>2</sub> son altamente eficientes para la remoción de Pb, Cd y Ag, ya que alcanzo una remoción de 99.9 %, 79.7% y 99.8%, por otro lado, Wu et al., (2020) removió Ag y Cr (VI) con una eficiencia de 90 y 93 % respectivamente utilizando el activado

del carbon de supercondensadores, material muy similar a las baterias de ion litio. Ambos autores remueven el Ag por encima del 85%, por ende la adsorción del Cr (VI) no estaría ajeno a ello ya que los LIBs tienen una capacidad de soporte porosa y el MnO<sub>2</sub> es un adsorbente que posee una buena estabilidad bajo condiciones acidas. Además, para la remoción efectiva del Cr (VI) se debe encontrar las condiciones óptimas de los factores que influyen en la remoción (pH, temperatura, dosis, concentración inicial y el tiempo de contacto).

## 6. Conclusión

En las investigaciones presentadas dan significancia que los residuos como; restos de supercondensadores, pasto de bermuda, heces de termitas, cáscara de nuez, grano de mango, cáscara de manzana, torta de prensa, carbón activado comercial, bagazo de remolacha azucarera y remolacha de la caña de azúcar son ventajosos para la síntesis de carbón activado, ya que los beneficios de estos materiales ayudan a mejorar la capacidad de adsorción logrando un porcentaje mayor de remoción de metales entre ellos el Cr (VI).

La adsorción por carbón activado depende de factores como el pH, temperatura, tiempo de equilibrio, dosis y concentración inicial del adsorbente, por ello se puede observar que cada investigador busca las condiciones óptimas de los factores que influyen para lograr una buena remoción.

La remoción de CR (VI) utilizando como material adsorbente el activado del carbón a partir de las baterías ion litio recicladas es factible, puesto que, el ánodo de las baterías de ion litio tienen una buena capacidad de soporte porosa y el MnO<sub>2</sub> es un adsorbente que posee una buena estabilidad bajo condiciones acidas, entonces se puede lograr un porcentaje de remoción alta mediante un proceso adecuado y a condiciones óptimas de los factores que influyen.

## 7. Referencias

- Adsorción, T., Smith, J. C., & Harriott, P. (2013). *Bibliografía*. 2012–2013.
- Aylas Orejón, E. J., Picasso Escobar, G., & Sun Kou, M. del R. (2016). Modificación Ácida Del Carbón Activado Y La Influencia Del Grupo Sustituyente En La Adsorción De Compuestos Fenólicos. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 82(3), 339–351. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v82i3.94>
- Bastidas, M., Buelvas, L. M., Márquez, M. I., & Rodríguez, K. (2010). Activated carbon production from carbonaceous precursors of the Department of Cesar, Colombia. *Informacion Tecnologica*, 21(3), 87–96. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4289it.09>
- Bertuol, D. A., Machado, C. M., Silva, M. L., Calgaro, C. O., Dotto, G. L., & Tanabe, E. H. (2016). Recovery of cobalt from spent lithium-ion batteries using supercritical carbon dioxide extraction. *Waste Management*, 51, 245–251. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.009>
- Cajusol Rivera, O. E. (2019). *Universidad Católica Sedes Sapientiae*. 1–145. [http://repositorio.uccs.edu.pe/bitstream/handle/UCSS/135/Cueva\\_Mallqui\\_tesis\\_maestría\\_2014.pdf?sequence=5&isAllowed=y](http://repositorio.uccs.edu.pe/bitstream/handle/UCSS/135/Cueva_Mallqui_tesis_maestría_2014.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- <https://www.desotec.com/es/carbonologia/casos/poros-de-carb-n-activado>
- Carvajal, R., & Bastidas, J. (2019). *Diseño de un sistema en base a nanocelulosa para remediar agua contaminada con Cromo VI*. *Design of a system based on nanocelulose to remediate water contaminated with Chromium VI*.
- Castellar-Ortega, G., Mendoza Colina, E. D. J., Angulo Mercado, E. R., Jaramillo Colpas, J. E., Paula Pereira, Z. A., & Rosso Bravo, M. C. (2019). Equilibrio, cinética y termodinámica de la adsorción del colorante DB-86 sobre carbón activado de la cáscara de yuca. *Revista MVZ Córdoba*, 14(26), 7231–7238. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1700>
- Demarchi, C. A., Michel, B. S., Nedelko, N., Ślawska-Waniewska, A., Dłużewski, P., Kaleta, A., Minikayev, R., Strachowski, T., Lipińska, L., Dal Magro, J., & Rodrigues, C. A. (2019). Preparation, characterization, and application of magnetic activated carbon from termite feces for the adsorption of Cr(VI) from aqueous solutions. *Powder Technology*, 354, 432–441. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.06.020>
- Dias, J. M., Alvim-Ferraz, M. C. M., Almeida, M. F., Rivera-Utrilla, J., & Sánchez-Polo, M. (2007). Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, 85(4), 833–846. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.07.031>
- Doke, K. M., & Khan, E. M. (2017). Equilibrium, kinetic and diffusion mechanism of Cr(VI) adsorption onto activated carbon derived from wood apple shell. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S252–S260.

- <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.07.031>
- Efome, J. E., Rana, D., Matsuura, T., & Lan, C. Q. (2018). Insight Studies on Metal-Organic Framework Nanofibrous Membrane Adsorption and Activation for Heavy Metal Ions Removal from Aqueous Solution. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 10(22), 18619–18629. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b01454>
- Fenol, D. E. L. (2008). Síntesis y Caracterización De Arcillas Organofílicas Y Su Aplicación Como Adsorbentes Del Fenol. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 74(1), 3–19.
- Fernández Pino, F. (2011). *Capítulo 3 : Sistema De Adsorción. 0*. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4986/fichero/indice.pdf>
- Gheju, M., Balcu, I., & Mosoarca, G. (2016). Removal of Cr(VI) from aqueous solutions by adsorption on MnO<sub>2</sub>. *Journal of Hazardous Materials*, 310(Vi), 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.02.042>
- Ghorbani, F., Kamari, S., Zamani, S., Akbari, S., & Salehi, M. (2020). Optimization and modeling of aqueous Cr(VI) adsorption onto activated carbon prepared from sugar beet bagasse agricultural waste by application of response surface methodology. *Surfaces and Interfaces*, 18(Vi), 100444. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2020.100444>
- Gómez, I., Gómez, M., & Santa, C. (2018). Optimización del Proceso de Adsorción de Cr ( VI ) sobre Carbón Activado de Origen Bituminoso Optimization of the Cr ( VI ) Adsorption Process on Bituminous Activated Carbon. *Información Tecnológica*, 29(Vi), 43–56.
- Ioannidou, O., & Zabanitoutou, A. (2007). Agricultural residues as precursors for activated carbon production-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(9), 1966–2005. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.03.013>
- Kim, E. J., Lee, C. S., Chang, Y. Y., & Chang, Y. S. (2013). Hierarchically structured manganese oxide-coated magnetic nanocomposites for the efficient removal of heavy metal ions from aqueous systems. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 5(19), 9628–9634. <https://doi.org/10.1021/am402615m>
- Li, L., Quinlivan, P. A., & Knappe, D. R. U. (2002). *sobre la adsorción de contaminantes orgánicos de acuosos solución. 40*, 2085–2100.
- Martínez, M. (2015). *Reutilización del raspo de uva para la eliminación de aguas que contienen cobre. Grupo3p2.Wixsite.Com*. <https://grupo3p2.wixsite.com/proyecto2/anlisis-y-resultados>
- Mohan, D., & Pittman, C. U. (2006). Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri- and hexavalent chromium from water. *Journal of Hazardous Materials*, 137(2), 762–811. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.060>
- Norouzi, S., Heidari, M., Alipour, V., Rahmanian, O., Fazlzadeh, M., Mohammadi-moghadam, F., Nourmoradi, H., Goudarzi, B., & Dindarloo, K. (2018). Preparation, characterization and Cr(VI) adsorption evaluation of NaOH-activated carbon produced from Date Press Cake; an agro-industrial waste. *Bioresource Technology*, 258(Vi), 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.02.106>
- Nowruzzi, R., Heydari, M., & Javanbakht, V. (2020). Synthesis of a chitosan/polyvinyl alcohol/activate carbon biocomposite for removal of hexavalent chromium from aqueous solution. *International Journal of Biological Macromolecules*, 147, 209–216. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.044>
- Pakade, V. E., Nchoe, O. B., Hlungwane, L., & Tavengwa, N. T. (2017). Sequestration of hexavalent chromium from aqueous solutions by activated carbon derived from Macadamia nutshells. *Water Science and Technology*, 75(1), 196–206. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.506>
- Rai, M. K., Shahi, G., Meena, V., Meena, R., Chakraborty, S., Singh, R. S., & Rai, B. N. (2016). Removal of hexavalent chromium Cr (VI) using activated carbon prepared from mango kernel activated with H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. *Resource-Efficient Technologies*, 2, S63–S70. <https://doi.org/10.1016/j.reffit.2016.11.011>
- Ramírez-vásquez, P. (2020). *espino para su uso como bioadsorbente en la remoción de Cromo ( VI ) y Níquel ( II ) Waste valorization of starch obtained from hawthorn yam as bioadsorbent on Chromium ( VI ) and Nickel ( II ) removal. 16(1)*, 1–10.
- Ren, Y., Yan, N., Wen, Q., Fan, Z., Wei, T., Zhang, M., & Ma, J. (2011). Graphene/ $\delta$ -MnO<sub>2</sub> composite as adsorbent for the removal of nickel ions from wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 175(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.08.010>
- Sari, A., & Tüzen, M. (2013). Adsorption of silver from aqueous solution onto raw vermiculite and manganese oxide-modified vermiculite. *Microporous and Mesoporous Materials*, 170, 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2012.12.004>
- Sharma, M., Joshi, M., Nigam, S., Shree, S., Avasthi, D. K., Adelung, R., Srivastava, S. K., & Kumar Mishra, Y. (2019). ZnO tetrapods and activated carbon based hybrid composite: Adsorbents for enhanced decontamination of hexavalent chromium from aqueous solution. *Chemical Engineering Journal*, 358, 540–551. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.031>

- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á., & Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*, 18(34), 109. <https://doi.org/10.22430/22565337.209>
- Tu, B., Wen, R., Wang, K., Cheng, Y., Deng, Y., Cao, W., Zhang, K., & Tao, H. (2020). Efficient removal of aqueous hexavalent chromium by activated carbon derived from Bermuda grass. *Journal of Colloid and Interface Science*, 560, 649–658. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.10.103>
- Wan, S., He, F., Wu, J., Wan, W., Gu, Y., & Gao, B. (2016). Rapid and highly selective removal of lead from water using graphene oxide-hydrated manganese oxide nanocomposites. *Journal of Hazardous Materials*, 314, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.04.014>
- Wang, C., Huang, X. F., Cai, Q. Q., Cao, X. X., Cai, H., Zhou, D., & Li, J. (2016). Remarkable expression of vascular endothelial growth factor in bone marrow plasma cells of patients with POEMS syndrome. *Leukemia Research*, 50, 78–84. <https://doi.org/10.1016/j.leukres.2016.09.017>
- Wu, F., Zhao, T., Yao, Y., Jiang, T., Wang, B., & Wang, M. (2020). Recycling supercapacitor activated carbons for adsorption of silver (I) and chromium (VI) ions from aqueous solutions. *Chemosphere*, 238, 124638. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124638>
- Zhao, T., Yao, Y., Wang, M., Chen, R., Yu, Y., Wu, F., & Zhang, C. (2017). Preparation of MnO<sub>2</sub>-Modified Graphite Sorbents from Spent Li-Ion Batteries for the Treatment of Water Contaminated by Lead, Cadmium, and Silver. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 9(30), 25369–25376. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b07882>