



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





**FACULTAD DE ECOLOGÍA**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

Tesis

**Evaluación de la eficiencia del carbón activado  
de semilla de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*) en la  
adsorción de cromo (VI)**

Para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario

**Autor:**

Juan Jesús Cruz Sánchez  
<https://orcid.org/0009-0006-3824-0079>

**Asesor:**

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza  
<https://orcid.org/0000-0003-1396-9745>

**Moyobamba, Perú**

**2024**



**FACULTAD DE ECOLOGÍA**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

Tesis

**Evaluación de la eficiencia del carbón activado  
de semilla de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.) en la  
adsorción de cromo (VI)**

Para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario

**Autor:**

Juan Jesús Cruz Sánchez

Sustentado y aprobado el 19 de setiembre del 2024, ante el honorable jurado:

**Presidente de Jurado**  
Blga. M. Sc. Astriht Ruiz Ríos

**Secretario de Jurado**  
Ing. M.Sc. Mirtha Felicita Valverde  
Vera

**Vocal de Jurado**  
Blgo. M. Sc. Luis Eduardo  
Rodríguez Pérez

**Asesor**  
Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache  
Liza

**Moyobamba, Perú**

**2024**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
FACULTAD DE ECOLOGÍA  
Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS  
CONDUCENTES A TÍTULO PROFESIONAL N.º 014-2024-UNSM/EPIS/UI**

Jurado reconocido con Resolución N.º 150-2020-UNSM/CFT/FE, Moyobamba 01 de diciembre de 2020.

**FACULTAD DE ECOLOGÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA  
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA SANITARIA**

A las 9:00 horas, del día jueves 19 de setiembre del 2024, se dio inicio al acto público de sustentación del informe final de tesis: **Evaluación de la eficiencia del carbón activado de semilla de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.) en la adsorción de cromo (VI)**, para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario, presentado por **Juan Jesús Cruz Sánchez**, con la asesoría del **Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza**.

Instalada la Mesa Directiva conformada por la **Blga. Dra. Astriht Ruiz Ríos** (Presidente del jurado), **Ing. M.Sc. Mirtha Felicita Valverde Vera** (Secretario), **Blgo. M.Sc. Luis Eduardo Rodríguez Pérez** (Vocal) y acompañado por el **Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza** (Asesor), el presidente del jurado dirige brevemente unas palabras y a continuación el secretario dio lectura a la **Resolución N° 304-2021-UNSM/CFT/FE, de fecha 21 de setiembre del 2021**.

Seguidamente el autor expuso el informe final de tesis y el jurado realizó las preguntas pertinentes, respondidas por el sustentante y evaluado por el jurado con la venia del asesor.

Una vez terminada la ronda de preguntas el jurado procedió a deliberar para determinar la calificación final, para lo cual dispuso un receso de quince (15) minutos, con participación del asesor con voz, pero sin voto, sin la presencia del sustentante y otros participantes del acto público.

Luego de aplicar los criterios de calificación con estricta observancia del principio de objetividad y de acuerdo con los puntajes en escala vigesimal (de 0 a 20), según el Anexo 4.2 del RG-CTI, la nota de sustentación otorgada resultante del promedio aritmético de los calificativos emitidos por cada uno de los miembros del jurado fue **QUINCE (15)**, tal como se deja constar en la siguiente descripción.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
FACULTAD DE ECOLOGÍA  
Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria



De acuerdo con el Artículo 40° del RG-CTI, la nota obtenida es APROBATORIA y correspondiente a la calificación de BUENO.

Leído este resultado en presencia de todos los participantes del acto de sustentación, el secretario dio lectura a las observaciones subsanables al informe final que el autor deberá corregir y alcanzar al jurado en un plazo máximo de treinta (30) días calendarios.

Se deja constancia que la presente acta se inscribe en el Libro de Sustentaciones N° 001 del Programa de Estudios de Ingeniería Sanitaria de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín.

Firman los integrantes de la Mesa Directiva y el autor del informe final tesis, en señal de conformidad, dando por concluido el acto a las 10:40 horas, el mismo día 19 de setiembre del 2024.

Blga. Dra. Astriht Ruiz Ríos  
**Presidente de Jurado**

Ing. M.Sc. Mirtha Felicita Valverde Vera  
**Secretario de Jurado**

Blgo. M.Sc. Luis Eduardo Rodríguez Pérez  
**Vocal del Jurado**

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza  
**Asesor**

Juan Jesús Cruz Sánchez  
**Autor**

## Declaratoria de Autenticidad

**Juan Jesús Cruz Sánchez**, identificado con DNI N° **70415050**, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: " **Evaluación de la eficiencia del carbón activado de semilla de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*) en la adsorción de cromo (VI)**".

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigativa.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normativa vigente de la Universidad Nacional de San Martín.

Moyobamba, 19 de setiembre de 2024



**Juan Jesús Cruz Sánchez**  
DNI N° 70415050



## Ficha de identificación

<p><b>Título del proyecto</b> Evaluación de la eficiencia del carbón activado de semilla de aguaje (<i>Mauritia flexuosa L.f.</i>) en la adsorción de cromo (VI)</p>	<p><b>Área de investigación:</b> Ciencia y Tecnología Ambiental  <b>Línea de investigación:</b> Saneamiento Ambiental  <b>Sublínea de investigación:</b> Tratamientos de Aguas  <b>Grupo de investigación:</b> Tecnologías de Tratamiento del Agua, Resolución N° 251-2022-UNSM/CFT/FE  <b>Tipo de investigación:</b>          Básica <input type="checkbox"/>, Aplicada <input type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input checked="" type="checkbox"/></p>
<p><b>Autor:</b> Juan Jesús Cruz Sánchez</p>	<p>Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria <a href="https://orcid.org/0009-0006-3824-0079">https://orcid.org/0009-0006-3824-0079</a></p>
<p><b>Asesor:</b> Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza</p>	<p><b>Dependencia local de soporte:</b> Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria Unidad o Laboratorio Ingeniería Sanitaria <a href="https://orcid.org/0000-0003-1396-9745">https://orcid.org/0000-0003-1396-9745</a></p>

## **Dedicatoria**

Este trabajo en primer lugar se la dedico a dios quien me supo guiar por el buen camino, darme la fuerza para seguir adelante y no desfallecer en el intento.

A mis padres, Francisco Cruz Reyes y Mírela Sánchez Chujutalli, quienes me enseñaron el valor del esfuerzo y la perseverancia, por haberme formado con buenos valores y principios, por impulsarme a seguir siempre adelante a pesar de los momentos difíciles ya que, sin su amor, su apoyo y su ejemplo este logro no había sido posible.

También dedico a mi hermoso hijo Liam Fabricio Cruz Amasifuén quien ha sido una pieza fundamental en todo, ya que fue mi mayor motivación para nunca rendirme y ser un ejemplo para él.

## **Agradecimientos**

El principal agradecimiento es a Dios por darme la vida, la salud y permitirme llegar a cumplir una de mis sueños.

A mis padres por guiarme y motivarme a seguir adelante; no dejarme solo por este camino difícil pero no imposible, solo me queda decir que es un orgullo y un privilegio ser su hijo.

A mis hermanos Andy Cruz Sánchez y Jhosep Cruz Sánchez por darme siempre la motivación y el aliento de seguir adelante ya que fueron fundamentales para alcanzar este logro tan importante en mi vida.

También a todas las personas que pasaron por mi vida y me vieron iniciar esta aventura, a la mamá de mi hijo por darme el mejor motivo de seguir adelante y no decaer en el camino, así mismo a la persona que hoy está a mi lado quien es un pilar fundamental en mi desarrollo ya que con su apoyo y motivación sigo adelante.

A mis amigos y promociones del 2019-I quienes me acogieron con un gran cariño, en especial a mi gran amigo José Manuel Cruz Quintos que desde que llegue tuve el apoyo y la amistad sincera al no dejarme que me dé por vencido en los momentos más difíciles.

A mi asesor Ing. Yrwin Francisco Azabache Liza por ser pieza fundamental en el desarrollo de este trabajo y apoyarme con su experiencia profesional.

## Índice general

Ficha de identificación .....	6
Dedicatoria .....	7
Agradecimientos.....	8
Índice general.....	9
Índice de tablas .....	11
Índice de figuras .....	12
RESUMEN .....	13
ABSTRACT .....	14
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN.....	15
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	18
2.1. Antecedentes de la investigación .....	18
2.2. Fundamentos teóricos .....	20
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación.....	27
3.1.1 Contexto de la investigación.....	27
3.1.2 Periodo de ejecución.....	27
3.1.3 Autorizaciones y permisos .....	27
3.1.4 Control ambiental y protocolos de bioseguridad.....	27
3.1.5 Aplicación de principios éticos internacionales.....	27
3.2. Sistema de variables .....	27
3.2.1 Variables principales .....	27
3.2.2 Variables secundarias .....	28
3.3 Procedimientos de la investigación.....	28
3.3.1 Formular concentraciones de soluciones de cromo (VI) 0,065 M; a nivel de laboratorio. ....	28
3.3.2 Determinación de las condiciones óptimas de tiempo, velocidad de mezcla y cantidad de sustancia, para la obtención de carbón activado a partir de semilla de “aguaje” ( <i>Mauritia flexuosa</i> L.f.) .....	29

3.3.3	Demostrar la eficiencia, del carbón activado obtenido experimentalmente, en la adsorción de cromo (VI). .....	30
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		32
4.1	Formulación de concentración de solución de cromo (VI); a nivel de laboratorio.....	32
4.2	Condiciones de tiempo, temperatura y cantidad, para la obtención de carbón activado a partir de semilla de “aguaje”.....	32
4.3	Eficiencia del carbón activado obtenido experimentalmente, en la adsorción de cromo (VI). .....	33
4.4	Discusión de resultados.....	43
CONCLUSIONES.....		46
RECOMENDACIONES.....		47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		48
ANEXOS .....		52

## Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de activación .....	20
Tabla 2. Descripción de sistema de variables .....	28
Tabla 3. Variables tomadas en cuenta para cada temperatura de carbonización .....	33
Tabla 4. Remoción de Cromo VI empleando carbón a 400°C – 1,0 gr .....	33
Tabla 5. Remoción de Cromo VI empleando carbón a 400°C – 1,5 gr .....	34
Tabla 6. Remoción de Cromo VI empleando carbón a 400°C – 2,0 gr .....	35
Tabla 7. Condiciones óptimas empleando carbón activado a 400°C.....	35
Tabla 8. Remoción de Cromo (VI) empleando carbón a 500°C – 1,0 gr .....	36
Tabla 9. Remoción de Cromo (VI) empleando carbón a 500°C - 1,5 gr .....	36
Tabla 10. Remoción de Cromo (VI) empleando carbón a 500°C – 2,0 gr .....	37
Tabla 11. Condiciones óptimas empleando carbón activado a 500°C.....	38
Tabla 12. Remoción de Cromo VI empleando carbón a 600°C – 1,0 gr .....	38
Tabla 13. Remoción de Cromo VI empleando carbón a 600°C – 1,5 gr .....	39
Tabla 14. Remoción de Cromo VI empleando carbón a 600°C – 2,0 gr .....	39
Tabla 15. Condiciones óptimas empleando carbón activado a 600°C.....	40
Tabla 16. Resumen de los resultados de concentración de Cromo (VI) después de la aplicación del carbón activado .....	41
Tabla 17. Condiciones óptimas del carbón de aguaje.....	42

## Índice de figuras

Figura 1 Eficiencia del carbón activado a base de semilla de aguaje .....	42
---	----

## RESUMEN

### Evaluación de la eficiencia del carbón activado de semilla de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.) en la adsorción de cromo (VI)

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del carbón activado obtenido a partir de la semilla de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.) en la adsorción de elementos metálicos pesados, específicamente el Cromo hexavalente ( $\text{Cr}^{+6}$ ). Para el cumplimiento de los objetivos planteados, el periodo de ejecución abarcó desde el 21 de septiembre de 2021 hasta el 20 de mayo de 2022, y se centró en analizar las variables relacionadas con la adsorción de Cr (VI) presente en el agua, preparado en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología de Moyobamba. En la fase experimental, se formuló una concentración de solución de  $\text{Cr}^{+6}$  a 0,065 M, alcanzando un valor inicial de 0.13 mg/L de  $\text{Cr}^{+6}$  en las muestras de agua. Asimismo, se realizó la elaboración del carbón activado, evaluando las condiciones óptimas de tiempo, velocidad de mezcla y cantidad de materia prima para optimizar su capacidad adsorbente. El proceso de carbonización del carbón activado se realizó a diferentes temperaturas (400°C, 500°C y 600°C), utilizando ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) al 85% como agente activante. Los resultados experimentales mostraron que la mayor eficiencia de remoción de  $\text{Cr}^{+6}$  se alcanzó al utilizar 2,0 gramos de carbón activado a 500°C, con una velocidad de agitación de 50 rpm y un tiempo de contacto de 10 minutos. A esta temperatura, se obtuvo una eficiencia de remoción del 69,23%, mientras que las temperaturas de 400°C y 600°C arrojaron eficiencias del 46,15% y 23,07%, respectivamente. Estos hallazgos destacan el potencial del carbón activado de semilla de aguaje como una solución viable y eficiente en el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados.

**Palabras clave:** carbón activado, cromo, aguaje, adsorción.

## ABSTRACT

Evaluation of the efficiency of activated carbon from aguaje seed (*Mauritia flexuosa* L.f.) in the adsorption of chromium (VI).

The objective of this study was to evaluate the efficiency of activated carbon obtained from aguaje seed (*Mauritia flexuosa* L.f.) in the adsorption of heavy metal elements, specifically hexavalent chromium (Cr+6). In order to meet the objectives set, the execution period covered from September 21, 2021 to May 20, 2022, and focused on analyzing the variables related to the adsorption of Cr (VI) present in water, prepared in the Sanitary Engineering laboratory of the Faculty of Ecology of Moyobamba. In the experimental phase, a Cr+6 solution concentration of 0.065 M was formulated, reaching an initial value of 0.13 mg/L Cr+6 in the water samples. Likewise, the activated carbon was prepared, evaluating the optimum conditions of time, mixing speed and amount of raw material to optimize its adsorbent capacity. The carbonization process of the activated carbon was carried out at different temperatures (400°C, 500°C and 600°C), using 85% phosphoric acid (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) as the activating agent. Experimental results showed that the highest Cr+6 removal efficiency was achieved when using 2.0 grams of activated carbon at 500°C, with an agitation speed of 50 rpm and a contact time of 10 minutes. At this temperature, a removal efficiency of 69.23% was obtained, while temperatures of 400°C and 600°C yielded efficiencies of 46.15% and 23.07%, respectively. These findings highlight the potential of aguaje seed activated carbon as a viable and efficient solution for the treatment of water contaminated with heavy metals.

**Keywords:** activated carbon, chromium, water, adsorption.



## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN**

El aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*), es una de las especies con mayor abundancia en Sudamérica. En Perú, por lo general es cultivado en áreas localizadas en la selva como Loreto, Ucayali, Huánuco y San Martín, y según estudios en la actualidad se tiene un aproximado de más de cinco millones de hectáreas cultivadas con esta planta, de los cuales el 20% se encuentra en Pacaya Samiria. Esta planta juega un papel muy importante en la cadena de los bosques tropicales selváticos, puesto que sirve de alimento para animales como el sajino, sachavaca, mono, así como de varios tipos de aves y peces (Virapongse et al., 2017).

El carbón activado es un material orgánico, mayormente derivado de fuentes vegetales, que se destaca por su excepcional habilidad para atrapar sustancias en su superficie. Esta característica le permite actuar como un agente de retención de gases y atrapar sustancias que pueden ser responsables de alterar el color, olor y sabor en líquidos. Gracias a sus características únicas, el carbón activado encuentra un amplio espectro de usos en múltiples sectores industriales. Se emplea en procesos tan diversos como la purificación del azúcar, operaciones mineras y metalúrgicas, fabricación de equipos de protección personal, aplicaciones médicas y sistemas de refrigeración, por nombrar solo algunos ejemplos. En estos campos y otros usos, el carbón activado está ganando cada vez más relevancia, como se evidencia en el creciente consumo registrado en los últimos años tanto en Perú como a nivel mundial (Gonzales y Teruya, 2004).

Existe diversa cantidad de contaminantes tóxicos presentes en el agua, como el Cromo, siendo sumamente peligrosa para el ser humano si se encuentra en ciertas cantidades y concentraciones, de igual manera, según ECA AGUA (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM), se determinó cual es el tope permitido de cromo en agua potable de 0,05 mg/L (Rosales y Quevedo, 2019).

Estos metales pesados suelen encontrarse en el suelo de dos maneras principales. En primer lugar, la actividad humana, conocida como antropogénica, puede introducir estos metales en el suelo, y a menudo son absorbidos por las plantas. Por otro lado, algunos metales pesados también pueden encontrarse de manera natural en el suelo, debido a su presencia en la roca madre desde la formación inicial. En ciertos casos, eventos naturales como erupciones volcánicas pueden llevar a la liberación de estos metales, que luego se lixivian en el suelo antes de formar complejos coloides. Además de estas fuentes naturales, las actividades humanas, como la industria, la minería y la agricultura,

pueden contribuir significativamente a la presencia de estos metales peligrosos y tóxicos en el suelo, representando un riesgo para la salud y el medio ambiente (Corona, 2013).

La contaminación de las aguas, el suelo y el aire por la presencia de metaloides y metales pesados es un importante problema que repercute en la inocuidad de los alimentos y la salud de la población, tanto a escala local como mundial. Los elementos químicos que tienen cualidades metálicas y una alta densidad se denominan a veces metales pesados. Algunos especialistas, sin embargo, sostienen que el criterio para clasificar los metales debería ser su peso o número atómico, o alguna característica tóxica o química específica que los diferencie de otros metales. Como el cadmio, el cromo se emplea ampliamente en muchas industrias diferentes, sobre todo en las que utilizan pigmentos y lo añaden como ingrediente, como los sectores del plástico y la papelera. Este metal se libera al aire por la combustión, llega a las aguas a través de los vertidos industriales y, finalmente, acaba en el agua debido a la lluvia. Puede provocar una gran variedad de daños a la salud cuando se transforma en cromo VI, como irritación de la piel, problemas respiratorios, daños hepáticos y debilitamiento del sistema inmunitario (Aconsa, 2021).

Por lo antes mencionado, la presente investigación se desarrolló con el propósito de: Evaluar la eficiencia del carbón activado de semilla de aguaje en la adsorción de cromo (VI), a través de la aplicación de una tecnología poco abordada en este campo; para generar una alternativa de solución viable para el desarrollo de tecnologías. La formulación del problema de la investigación se definió de la siguiente manera: ¿Cuál es la eficiencia del carbón activado de semilla de aguaje en la adsorción de cromo (VI)? La hipótesis general de la investigación fue: que el carbón activado de semilla de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*) es eficiente en la adsorción de cromo (VI). El objetivo general fue el siguiente: Evaluar la eficiencia del carbón activado de semilla de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*) en la adsorción de cromo (VI) y los objetivos específicos planteados planteado son los siguientes: Formular concentraciones de soluciones de cromo (VI) 0,065 M; a nivel de laboratorio, evaluar la calidad adecuada de tiempo, velocidad de mezcla y cantidad de sustancia, para la obtención de carbón activado a partir de semilla de "aguaje" (*Mauritia flexuosa L.f.*), demostrar la eficiencia, del carbón activado obtenido experimentalmente, en la adsorción de cromo (VI).

En la presente investigación, se obtuvo carbón activado (a nivel de laboratorio), considerando el tratamiento de adsorber el elemento químico cromo (VI), el cual se encuentra en los efluentes industriales, como los provenientes de curtiembres y la industria textil.

Por ello, a nivel nacional se llevaron a cabo investigaciones encaminadas al desarrollo de tecnologías ecológicas. Se inició una línea de investigación dedicada al tratamiento de sustancias tóxicas y peligrosas.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### A nivel internacional

Vanegas (2022), en su investigación se centró desarrolló un material adsorbente a partir de residuos de mandarina, optimizando sus cualidades sometiendo a dos tratamientos diferentes: uno físico, consistente en moler, secar y tamizar, y otro físico-químico, consistente en reticular la pectina que se encuentra en la cáscara. La caracterización del material, que incluía la identificación de grupos funcionales como el hidroxilo, el carboxilo y el carbonilo, reveló que tenía una buena capacidad para capturar iones metálicos, en particular cromo hexavalente ( $\text{Cr}^{+6}$ ). El tratamiento físico resultó ser el más eficaz tanto en términos de coste como de rendimiento, aunque el tratamiento físico-químico aumentó la adsorción, pero esta diferencia no fue estadísticamente significativa. Los parámetros ideales para el proceso de adsorción resultaron ser un pH de 2,5 - 3,3, aplicando una dosis de 3,0 gramos del material adsorbente y un tamaño de partícula inferior a 2,0 mm. La concentración inicial de  $\text{Cr}^{+6}$  se redujo de 100,3 ppm a 16,2 ppm en ensayos realizados con aguas residuales procedentes de una curtiembre.

Popoola et al., (2022), en su investigación desarrolló carbón activado producido a partir de la cáscara de Citrullus Lanatus mediante una carbonización de 681,1°C, durante 2,6 horas. Fue evaluado y optimizado para la eliminación de metales pesados como  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Cu}^{2+}$  presentes en el agua. Se llevaron a cabo ensayos variando la dosis de adsorbente, el tiempo de reacción, la temperatura y el pH, obteniendo como resultado un material con una estructura porosa, grupos funcionales activos y la presencia de grafito y óxidos metálicos, según la caracterización realizada. Los resultados demostraron una alta eficiencia en la eliminación de  $\text{Pb}^{2+}$  y  $\text{Cu}^{2+}$  de 76,3% y 84,0%, mientras que la remoción de  $\text{Zn}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$  fue menos significativa con 59,3% y 69,9%. Los datos experimentales mostraron una excelente concordancia con los modelos desarrollados, lo que confirmó la efectividad del carbón activado como adsorbente para estos contaminantes.

##### A nivel nacional

Calle y Davila (2023), en su investigación se centró en evaluar la eficacia del carbón activado derivado de la semilla de Mauritia flexuosa en la adsorción de plomo en aguas residuales del dren 2000, donde se detectó una concentración inicial de 0,6 mg/L de

plomo. Se produjeron tres tipos de carbón activado a diferentes temperaturas: CA-1 (500°C), CA-2 (550°C) y CA-3 (600°C), impregnado con ácido fosfórico. Se evaluó capacidad de adsorción, se realizaron pruebas de jarras utilizando dosis de 1,0 gr, 1,5 gr y 2,0 gr de carbón activado en muestras de 500 mL. A través de la caracterización del material, se concluyó que el carbón activado resultante es altamente poroso, lo que contribuyó a su efectividad en el proceso de adsorción. Al emplear 2,0 gramos de carbón activado producido a 500°C, se logró una notable reducción del 85.4% en la concentración de plomo, evidenciando la eficacia del material en comparación con los valores iniciales.

Cotrina (2022), en su investigación se evaluó la eficiencia del carbón activado a partir del hueso de aceituna en el metal pesado como es Cromo VI de muestra sintética preparadas a nivel de laboratorio utilizando 13.5 litros de agua destilada, con valores iniciales de 40,0 mg/L, 80,0 mg/L, 120,0 mg/L, valores que se asemejan a las descargas industriales, en la preparación del carbón se desinfectó la materia precursor con hidróxido de sodio, con una temperatura de carbonización de 500°C y 600°C, durante 2 horas, ajustando el pH a 5. Se utilizó 0,5 gr, 1,0gr, 1,5gr de carbón en una muestra de 500 mL, mezclado con agitador magnético a 300 rpm por 15, 60,120 minutos en el tratamiento. El resultado más óptimo se dio con 1,5 gr logrando resultados de 3,8 mg/L, 8,0 mg/L, 10,7 mg/L utilizando un tiempo de 120 minutos, llegando a una eficiencia de 90,5%, 90,0%, 91,0% de Cromo VI respectivamente.

### **A nivel local**

Maldonado (2023), en su investigación evaluó la eficiencia del carbón activado derivado del endocarpio de coco en la adsorción de contaminantes presentes en los lixiviados del botadero municipal de Yacucatina. Se detectó un exceso del 144% en  $\text{DBO}_5$  y un 210,0% en nitratos respecto a normativas internacionales, mientras que los niveles de DQO y fosfatos se encontraban dentro de los límites permitidos. El ensayo más eficiente utilizó 5,0 g de carbón activado a una temperatura 50°C y 60 revoluciones por minuto, logrando una remoción del 85,2% en  $\text{DBO}_5$  y del 89,5% en nitratos, un 2,3% en fosfatos y una disminución del 18,5 en el pH. No obstante, la DQO no mostró una reducción significativa. Los resultados mostraron que el carbón activado de endocarpio de coco cumple con los límites máximos permisibles según la normativa peruana e internacional, destacando su potencial en el tratamiento de aguas contaminadas por lixiviados.

Santillán (2020), en su investigación abordó la problemática del suministro de agua potable en el Sector San Lorenzo, donde los habitantes recurrieron al uso de agua de escorrentía para sus necesidades domésticas, determinando así valores iniciales de los

parámetros de turbidez de 51,3 UNT y color 268,0 UCV. Con el objetivo de mejorar su calidad, se desarrolló carbón activado a partir del endocarpio de coco (*Cocos nucifera*), carbonizado a 700°C durante 30 minutos y activado con ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) al 85,0%, obteniendo un total 637,0 gramos de carbón. El estudio evaluó tres dosis de carbón activado (100,0 g, 50,0 g y 25,0 g) bajo un diseño experimental aleatorizado con tres repeticiones. Los resultados indicaron que la dosis de 25,0 g mostró una eficiencia máxima del 97,6% en la reducción del color y del 97,1% en la turbidez respecto a sus valores iniciales, demostrando una alta eficiencia sobre los parámetros de estudio, valores adecuados ya que se encontraban por debajo de los valores permitidos por la normativa de calidad del agua para el consumo humano.

## 2.2. Fundamentos teóricos

### 2.2.1. Carbón activado

Es un material poroso con la capacidad de adsorber compuestos, especialmente aquellos de origen orgánico, en gases o líquidos. Su alta eficacia en este proceso lo convierte en uno de los métodos de purificación más comunes. Los compuestos orgánicos, que son subproductos del metabolismo de los seres vivos, están formados principalmente por cadenas de átomos de carbono e hidrógeno. Esta categoría abarca diversas sustancias provenientes tanto de fuentes vegetales como animales, incluyendo productos como el petróleo y sus derivados (Carbotecnía, 2023).

El carbón activado se utiliza en diversas aplicaciones, entre las cuales se encuentran:

- Procesos de potabilización del agua.
- Eliminación de olores y purificación del aire.
- Tratamiento de personas con intoxicación aguda.
- Decoloración de aceites vegetales.
- Eliminación de olores y decoloración de bebidas alcohólicas.

Por otro lado, existen 2 tipos de activación

**Tabla 1**

*Tipos de activación*

Método físico	Método químico
La carbonización de la materia prima y la gasificación regulada del material carbonizado son las dos etapas del proceso. La materia prima pierde componentes como el oxígeno y el hidrógeno durante el proceso de carbonización, dejando tras de sí una	Esta técnica combina la carbonización y la activación en un solo paso, en el que la materia prima se destruye térmicamente tras haber sido impregnada previamente con agentes químicos como hidróxido de potasio, cloruro de zinc, ácido fosfórico o tiocianato de potasio, entre

---

estructura carbonosa con cierta porosidad inicial. El material carbonizado se expone a un entorno oxidante durante la fase de gasificación, que elimina algunos átomos de carbono y sustancias químicas volátiles, aumentando la superficie específica y el tamaño de los poros del material. Ambos procedimientos se llevan a cabo en diversos tipos de hornos rotatorios con base de acero.

---

Fuente: (Abdelghaffar, 2023)

## **Capacidad de adsorción del carbón activado:**

- **Adsorción física**

Consiste en la adhesión de moléculas gaseosas o líquidas, iones o partículas a una superficie sólida. Esta unión se produce sin interacciones químicas perceptibles entre el adsorbente y el adsorbato; en su lugar, es el producto de fuerzas intermoleculares como las fuerzas de Van Der Waals. Este proceso implica principalmente un enlace físico entre las especies, que se caracteriza por su reversibilidad y su dependencia sustancial de variables ambientales como la presión y la temperatura. La adsorción física, que depende de la afinidad electrostática y de las fuerzas de atracción intermoleculares, se produce con frecuencia en sistemas en los que los contactos entre el adsorbato y el adsorbente son relativamente débiles (Levine, 2014).

- **Adsorción química**

Se da cuando el adsorbato entra a interactuar con el adsorbente, dando pase al incremento de las energías, del orden de las de un enlace químico. Este fenómeno se produce porque el adsorbato desarrolla enlaces fuertes, y estos se encuentran en el centro activo del adsorbente. En pocas palabras el fenómeno de adsorción es una mezcla de los tipos de la misma, lo cual dificulta identificar entre la adsorción química y física (Dehghani et al., 2021).

Aspectos influyentes en las propiedades de adsorción:

- La capacidad de cada parámetro determina la carga del carbón, es decir, es decir la concentración presenta en el carbón.
- El % de adsorción está relacionado directamente con el área superficial.
- Una buena dimensión de los poros es importante para agilizar el proceso de adsorción, ya que en ella se encuentran ubicados los lugares donde se absorbe el compuesto, así como los canales.

- Partículas de pequeñas dimensiones aseguran una rapidez en la adsorción.
- El área superficial total tiene que ver con el nivel de activación y la estructura de los poros del carbón.
- El grado de adsorción está relacionada directamente con la concentración del adsorbato ya que elevadas cantidades aseguran las fuerzas de empuje durante el proceso de adsorción (Dehghani et al., 2021).

### **Filtración con carbón activo**

Según Cruz et al. (2015), “Apropiado cuando lo que se busca es eliminar y minimizar olores, sabores y sustancias de origen orgánico (aquellas que resultan del proceso de desinfección). Estos filtros no tienen la capacidad de extraer o eliminar iones inorgánicos de mayor capacidad como el sodio, calcio, cloruro, etc., ni tampoco tiene efecto alguno sobre el nitrato fluoruro o metales. Sin embargo, estos filtros pueden minimizar las concentraciones de plomo, cobre y mercurio. Los filtros de carbón activado no están hechos para ablandar o desinfectar el agua”

### **Propiedades del carbón activado**

Es empleado para la eliminación del color, olor y sabor de diversos productos, por lo que ha sido empleado y puede ser encontrado en diversas aplicaciones como en filtros de refrigerador, así como en complejos sistemas industriales o en innovadoras plantas de tratamiento para aguas residuales (Marsh y Rodríguez, 2006).

#### **2.2.2. Cromo (VI)**

Actualmente, existen numerosos enfoques para definir la expresión «metales pesados». Un enfoque se basa en el peso atómico del compuesto, afirmando que un metal pesado se sitúa entre 63,55 (cobre, Cu) y 200,59 (mercurio, Hg). Otra definición tiene en cuenta la densidad de estos elementos, que varía entre 4 y 7 g/cm<sup>3</sup>. Además, el número atómico puede utilizarse para clasificar los metales pesados. Sin embargo, es fundamental recordar que no todos los metales con densidades elevadas son peligrosos; de hecho, algunos son necesarios en cantidades ínfimas para que el cuerpo humano funcione con normalidad. Sin embargo, varios metales pesados, como el mercurio (Hg), el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el talio (Tl), así como el cobre (Cu), el zinc (Zn) y el cromo (Cr), suelen ser problemáticos para el medio ambiente debido a sus efectos tóxicos (Romero, 2009).

Los metales pesados se clasifican en dos grupos distintos. El primer grupo incluye los oligoelementos o micronutrientes, que son esenciales para la vida de plantas y animales, aunque sólo en cantidades pequeñas. Si su concentración es demasiado alta, pueden

volverse tóxicos. Entre estos elementos se encuentran el cobalto, el cromo, el cobre, el molibdeno, el manganeso, el níquel y el zinc. También están el arsénico, el boro y el selenio, que, aunque no son metales ligeros ni no metales, tienen una composición similar a la de los oligoelementos. El segundo grupo está compuesto por metales pesados que no tienen ninguna función biológica, son tóxicos y pueden biomagnificarse. Este grupo incluye el cadmio, el mercurio, el plomo, el antimonio y el bismuto (Londoño et al., 2016).

El cromo es un elemento clasificado como metal pesado y muestra diferentes estados de oxidación química, incluyendo las valencias II, III y VI ( $\text{Cr}^{+2}$ ,  $\text{Cr}^{+3}$ ,  $\text{Cr}^{+6}$ ). Se destaca el  $\text{Cr}^{+6}$  debido a su alta toxicidad y a la dificultad de eliminarlo u oxidarlo en los organismos vivos. El cromo en sus formas  $\text{Cr}^{3+}$  y  $\text{Cr}^{6+}$ , también conocido como cromo hexavalente, tiene la capacidad de desnaturalizar proteínas, precipitar ácidos nucleicos y se ha demostrado que tiene efectos cancerígenos en los pulmones y el sistema digestivo, lo que lo convierte en una sustancia altamente peligrosa para los organismos vivos. De manera similar, una prolongada exposición a los vapores de cromo puede ocasionar la formación de úlceras, hemorragias y daños en el tabique nasal (Alves et al., 2008).

“El cromo se encuentra en diferentes estados de oxidación que van desde el 2 al +6, de los cuales el  $\text{Cr}^{+6}$  como cromato ( $\text{CrO}_4^{-2}$ ) y dicromato ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ ) son los que presentan los valores más altos de toxicidad, a comparación de los otros estados del compuesto. Por lo general estos se encuentran en largos periodos en lagunas superficiales y subterráneas, afectando en gran escala la salud de quienes la consumen como los animales y plantas. Sin embargo, la presencia del cromo en estado  $\text{Cr}^{+3}$ , es menos perjudicial y puede ser separada al ser precipitada como hidroxilo” (Iriundo, 2012).

### **2.2.3. El aguaje**

#### **Origen del aguaje**

El aguaje, especie nativa de la Amazonia, se encuentra en toda la América tropical, con una concentración en la región amazónica de Perú. Se supone que su fuente se encuentra en las presas de los ríos Huallaga, Marañón y Ucayali. Los departamentos de Loreto, Ucayali, Huánuco y San Martín cultivan y utilizan esta planta en poblaciones silvestres. Además, está ampliamente distribuida en naciones como Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Venezuela y Guyana. La palma crece en suelos tropicales inundables y bien drenados, así como en regiones cálidas y húmedas (IIAP, 2009).

El hábitat natural del aguaje se encuentra en humedales y regiones mal drenadas de la Amazonia, que se distinguen por suelos que se inundan periódica o constantemente.

Crece en ecosistemas de «aguajales», que también se encuentran en lugares altos con suelos hidromorfos donde las agrupaciones de plantas son típicamente más pequeñas, o en terrazas bajas que no son inundadas por los ríos. Esta especie puede adaptarse a una amplia gama de condiciones de suelo, desde los arenosos hasta los que tienen mucho contenido orgánico, y tanto a los suelos bien drenados como a los no inundados (IIAP, 2009).

### **Fruto (*Mauritia flexuosa* L.f.)**

Su nombre científico es (*Mauritia flexuosa* L.f.), y es un fruto comestible que proviene de una palmera originaria de Perú. Generalmente, se encuentra en grandes cantidades en regiones como Loreto, San Martín, Ucayali y Huánuco. También puede encontrarse en países vecinos como Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador y Venezuela. Esta palmera puede alcanzar hasta 35 metros de altura y se adapta con facilidad a climas tropicales, cálidos y húmedos, así como a suelos mal drenados o inundados (Castillo et al., 2006).

### **Características del fruto aguaje**

- Forma de hoja espiral
- Tallo de aproximadamente 8 m de longitud
- Sabor agri dulce
- La carne o pulpa conforma el 12% del fruto
- Alto contenido de vitamina A, B y C, así mismo, es rico en minerales (Castillo et al., 2006)

### **Composición nutricional de la semilla de aguaje**

Uno de los alimentos con mayor valor nutricional de la familia de los frutos trópicos, su aporte nutricional es:

- 283 kcal/100 g – calorías
- 8,10 g/100 g – proteínas
- 31 g/100 g – grasa
- 18,70 g/100 g – carbohidratos
- Minerales: calcio, fósforo, yodo y hierro

- Vitaminas: Beta caroteno, Tocoferoles, Ácido ascórbico, B1, B2, B5, C (Castillo et al., 2006).

### **Propiedades de la semilla de aguaje**

Uno de los alimentos más sanos entre las frutas tropicales es la pulpa de aguaje, y los mercados locales han experimentado un importante crecimiento económico gracias a su uso tradicional. Con 5 000 UI/g de aceite, esta fruta tiene un alto contenido en provitamina A e incluye ácidos oleicos, vitales para la nutrición humana. El mesocarpio dulce del aguaje tiene 1 116 µg/100 g de vitamina A en forma de retinol, suficiente para ayudar a los niños desnutridos que carecen de ella (Alberto, 2011).

### **2.3. Definición de términos básicos**

**Activación:** La activación denota el procedimiento para potenciar las características de un material, típicamente de naturaleza carbonosa, a través de la generación o alteración de su estructura porosa, lo que conlleva a una mejora en su capacidad de adsorción. Dos categorías principales de activación son la activación química y la activación física. La activación química involucra la utilización de reactivos químicos, como ácidos, con el propósito de inducir la formación de poros en el material, mientras que la activación física se basa en la descomposición térmica de compuestos orgánicos en presencia de gases inorgánicos, proceso que también conduce a la creación de poros en el material (Sánchez et al., 2009).

**Adsorción:** Fenómeno en donde los átomos, iones o moléculas de una sustancia en específico son elevadas a la superficie de un sólido debido a las fuerzas superficiales presentes o por enlaces químicos, es aquí donde se diferencian entre el tipo de adsorción física o química (Howe et al., 2017).

**Aguaje:** Fruto originario de la amazonia, su contenido es elevado en provitamina A, vitamina C. Así mismo, es muy conocido por su aporte en hormonas femeninas, y su capacidad de mantener la salud interna y externa del cuerpo, como el cuerpo, piel y cabello (Castillo et al., 2006).

**Carbón activado:** Se origina a partir de materias orgánicas ricas en carbono, como madera, cáscara de coco o turba, y experimenta un proceso de activación para generar una estructura porosa altamente desarrollada. Esta activación conlleva un incremento considerable en la superficie específica del carbón, dotándolo de eficacia en la captura de una amplia variedad de sustancias, tales como contaminantes, gases y compuestos orgánicos (Suyo, 2021).

Material carbonoso poroso, sin estructura cristalina, que tiene una red tridimensional de micro- y mesoporos interconectados, lo que le permite tener una gran área superficial y capacidad de adsorción (Ruiz-García et al., 2019).

**Carbonización:** hace referencia a un proceso de calentamiento de materia orgánica en ausencia de oxígeno, con el objetivo de obtener carbón como producto final (Amer y Elwardany, 2020).

**Cromo:** Elemento natural mayormente encontrado en rocas, animales, plantas y suelo. Se encuentra en varias formas ya sea líquido, sólido o gas. Sus estados de oxidación más comunes son el cromo (0), cromo (III) y cromo (VI), así mismo, es inodoro e insípido (EPA, 2015).

**Eficiencia:** Grado en el que se logra un efecto esperado o determinado (RAE, 2010).

**Metales pesados:** Se puede describir a los metales pesados como elementos químicos que tienen una alta densidad y un elevado peso atómico, incluyendo, entre otros, al plomo, mercurio, cadmio, cobre, cromo, níquel y arsénico. Estos elementos pueden ser altamente tóxicos y, en niveles elevados, pueden causar daños graves en el medio ambiente y en la salud humana (Pabón et al., 2020).

**pH:** El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio [ $\text{H}_3\text{O}^+$ ] presentes en determinadas sustancias (Equipos y Laboratorio de Colombia, 2022).

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ámbito y condiciones de la investigación**

##### **3.1.1. Contexto de la investigación**

- Departamento: San Martín
- Provincia: Moyobamba
- Distrito: Moyobamba
- Universidad Nacional de San Martín

##### **3.1.2. Periodo de ejecución**

El periodo de la investigación, fue del 21 – 09 – 2021 al 20 – 05 – 2022.

##### **3.1.3. Autorizaciones y permisos**

Se solicitó los permisos para usar los laboratorios de Ingeniería Sanitaria, de Biología y Química de la Facultad de Ecología, de la ciudad de Moyobamba. **(Ver Anexo 1)**

##### **3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad**

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria - UNSM, cumpliendo con los estándares de control ambiental y bioseguridad que allí se manejaban como política o instrumento interno.

##### **3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales**

El trabajo se ajustó a los principios éticos básicos de la investigación. Esto abarcó la recolección adecuada de información y la correcta citación de los autores originales de los contenidos utilizados. Además, se reconoció la contribución de cualquier persona que participo en el proceso de investigación y en la obtención de datos relevantes. Además, se promovió una relación armoniosa con el entorno natural para prevenir cualquier daño durante la investigación.

#### **3.2. Sistema de variables**

##### **3.2.1. Variables principales**

**Variable dependiente (Y):**

Adsorción de cromo (VI)

**Variable independiente (X):**

Carbón activado de semilla de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*)

**Tabla 2**

Descripción de sistema de variables

Variables	Dimensión	Indicador	Unidad de Medida
Variable independiente:			
Carbón activado de semilla de aguaje ( <i>Mauritia flexuosa L.f.</i> )	Física	Tiempo de impregnación agente activante	horas
		Temperatura de carbonización	°C
Variable dependiente:			
Adsorción de cromo (VI)	Química	Velocidad de mezcla	rpm
		Temperatura de agitación	°C
		Cantidad de carbón activado	mg

**3.2.2. Variables secundarias**

**Objetivo N° 1:** Formular concentraciones de soluciones de cromo (VI) a nivel de laboratorio.

**Variable abstracta:** Formular concentraciones de soluciones de cromo (VI).

**Variable concreta:** Concentraciones de soluciones de cromo (VI) a nivel laboratorio.

**Objetivo N° 2:** Determinar las condiciones óptimas de tiempo, velocidad de mezcla y cantidad de sustancia, para la obtención de carbón activado a partir de semilla de “aguaje” (*Mauritia flexuosa L.f.*).

**Variable abstracta:** Condiciones óptimas de tiempo para la obtención de carbón activado a partir de semilla de “aguaje” (*Mauritia flexuosa L.f.*)

**Variable concreta:** Tiempo, velocidad de mezcla y cantidad de sustancia.

**Objetivo N° 3:** Demostrar la eficiencia, del carbón activado obtenido experimentalmente, en la adsorción de cromo (VI).

**Variable abstracta:** Eficiencia del carbón activado

**Variable concreta:** % de adsorción de cromo (VI).

**3.3. Procedimientos de la investigación**

**3.3.1. Formular concentraciones de soluciones de cromo (VI) 0,065 M; a nivel de laboratorio.**

La preparación de la sal de cromo (VI) comenzó con la adquisición de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ), que son sales de cromo hexavalente.

Se calculó la masa molar de la sal  $K_2Cr_2O_7$ , sumando las masas atómicas de los elementos constituyentes. Este procedimiento facilitó determinar la cantidad requerida para la formulación de la solución.

Para generar una solución de cromo (VI) a una concentración de 0,065 M, fue necesario disolver una cantidad precisa de la sal de cromo en agua destilada.

El volumen de agua necesario para disolver la cantidad de sal se calculó utilizando la fórmula de la concentración molar:  $\text{Concentración (M)} = \text{Moles} / \text{Volumen (L)}$ .

Se agregó la cantidad calculada de sal de cromo (VI) al volumen calculado de agua destilada en un matraz aforado. Se agitó suavemente hasta que la sal se disolvió completamente.

Se etiquetó el matraz aforado de manera precisa, incluyendo detalles como la concentración, la fecha y otros datos pertinentes. Se almacenó la solución en un entorno apropiado, preferiblemente en un lugar fresco y oscuro, y se selló el recipiente adecuadamente para prevenir la posible contaminación.

Durante la fase de experimentación de este estudio, se llevaron a cabo dos iteraciones de los procedimientos de coagulación. Esto se hizo con el propósito de obtener promedios, recopilar datos de manera resumida y permitir una adecuada evaluación.

### **3.3.2. Determinación de las condiciones óptimas de tiempo, velocidad de mezcla y cantidad de sustancia, para la obtención de carbón activado a partir de semilla de “aguaje” (*Mauritia flexuosa* L.f.)**

Elaboración del carbón activado:

- **Pre secado:** Una vez obtenida la materia prima se prosiguió a su secado a temperatura ambiente durante un lapso de 15 días.
- **Trituración:** Se efectuó haciendo uso de una picadora de 15 HP, con la finalidad de obtener partículas homogéneas con respecto al tamaño, de esta manera se facilita su secado una vez colocado en la estufa.
- **Secado:** Este proceso se dio con la finalidad de extraer por completo la humedad, haciendo uso de la mufla a una temperatura de 90°C durante un lapso de 15 días.

- **Adición del agente activante:** Se efectuó la mezcla de la materia prima una vez secado, con el ácido fosfórico  $H_3PO_4$  al 85,0% concentración en una proporción de 1 a 1 respectivamente durante 24 horas.
- **Carbonización:** En una mufla, la materia prima ya impregnada y previamente colocada en los crisoles con su respectiva tapa fue expuesta a temperaturas de 400°C, 500°C y 600°C durante un tiempo de 30 minutos.
- **Lavado:** Una vez obtenido el carbón se procedió hacer el respectivo lavado de los carbones con abundante agua destilada, papel filtro, soportes y embudos, para así asegurar la obtención de un carbón con pH neutro.
- **Secado:** Una vez neutralizado el pH, se procedió a secar nuevamente en la estufa a una temperatura de 90°C durante un lapso de 1 hora.
- **Molienda:** Se empleó el mortero para la obtención del carbón granular.
- **Envasado:** Finalmente se colocó el producto en envases debidamente rotulados indicando la temperatura a la que fue expuesta.

Determinación de las condiciones óptimas para cada temperatura de las diferentes materias primas.

Se tuvo en cuenta los siguientes factores:

- Peso (gr) del carbón activado a usar para la remoción del  $Cr^{+6}$  de las muestras de agua.
- Velocidad de agitación en revoluciones por minuto (rpm) del carbón activado con la muestra de agua.
- Tiempo de agitación del producto (carbón activado) con las muestras de agua.
- Volumen en mililitros de las muestras que fueron sometidas al tratamiento.

### **3.3.3. Demostrar la eficiencia, del carbón activado obtenido experimentalmente, en la adsorción de cromo (VI).**

#### **Medición de la concentración residual de cromo (VI)**

Se realizó la medición de la concentración de cromo (VI) en las soluciones antes y después de entrar en contacto con el carbón activado. Esto se logró mediante el uso de espectrofotometría.

### **Eficiencia del carbón activado en la remoción del Cr<sup>6+</sup>**

Para calcular la eficiencia del carbón activado a base semilla de aguaje, en la remoción del Cr<sup>6+</sup> se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Eficiencia en remoción} = \frac{(\text{Concentración}_{\text{entrada}} - \text{Concentración}_{\text{salida}})}{\text{Concentración}_{\text{entrada}}} \times 100$$

Fuente: (Lozano et al., 2019)

Para lo cual solo se tuvieron en cuenta los mejores resultados de cada temperatura de la materia prima usada.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Formulación de concentración de solución de cromo (VI); a nivel de laboratorio.

Se preparó 1 litro de solución de cromo (VI) con una concentración de 0,065 M. Para ello, se utilizaron las siguientes fórmulas para determinar la cantidad de  $K_2Cr_2O_7$  que debe disolverse en 1 litro para alcanzar la concentración deseada.

Entonces:

$$\text{Si } M = 0,065 = (\# \text{ mol})/(\text{V en Lt})$$

#### Despejando

$$\# \text{ mol } K_2Cr_2O_7 = M \times V \text{ (en Lt)}$$

$$= 0,065 \text{ mol/Lt} \times 1 \text{ Lt} = 0,065 \text{ mol } K_2Cr_2O_7$$

#### Convirtiendo de mol a gramos:

$$0,065 \text{ mol}/K_2Cr_2O_7 \times 294 \text{ gr}/(1 \text{ mol}) = 19,11 \text{ gr } K_2Cr_2O_7$$

Para la obtención de una concentración de 0,065 M en una solución de agua de 1 Lt, se agregó 19,11 gr de  $K_2Cr_2O_7$ , y se disolvió.

Para la preparación de la solución de Cr (VI) a una concentración de 0,065 M, se pesaron 19,11 g de  $K_2Cr_2O_7$  (dicromato de potasio) en una balanza analítica. El reactivo se transfirió cuantitativamente a un matraz aforado de 1 L, se disolvió inicialmente en aproximadamente 500 mL de agua destilada, agitando hasta disolución completa. Posteriormente la solución homogeneizó mediante agitación manual.

Finalmente se procedió a determinar la equivalencia de 0,065 M de  $K_2Cr_2O_7$  a unidades partes por millón (ppm), usando el Espectrofotómetro DR 1900, lo cual dio como resultado una concentración de 0,13 ppm de Cr (VI).

#### 4.2. Condiciones de tiempo, temperatura y cantidad, para la obtención de carbón activado a partir de semilla de “aguaje”.

Se consideraron tres temperaturas diferentes, es decir, 400°C, 500°C y 600°C, para la producción de carbón activado. Una vez obtenida la sustancia, se procedió a medir el pH de cada muestra, y se encontró que tenían un valor ácido de 4. Para corregir esto,

se llevó a cabo un proceso de lavado exhaustivo con agua destilada hasta lograr estabilizar el pH y alcanzar un valor neutro de 7.

Además, en el proceso de análisis se manejaron tres variables cruciales: El peso, la velocidad, el tiempo de agitación y el volumen de la muestra. Esto se hizo con el propósito de identificar las condiciones óptimas que garantizarían la eliminación eficaz del cromo contenido en las muestras de agua. Durante este proceso, se consideraron los siguientes valores:

**Tabla 3**

*VARIABLES TOMADAS EN CUENTA PARA CADA TEMPERATURA DE CARBONIZACIÓN*

<b>Peso (gr)</b>	<b>Velocidad (RPM)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Volumen (mL)</b>
1,0	50	5,0	100,0
1,5	100	10,0	100,0
2,0	150	15,0	100,0

#### **4.3. Eficiencia del carbón activado obtenido experimentalmente, en la adsorción de cromo (VI).**

##### **Carbón activado obtenido a 400°C**

###### **- Peso: 1,0 gr**

Se empezó trabajando con 1 gr de carbón activado, el cual fue aplicado a las muestras de 100 mL cada una, a las velocidades y tiempos establecidos en la tabla 3, para los cual se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 4**

*Remoción de Cromo VI empleando carbón a 400°C – 1,0 gr*

<b>Velocidad (RPM)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Cr (VI) inicial (mg/L)</b>	<b>Cr (VI) final (mg/L)</b>
50	5	0,13	0,17
	10	0,13	0,15
	15	0,13	0,14
100	5	0,13	0,12
	10	0,13	0,09
	15	0,13	0,11
150	5	0,13	0,11
	10	0,13	0,11
	15	0,13	0,12

##### **Interpretación:**

Teniendo en cuenta lo obtenido en la tabla 4, podemos observar que, al aplicar el tratamiento a una temperatura de 400°C, a diferentes velocidades y tiempos de agitación, empleando 1,0 gr de carbón, no se obtuvo disminuciones significativas del

Cr<sup>+6</sup> presente en las muestras, sin embargo, el mejor resultado fue de 0,09 mg/L, la cual se obtuvo al aplicar una velocidad de agitación de 100 rpm por un lapso de 10 minutos. Lo cual nos indica que las condiciones empleadas en este ensayo no son las adecuadas para alcanzar un porcentaje de adsorción de cromo (VI) adecuado en las muestras de agua, por lo cual no podrá ser considerado como tratamiento.

- **Peso: 1,5 gr**

Así mismo se trabajó aplicando 1,5 gr de carbón activado a las muestras de 100 mL cada una, sometidos a las velocidades y tiempos establecidos en la tabla 3, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 5**

*Remoción de Cromo VI empleando carbón a 400°C – 1,5 gr*

<b>Velocidad (RPM)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Cr (VI) inicial (mg/L)</b>	<b>Cr (VI) final (mg/L)</b>
50	5	0,13	0,15
	10	0,13	0,12
	15	0,13	0,13
100	5	0,13	0,12
	10	0,13	0,09
	15	0,13	0,14
150	5	0,13	0,12
	10	0,13	0,08
	15	0,13	0,11

**Interpretación:**

De acuerdo a la tabla 5, se puede observar que, al aplicar 1,5 gr a las muestras, sometidas a diferentes velocidades y tiempos de agitación, las variaciones en contenido de Cr (VI) presente en las muestras no variaron de manera significativa. Obteniendo como mejor resultado una concentración de 0,08 mg/L, el cual se produjo al someter la muestra a una velocidad de agitación de 150 rpm por un lapso de 10 min. Este resultado indica que las condiciones utilizadas en el ensayo no son suficientes para lograr un porcentaje de adsorción de cromo (VI) apropiado en las muestras de agua. Debido a esto, el ensayo no puede ser considerado como un tratamiento efectivo.

- **Peso: 2,0 gr**

Finalmente se trabajó con 2,0 gr de carbón activado, las cuales fueron aplicados a las muestras de 100 mL cada una, sometiéndose a las velocidades y tiempo establecidos en la tabla 3, para lo cual se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 6***Remoción de Cromo VI empleando carbón a 400°C – 2,0 gr*

Velocidad (RPM)	Tiempo (min)	Cr (VI) inicial (mg/L)	Cr (VI) final (mg/L)
50	5	0,13	0,12
	10	0,13	0,11
	15	0,13	0,10
100	5	0,13	0,09
	10	0,13	0,07
	15	0,13	0,10
150	5	0,13	0,11
	10	0,13	0,09
	15	0,13	0,12

**Interpretación:**

Teniendo en cuenta lo obtenido en la tabla 6, se puede visualizar que, al aplicar 2,0 gr del producto a las muestras, sometidos a diferentes velocidades y tiempos de agitación, las variaciones en la concentración de Cr (VI) presente en las muestras empiezan a variar, reduciendo de manera notable. Obteniendo como mejor resultado 0,07 mg/L, el cual se produjo al someter la muestra a una velocidad de 100 rpm por un lapso de 10 min. Este resultado indica que la condición indicada es óptima para lograr un porcentaje de adsorción en las muestras de agua. Debido a esto, la condición aplicada en el ensayo es considerada como un tratamiento efectivo.

Por último, después de evaluar los pesos, velocidades y tiempos de agitación, se determinó la condición más óptima para reducir la cantidad de Cr<sup>+6</sup> en las muestras analizadas, aplicando el carbón activado obtenido a 400°C, los cuales se muestran a continuación:

**Tabla 7***Condiciones óptimas empleando carbón activado a 400°C*

Condiciones óptimas	
Velocidad	100 rpm
Tiempo	10 min
Peso	2 gr
Cr <sup>+6</sup> final	0.07 mg/L

**Carbón activado obtenido a 500°C****- Peso: 1,0 gr**

Se empleó 1,0 gr de carbón activado, el cual se aplicó a las muestras de 100 mL cada una, sometiéndose a las velocidades y tiempos establecidos en la tabla 3, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 8***Remoción de Cromo (VI) empleando carbón a 500°C – 1,0 gr*

Velocidad (RPM)	Tiempo (min)	Cr (VI) inicial (mg/L)	Cr (VI) final (mg/L)
50	5	0,13	0,17
	10	0,13	0,15
	15	0,13	0,14
100	5	0,13	0,14
	10	0,13	0,10
	15	0,13	0,15
150	5	0,13	0,10
	10	0,13	0,09
	15	0,13	0,12

**Interpretación:**

Teniendo en cuenta la tabla 8, podemos observar que al agregar 1gr del producto obtenido a una temperatura de 500°C, a diferentes velocidades y tiempos de agitación, se obtuvo una disminución en las concentraciones de Cr (VI) presente en las muestras, sin embargo, el mejor resultado fue de 0,09 mg/L, la cual se obtuvo al aplicar una velocidad de 150 rpm por un lapso de 10 minutos. Este dato indica que al emplear la velocidad indicada se obtiene un resultado óptimo en el porcentaje de adsorción de cromo (VI) en las muestras de agua. Debido a esto, la condición aplicada en el ensayo podría considerarse como tratamiento efectivo.

**- Peso: 1,5 gr**

Se trabajó aplicando 1,5 gr del carbón activado a las muestras de 100 mL cada una, a las velocidades y tiempos establecidos en la tabla 3, llegando a obtener los siguientes resultados:

**Tabla 9***Remoción de Cromo (VI) empleando carbón a 500°C - 1,5 gr*

Velocidad (RPM)	Tiempo (min)	Cr (VI) inicial (mg/L)	Cr (VI) final (mg/L)
50	5	0,13	0,09
	10	0,13	0,06
	15	0,13	0,08
100	5	0,13	0,10
	10	0,13	0,08
	15	0,13	0,09
150	5	0,13	0,08
	10	0,13	0,07
	15	0,13	0,11

**Interpretación:**

De acuerdo a la tabla 9, se puede observar que, al aplicar 1,5 gr del producto las muestras, sometidas a diferentes velocidades y tiempos, las variaciones en la cantidad de Cr<sup>+6</sup> presente en las muestras tuvieron una notable disminución. Obteniendo como

mejor resultado una cantidad de 0,06 mg/L, el cual se produjo al someter la muestra a una velocidad de 50 rpm por un lapso de 10 minutos. Esto indica que al emplear la condición indicada se obtiene un resultado óptimo en el porcentaje de adsorción de cromo (VI) en las muestras de agua al igual que en el ensayo anterior. Debido a esto, la condición aplicada en el ensayo podría considerarse como tratamiento efectivo.

- **Peso: 2,0 gr**

Por último, se aplicó 2,0 gr del producto a cada una de las muestras, sometidas a las velocidades y tiempos indicados en la tabla 3, llegándose a obtener los siguientes resultados:

**Tabla 10**

*Remoción de Cromo (VI) empleando carbón a 500°C – 2,0 gr*

<b>Velocidad (RPM)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Cr (VI) inicial (mg/L)</b>	<b>Cr (VI) final (mg/L)</b>
50	5	0,13	0,07
	10	0,13	0,04
	15	0,13	0,06
100	5	0,13	0,09
	10	0,13	0,09
	15	0,13	0,10
150	5	0,13	0,08
	10	0,13	0,05
	15	0,13	0,09

**Interpretación:**

Teniendo en cuenta lo obtenido en la tabla 10, se puede visualizar que, al aplicar 2,0 gr de carbón activado a las muestras, sometidas a diferentes velocidades y tiempos de agitación, la concentración de Cr<sup>+6</sup> presente en las muestras disminuyeron de manera significativa. Obteniendo como mejor resultado una cantidad de 0,04 mg/L, el cual se produjo al someter la muestra a una velocidad de 50 rpm por un lapso de 10 min. Esto indica que al emplear la condición indicada se obtiene un resultado óptimo en el porcentaje de adsorción de cromo (VI) en las muestras de agua al igual que en el ensayo anterior. Debido a esto, la condición aplicada en el ensayo podría considerarse como tratamiento efectivo.

Finalmente, una vez evaluados los pesos, velocidades y tiempos de agitación, se determinó la condición más óptima para reducir el contenido de Cr<sup>+6</sup> en las muestras analizadas, empleando el carbón activado obtenido a 500°C, los cuales se muestran a continuación:

**Tabla 11***Condiciones óptimas empleando carbón activado a 500°C*

<b>Condiciones óptimas</b>	
Velocidad	50 rpm
Tiempo	10 min
Peso	2,0 gr
Cr <sup>+6</sup> final	0,04 mg/L

**Carbón activado obtenido a 600°C****- Peso: 1,0 gr**

Se trabajó aplicando 1,0 gr del carbón activado a las muestras de 100 mL cada una, las cuales fueron sometidas a las velocidades y tiempos indicados en la tabla 3, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 12***Remoción de Cromo VI empleando carbón a 600°C – 1,0 gr*

<b>Velocidad (RPM)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Cr (VI) inicial (mg/L)</b>	<b>Cr (VI) final (mg/L)</b>
50	5	0,13	0,22
	10	0,13	0,15
	15	0,13	0,17
100	5	0,13	0,15
	10	0,13	0,11
	15	0,13	0,13
150	5	0,13	0,17
	10	0,13	0,15
	15	0,13	0,19

**Interpretación:**

Teniendo en cuenta la tabla 12, podemos observar que, al aplicar 1,0 gr del producto obtenido a una temperatura de 600°C, a diferentes velocidades y tiempos de agitación, se obtuvieron resultados negativos, ya que este mostró un aumento en el contenido de Cr (VI) de la mayoría de las muestras. El mejor resultado fue de 0,11, el cual se obtuvo al someter la muestra a una velocidad de 100 rpm por un tiempo de 10 minutos. Lo cual nos indica que las condiciones empleadas en este ensayo no son las adecuadas para alcanzar un porcentaje de adsorción de cromo (VI) adecuado en las muestras de agua, por lo cual no podrá ser considerado como tratamiento.

**- Peso: 1,5 gr**

Así mismo, se aplicó 1,5 gr de carbón activado a cada una de las muestras, sometiéndose a las velocidades y tiempos establecidos en la tabla 3, para lo cual se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 13***Remoción de Cromo VI empleando carbón a 600°C – 1,5 gr*

Velocidad (RPM)	Tiempo (min)	Cr (VI) inicial (mg/L)	Cr (VI) final (mg/L)
50	5	0,13	0,19
	10	0,13	0,17
	15	0,13	0,20
100	5	0,13	0,12
	10	0,13	0,13
	15	0,13	0,13
150	5	0,13	0,21
	10	0,13	0,15
	15	0,13	0,20

**Interpretación:**

De acuerdo a la tabla 13, se puede observar que, al aplicar 1,5 gr del producto a las muestras, sometidos a diferentes velocidades y tiempos de agitación, las variaciones en la concentración de Cr (VI) presente en las muestras fueron mínimas, ya que en algunas se tuvo un incremento. El mejor resultado fue de 0,12 mg/L, el cual se produjo al someter la muestra a 100 rpm por un lapso de 5 minutos. Este resultado indica que las condiciones empleadas en este ensayo no son las adecuadas para alcanzar un porcentaje de adsorción, por lo cual no podrá ser considerado como tratamiento.

**- Peso: 2,0 gr**

Por último, se trabajó con 2,0 gr del carbón activado obtenido, agregándole a cada una de las muestras, para luego ser sometidas a las velocidades y tiempos indicados en la tabla 3, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 14***Remoción de Cromo VI empleando carbón a 600°C – 2,0 gr*

Velocidad (RPM)	Tiempo (min)	Cr (VI) inicial (mg/L)	Cr (VI) final (mg/L)
50	5	0,13	0,17
	10	0,13	0,15
	15	0,13	0,18
100	5	0,13	0,10
	10	0,13	0,11
	15	0,13	0,12
150	5	0,13	0,17
	10	0,13	0,11
	15	0,13	0,18

**Interpretación:**

Teniendo en cuenta lo obtenido en la tabla 14, se puede visualizar que, al adicionar 2,0 gr del producto a las muestras, sometidos a diferentes velocidades y tiempos de agitación, la concentración de Cr (VI) presente en las muestras disminuyeron en pequeñas proporciones. Obteniendo como mejor resultado una concentración de 0,10

mg/L, el cual se produjo al someter la muestra a una velocidad de agitación de 100 rpm por un lapso de 5 minutos. Este resultado indica que las condiciones empleadas en este ensayo no son las más adecuadas para alcanzar un porcentaje de adsorción de cromo (VI) óptimo.

Finalmente, después de evaluar los pesos, velocidades y tiempos de agitación, se determinó la condición óptima para reducir el contenido de Cr (VI) en las muestras analizadas, empleando el carbón activado obtenido a 600°C, los cuales se muestran a continuación:

**Tabla 15**

*Condiciones óptimas empleando carbón activado a 600°C*

<b>Condiciones óptimas</b>	
Velocidad	100 rpm
Tiempo	5 min
Peso	2 gr
Cr <sup>+6</sup> final	0,10 mg/L

**Resumen de los resultados obtenidos con la aplicación del tratamiento con carbón activado de semilla de “aguaje” (*Mauritia flexuosa* L.f.).**

**Tabla 16**

*Resumen de los resultados de concentración de Cromo (VI) después de la aplicación del carbón activado*

Temperatura de activación (°C)	Velocidad de agitación (RPM)	Tiempo de agitación (min)	Cr (VI) final con 1,0 g CA (mg/L)	Cr (VI) final con 1,5 g CA (mg/L)	Cr (VI) final con 2,0 g CA (mg/L)
400 °C	50	5	0,17	0,15	0,12
		10	0,15	0,12	0,11
		15	0,14	0,13	0,10
	100	5	0,12	0,12	0,09
		10	0,09	0,08	0,07
		15	0,11	0,14	0,10
	150	5	0,10	0,12	0,11
		10	0,09	0,09	0,09
		15	0,12	0,11	0,12
500 °C	50	5	0,17	0,09	0,07
		10	0,15	0,06	0,04
		15	0,14	0,08	0,06
	100	5	0,14	0,10	0,09
		10	0,10	0,08	0,09
		15	0,15	0,09	0,10
	150	5	0,10	0,08	0,08
		10	0,09	0,07	0,05
		15	0,12	0,11	0,09
600 °C	50	5	0,22	0,19	0,17
		10	0,15	0,17	0,15
		15	0,17	0,20	0,18
	100	5	0,15	0,12	0,10
		10	0,11	0,13	0,11
		15	0,13	0,14	0,12
	150	5	0,17	0,21	0,17
		10	0,15	0,15	0,11
		15	0,19	0,20	0,18

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el tratamiento de las concentraciones de Cr VI presente en las muestras, empleando carbón activado a base de semilla de aguaje, se determina las condiciones óptimas de las cuales se obtuvieron los mejores resultados en la investigación:

**Tabla 17**  
Condiciones óptimas del carbón de aguaje

Temperatura de activación (°C)	Velocidad de agitación (RPM)	Peso (gr)	Tiempo de agitación (min)	Cr (VI) final (mg/L)
400°C	100	2,0	10	0,07
500°C	50	2,0	10	0,04
600°C	100	2,0	5	0,10

### Eficiencia del carbón activado a base de semilla de aguaje, en la remoción del Cr VI.

Una vez establecidas las condiciones óptimas, se procede a calcular la eficiencia de las mismas.

- **Carbón activado a 400°C**

$$\% \text{ de eficiencia} = \frac{(0,13-0,07)}{0,13} \times 100$$

$$\% \text{ de eficiencia} = 46,2\%$$

- **Carbón activado a 500°C**

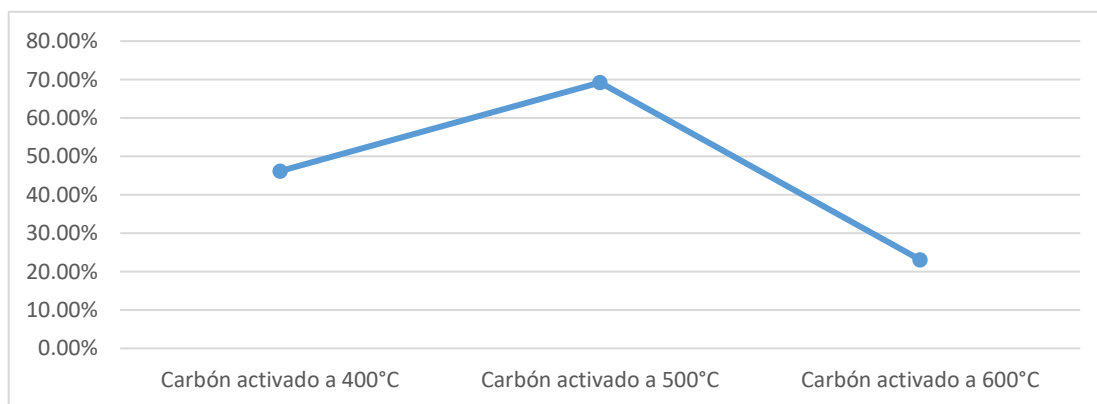
$$\% \text{ de eficiencia} = \frac{(0,13-0,04)}{0,13} \times 100$$

$$\% \text{ de eficiencia} = 69,2\%$$

- **Carbón activado a 600°C**

$$\% \text{ de eficiencia} = \frac{(0,13-0,10)}{0,13} \times 100$$

$$\% \text{ de eficiencia} = 23,1\%$$



**Figura 1**  
Eficiencia del carbón activado a base de semilla de aguaje

**Interpretación:**

Una vez calculado las eficiencias de remoción de cada carbón activado obtenido a partir de la semilla de aguaje, se puede indicar que el carbón más eficiente en el tratamiento de remoción del Cr (VI) de las muestras, es el obtenido a 500°C con una eficiencia de 69,23%.

**4.4. Discusión de resultados**

Los resultados indican la eficiencia del carbón obtenido a partir de las semillas de aguaje, en la adsorción de Cromo hexavalente Cr (VI), de muestras de agua preparadas a nivel de laboratorio, desarrollado en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología de Moyobamba, la temperatura óptima se obtuvo a 500°C, con un velocidad de 50 rpm, una dosis aplicada de 2,0 gramos, y tiempo óptimo de 10 minutos, la concentración inicial de Cr (VI) fue de 0,13 mg/L y se logró reducir a 0,04 mg/L, lo que corresponde a un eficiencia de 69,29%, evidenciando valores significativos en tratamiento de Cromo hexavalente Cr (VI).

Todos los resultados son comparables con las investigaciones realizadas por otros autores, como Vanegas (2022), realizó su estudio de investigación titulado “Determinación de los parámetros de la adsorción de Cromo (VI) sobre residuos de mandarina (*Citrus reticulada*)”, se efectuó el tratamiento sobre el mismo parámetro de nuestro estudio, donde utilizó agua residual derivados de una curtiembre, la cual tuvo un valor inicial de 100,3 ppm y se logró reducir de cromo final a 16,2 ppm, aplicando una dosis de 3,0 gramos de material absorbente obtenido de la mandarina (*Citrus reticulada*) mediante un tratamiento físico, la cual fue la más óptima, que la del tratamiento químico, la adsorción en eficiencia correspondió al 83,86% de la muestra tratada. Estos resultados nos indica la eficiencia material absorbente, comparándolo los resultados de nuestra investigación son similares, dado que se ha realizado el tratamiento en mismo parámetro que es el Cr<sup>+6</sup> que se tuvo una eficiencia de 69,2%, cabe mencionar que nuestra investigación fue carbón activado propiamente, destacando los dos como muy buenos para tratar aguas con concentraciones de Cromo hexavalente Cr (VI).

El estudio de Popoola et al., (2022) sobre carbón activado de la cáscara de *Citrullus Lanatus*, destaca una alta capacidad de adsorción de Cu<sup>+2</sup> metales pesados, llegando a una remoción de 84,0% debido a su estructura porosa que presenta el material precursor. En el presente estudio, se evaluó el carbón activado de semillas de aguaje, logrando una eficiencia de remoción del 69,2% a 500°C con ácido fosfórico como agente activante. Aunque no se trató del mismo parámetro, pero se encuentra dentro del grupo

de metales pesados, los resultados indican un buen desempeño en la eliminación de Cr (VI) y  $\text{Cu}^{+2}$ . Estos hallazgos subrayan la efectividad sobre los metales pesados de carbón activado como absorbentes.

Según Calle y Dávila (2023) en su investigación analizaron el grado de reducción del carbón activado obtenido a partir de las semillas de aguaje (*Mauritia flexuosa L*), en el tratamiento de aguas residuales de dren 2000, con elevado contenido de Plomo, en donde obtuvieron como resultado un mayor grado de absorción al emplear carbón activado de 2,0 gramos logrando una reducción de 84,4% en sus valores finales obtenidos de Plomo. Lo cual concuerda con la presente investigación ya que se redujo en 69,2%, demostrando la eficiencia, aunque es un poco menor que puede ser por la limpieza adicional que realizaron con hidróxido de sodio a la materia prima, y el tipo de muestras utilizada a nuestra investigación, pero aun así demuestra eficiencia el carbón activado obtenido de semilla de aguaje demostrando que la aplicación si absorbe los metales pesados.

Cotrina (2022) estudiaron el uso de carbón activado a partir de hueso de aceituna, tratando agua sintética y analizar su capacidad de adsorción de metales pesados como el  $\text{Cr}^{+6}$ . El carbón activado se preparó mediante impregnación con ácido fosfórico y térmica a 500-600°C, la temperatura óptima de 600°C logró alcanzar una alta eficiencia de adsorción del cromo hexavalente de 120 mg/L a 10,7 mg/L, en tiempo de 120 minutos de tratamiento y 300 rpm de agitación constante. En comparación, el presente estudio evaluó la eficiencia del carbón activado de semillas de aguaje en la adsorción de cromo (VI) a diversas temperaturas de activación, encontrando que 500°C resultó en una mayor eficiencia de remoción. Ambos estudios subrayan la importancia tiempo de tratamiento, gramos de sustancia utilizada y la temperatura de carbonización, lo que podría influenciar mejor de activación en el desarrollo de carbones activados eficaces, destacando la activación térmica en el rango de 500-600°C como óptima para maximizar la adsorción, influenciada por la estructura porosa y la acidez superficial del carbón. Esto resalta cómo diferentes materias primas y condiciones de activación pueden ser utilizadas exitosamente para la remoción de contaminantes en agua.

Maldonado (2023), determinó el efecto que tiene el carbón activado elaborado de manera experimental a base de endocarpio de coco, en la adsorción de  $\text{DBO}_5$ , y nitratos presentes en lixiviados de botadero municipal Yacucatina, en donde obtuvo como resultado la cantidad óptima para reducir las cantidades  $\text{DBO}_5$ , y nitratos, es aplicando 5,0 gr de carbón, velocidad de 60 rpm, logrando reducir 85,2% y 89,5%. Si bien en la presente investigación se trabajó con un carbón activado de otro tipo de materia prima,

esta no deja de ser natural, similar a lo que se aplica en la investigación mencionada. Así mismo, la dosificación concuerda con los resultados muy similares, en relación a la eficiencia. Las dosis diferentes aplicadas y la diferencia de materias primas, influyen en los resultados finales obtenidos, resaltando que nuestra investigación dio tratamiento a un metal pesado, y con menos gramos de carbón activado.

## CONCLUSIONES

El presente estudio evaluó la eficacia del carbón activado derivado de semillas de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*) en la adsorción de cromo hexavalente (VI) en muestras de agua. Se preparó la muestra experimentalmente a nivel de laboratorio utilizando proporciones de 19,1 g de  $K_2Cr_2O_7$  por litro de solución, resultando una concentración inicial de 0,13 mg/L de Cr (VI), para su posterior tratamiento.

Se elaboró carbón activado a tres temperaturas: 400°C, 500°C y 600°C, con un tiempo de carbonización de 30 minutos. Los mejores resultados en la adsorción de cromo hexavalente (VI) se lograron con el carbón activado producido a 500°C. Utilizando 2,0 gramos de este carbón, con un tiempo de contacto de 10 minutos y una velocidad de 50 revoluciones por minuto. Bajo estas condiciones, se logró la mayor remoción del metal pesado, identificando las condiciones óptimas en cuanto a tiempo, velocidad y cantidad de sustancia utilizado en el tratamiento.

El carbón activado obtenido de la semilla de aguaje demostró ser eficiente en la adsorción de cromo hexavalente Cr (VI), logrando reducir su concentración inicial de 0,13 mg/L a 0,04 mg/L. Esta reducción significativa corresponde a una eficiencia del 69,2% en el tratamiento del parámetro evaluado, lo que resalta el potencial del carbón activado en este proceso de remoción.

El proceso de tratamiento utilizando carbón activado derivado de semillas de aguaje demostró ser una alternativa prometedora para la eliminación de cromo hexavalente en muestras de agua. La optimización de las variables de proceso, particularmente la temperatura de carbonización, juega un papel crucial en la eficacia del tratamiento. Estos hallazgos no solo contribuyen al campo del tratamiento de aguas residuales, sino que también promueven el uso sostenible de recursos naturales en aplicaciones de remediación ambiental.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda a los estudiantes e investigadores en general ampliar el estudio variando los tiempos de carbonización tratando de evaluar si un tiempo mayor o menor de carbonización puede mejorar aún más la eficiencia del carbón activado en la adsorción del Cromo hexavalente Cr (VI), optimizando el proceso para una posterior industrialización.

Para futuros investigadores en ciencias ambientales, se recomienda realizar estudios adicionales para determinar su comportamiento en la eliminación de otros contaminantes presentes en aguas residuales, como metales pesados o compuestos orgánicos, ampliando su potencial de aplicación en el tratamiento de dichas aguas.

Para futuras investigaciones, es recomendable innovar técnicas de recuperación del carbón activado de aguaje para evaluar su reusabilidad y capacidad de mantener su eficacia en tratamientos de agua, lo que podría reducir costos operativos y minimizar el impacto ambiental.

Se sugiere a entidades privadas, realizar estudios piloto a mayor escala, utilizando volúmenes de agua más grandes y condiciones más cercanas a las industriales, con el fin de evaluar la viabilidad económica y técnica del uso del carbón activado de aguaje en plantas de tratamiento de agua.

Para la industria y el sector privado, se recomienda explorar las posibilidades de producción y comercialización del carbón activado de semillas de aguaje como una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas contaminadas, realizando estudios de viabilidad económica y estableciendo colaboraciones con instituciones académicas para optimizar el proceso y expandir sus aplicaciones potenciales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aconsa. (12 de Febrero de 2021). Obtenido de Asesoría y Consultoría Sanitaria, S.L:  
Disponible en: <https://aconsa-lab.com/metales-pesados-en-el-agua-potable/>
- Abdelghaffar, R. (2023). *Effluent dye removal by microwave-assisted activated carbon* (1st ed.). Springer.
- Alberto, F. (Marzo de 2011). *Frutos exóticos de la selva peruana*. Obtenido de:  
<https://hkxioval.blogspot.com/2011/07/el-aguaje.html>
- Alves Sarmiento, A., Rojas, M., Agreda, O., Seijas, D. (2008). Evaluación de la exposición ocupacional de Cr en industrias de cromado en Valencia, Venezuela. *Geoscience*, 21, 70-80. Obtenido de: <https://goo.su/Z6TCmo>
- Amer, M. O., y Elwardany, A. (2020). Biomass carbonization. En *Renewable energy: Resources, challenges and applications*. IntechOpen.  
<https://doi.org/10.5772/intechopen.90480>.
- Calle, L. E., y Davila, E. O. (2023). *Eficacia del carbón utilizando semilla de aguaje (Mauritia flexuosa) en la remoción de plomo en aguas del dren 2000*. Chiclayo - Perú: Facultad de ingeniería y arquitectura. Obtenido de:  
<https://n9.cl/lqvoq7>.
- Carbotenia. (12 de diciembre de 2023). *¿Qué es el carbón activado y para qué sirve?*  
Obtenido de: <https://goo.su/Dn5kzWu>
- Castillo Torres, D., Otárola Acevedo, E., y Freitas Alvarado, L. (2006). *Aguaje: la Maravillosa palmera de la Amazonía*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Obtenido de :<https://hdl.handle.net/20.500.12921/76>
- Corona, J. L. (2013). *Contaminación antropogénica en el lago de Maracaibo*, Venezuela. *Biocenosis*, 27(1-2). <https://goo.su/7Vi04>
- Cotrina, O. R. (2022). *Reducción de cromo VI en agua mediante adsorción de carbón activado de hueso de aceituna escala laboratorio, 2022*. Lima - Perú: Universidad César Vallejo: Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.
- Cruz C., G., Guzmán T., V., Rimaycuna R., J., Alfaro A., R., Cruz M., J., Aguirre C., D., y Ubillus A., E. (2015). Tratamiento complementario de agua potable utilizando un filtro de carbón activado impregnado con quitosano producidos a partir de biomasa

- residual. Manglar, 12(1), 65-74. Universidad Nacional de Tumbes. <https://goo.su/JLZGY5A>
- Dehghani, M. H., Karri, R. R., y Lima, E. (2021). Green technologies for the defluoridation of water (1st ed.). Elsevier.
- EPA. (2015). Chromium compounds. *United States Environmental Protection Agency*. <https://goo.su/SL292g>
- Equipos y Laboratorio de Colombia. (2022). *Equipos y Laboratorio de Colombia S.A.S*. Obtenido de Artículos: Disponible en: <https://goo.su/ark1i0l>
- Gonzales Mora, H. E., y Teruya Chinen, R. (2004). Carbón Activado. Estudio Preliminar situación en el Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina, Departamento Académico de Industrias Forestales. <https://goo.su/uuOg1J>
- Howe, K. J., Crittenden, J. C., Galván Fernández, M. A., Peralta Rosales, L., Tchobanoglous, G., Trussell, R. R., y Hand, D. W. (2017). Principios de tratamiento del agua (1a ed.). Cengage Learning.
- IIAP. (2009). El aguaje. (En Línea). 21. 15-21. Consultado en Octubre del 2024. Disponible en: <http://www.iiap.org.pe/focal/mercados/descripcion/aguaje.htm>
- Iriondo, M. (2012). Aguas superficiales y subterráneas de la provincia de Santa Fe. Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino. <https://goo.su/vqUpr6>
- Levine, I. N. (2014). *Principios de físicoquímica* (6ª ed.). McGraw Hill. ISBN 978-607-15-0988-8.
- Lozano, J. A., Jáuregui, J., Mendoza, G., Rodríguez, R., y Frausto, C. (2019). Remoción de colorantes azo con alginato: Relación entre estructura de colorante y eficiencia de remoción. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(1), 223-236. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.01.16>
- Londoño, F., Londoño, T., y Muñoz, G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Maldonado, L. J. (2023). *Eficiencia del carbón activado de endorcarpio de "coco", en la adsorción de contaminantes químicos del lixiviado del Botadero Municipal Yacucatina*. Tarapoto, Peru: Escuela de Posgrado de la facultad de ecología "Programa de maestría en ciencias con mención en gestión ambiental. Obtenido de: <http://hdl.handle.net/11458/5135>

- Marsh, H., y Rodríguez-Reinoso, F. (2006). Activated carbon (2nd ed.). Elsevier.
- Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., y Gallo, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción: Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18. <https://doi.org/10.31908/19098367.0001>
- Popoola, L., Yusuff, A. S., y Adeyi, A. (2022). Eliminación por adsorción de metales pesados del agua de producción de pozos petrolíferos utilizando cáscara de *Citrullus lanatus* : caracterización y optimización. *Revista sudafricana de ingeniería química*, 39, 19-27.
- Real Academia Española. (2010). Diccionario de la lengua española (23.<sup>a</sup> ed., versión 23.7).
- Rosales, D. J., y Quevedo, A. G. (2019). Adsorción con carbón activado obtenido de la semilla de aguaje para la remoción de plomo y cromo en aguas contaminadas (Informe de tesis, Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales). Asesor: Blga. M. T. Valderrama Rojas. <https://goo.su/z7fx>
- Romero Ledezma, K. P. (2009). Contaminación por metales pesados. *Revista Científica de Ciencias Médicas*, 12(1), 45-46. <https://goo.su/bAYn7U>
- Ruiz, A., Rodríguez, I., Luque, J. M., y González-Velasco, J. R. (2019). Carbón activado: tecnologías de producción y aplicaciones en medio ambiente. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 58(3), 111-128. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2018.06.004>
- Sánchez, G., Figueroa, S. A., y Vidales, A. (Eds.). (2009). La ciencia y tecnología en el desarrollo: Una visión desde América Latina. Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Santillán, K. M. (2020). *Eficiencia del carbón activado obtenido del endocarpo de coco (Cocos nucifera), para la reducción de color y turbiedad en el agua de escorrentía del sector San Lorenzo - Moyobamba 2018*. Moyobamba: Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto. Obtenido de Disponible en: <https://n9.cl/bkrwea>
- Suyo Rojas, G. (2021). Síntesis y aplicación de nuevos materiales porosos basados en triindol (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Madrid. <https://goo.su/eqzvGX0>
- Virapongse, A., Endress, B. A., Gilmore, M. P., Horn, C., Romulo, C. (2017). Ecology, livelihoods, and management of the *Mauritia flexuosa* palm in South America. *Global Ecology and Conservation*, 10, 70-92. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2016.12.005>

Vanegas, J. V. (2022). *Determinación de los parámetros de la adsorción de Cromo (VI) sobre residuos de mandarina (Citrus reticulada)*. Riobamba - Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de Disponible en: <https://n9.cl/hb13v>

## ANEXOS

### Anexo 1. Autorización de ingreso al laboratorio de Ingeniería Sanitaria



**FACULTAD DE ECOLOGÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA**  
**LABORATORIO DE INGENIERÍA SANITARIA**



*"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"*

Moyobamba, 14 de octubre 2022

**CARTA N° 033-2022-SIV.UNSM-T/FE/RLIS**

Señor Blga. M.Sc.  
**ASTRITH RUIZ RIOS**  
 Decano de la Facultad de Ecología

Asunto: **AUTORIZACIÓN DE INGRESO AL LABORATORIO DE INGENIERÍA SANITARIA**

Referencia: exp. N° 3661-2022-FECOL, prov. 3444.

Me dirijo a usted para saludarlo cordialmente a su persona y a la vez; indicar que, según la referencia indicada, el tesista **Juan Jesus Cruz Sanchez**, identificado con DNI: **70415050** y código de matrícula **70415050**, egresado de la Escuela de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología de la UNSM; presenta solicitud para ingresar al laboratorio de Ingeniería Sanitaria, estando en la fase experimental de la Tesis: **"Evaluación de la eficiencia del carbón activado de semilla de aguaje (Mauritia flexuosa L.f.) en la adsorción de cromo (VI)"**, por lo que requiere el uso del laboratorio de ingeniería sanitaria, para los análisis respectivos.

La tesista debe ingresar al laboratorio de ingeniería sanitaria conjuntamente con su asesor **Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza**, y el **Ing. Jhon Cruz Ventura** los días **15 al 18 de octubre del 2022**, a horas de 8:00 am hasta las 08:00 pm, cumpliendo con todos los protocolos de bioseguridad.

Por lo indicado; como responsable del laboratorio de Ingeniería Sanitaria; expreso la respectiva **conformidad**; sugiriendo a su Decanatura informar al interesado el permiso de ingreso a los ambientes de la Facultad, en coordinación con Vigilancia.

**Stáber Ingom Vásquez**  
**INGENIERO SANITARIO**  
**CIP N° 218448**

Encargado laboratorio ingeniería sanitaria  
 Facultad de Ecología de la UNSM

### Anexo 2. Registro de asistencia al laboratorio de Ingeniería Sanitaria



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN**  
**FACULTAD DE ECOLOGÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA**  
**Laboratorio de Ingeniería Sanitaria**

**Registro de asistencia al laboratorio.**

Fecha	Hora de entrada	Hora de salida	Nombre de usuario del laboratorio	Asesor
04/10/2020	6:00 p.m.	12:00 a.m.	Juan Jesús Cruz Sánchez	Yrwin Francisco Azabache Liza
05/10/2022	6:00 p.m.	12:00 a.m.	Juan Jesús Cruz Sánchez	Yrwin Francisco Azabache Liza
06/10/2022	6:00 p.m.	12:00 a.m.	Juan Jesús Cruz Sánchez	Yrwin Francisco Azabache Liza
07/10/2022	8:00 a.m.	8:00 p.m.	Juan Jesús Cruz Sánchez	Yrwin Francisco Azabache Liza
08/10/2022	8:00 a.m.	8:00 p.m.	Juan Jesús Cruz Sánchez	Yrwin Francisco Azabache Liza
15/10/2022	8:00 a.m.	8:00 p.m.	Juan Jesús Cruz Sánchez	Yrwin Francisco Azabache Liza
16/10/2022	8:00 a.m.	8:00 p.m.	Juan Jesús Cruz Sánchez	Yrwin Francisco Azabache Liza
17/10/2022	8:00 a.m.	8:00 p.m.	Juan Jesús Cruz Sánchez	Yrwin Francisco Azabache liza
18/10/2022	8:00 a.m.	8:00 p.m.	Juan Jesús Cruz Sánchez	Yrwin Francisco Azabache Liza

Atte.:

Ing. Yrwin Francisco Azabache Liza

**Asesor**

**Anexo 3.** Reporte de análisis efectuados en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN**  
**FACULTAD DE ECOLOGÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA**  
 Laboratorio de Ingeniería Sanitaria

Información

Tipo de muestra: Agua

Ensayos realizados por:

- Ing. Yrwin Azabache Liza
- Juan Jesus Cruz Sánchez

**Formulación de concentraciones de soluciones de cromo (VI)**

Fecha y hora de análisis: 4/10/2022 6:00 p.m.

Volumen de muestra	Concentración de Cr <sup>+6</sup>
1 L	0.13 mg/L

**Ensayos con carbón activado a 400°C - 1gr**

Fecha y hora de análisis: 5/10/2022 6:00 p.m.

Tiempo: 5, 10 y 15 minutos

Velocidad	Cr <sup>+6</sup> final (mg/L)
50 rpm	0.17
	0.15
	0.14
100 rpm	0.12
	0.09
	0.11
150 rpm	0.11
	0.12

**Ensayos con carbón activado a 400°C - 1.5 gr**

Fecha y hora de análisis: 6/10/2022 6:00 p.m.

Tiempo: 5, 10 y 15 minutos

Velocidad	Cr <sup>+6</sup> final (mg/L)
50 rpm	0.15
	0.12
	0.13
100 rpm	0.12

	0.09
	0.14
150 rpm	0.12
	0.08
	0.11

**Ensayos con carbón activado a 400°C – 2 gr**

Fecha y hora de análisis: 7/10/2022 8:00 a.m.

Tiempo: 5, 10 y 15 minutos

<b>Velocidad</b>	<b>Cr+6 final (mg/L)</b>
	0.12
50 rpm	0.11
	0.10
	0.09
100 rpm	0.07
	0.10
	0.11
150 rpm	0.09
	0.12

**Ensayos con carbón activado a 500°C – 1 gr**

Fecha y hora de análisis: 7/10/2022 1:00 p.m.

Tiempo: 5, 10 y 15 minutos

<b>Velocidad</b>	<b>Cr+6 final (mg/L)</b>
	0.17
50 rpm	0.15
	0.14
	0.14
100 rpm	0.10
	0.15
	0.10
150 rpm	0.09
	0.12

**Ensayos con carbón activado a 500°C – 1.5 gr**

Fecha y hora de análisis: 8/10/2022 8:00 a.m.

Tiempo: 5, 10 y 15 minutos

<b>Velocidad</b>	<b>Cr+6 final (mg/L)</b>
	0.09
50 rpm	0.06
	0.08
100 rpm	0.10

	0.08
	0.09
	0.08
150 rpm	0.07
	0.11

**Ensayos con carbón activado a 500°C – 2 gr**

Fecha y hora de análisis: 15/10/2022 8:00 a.m.

Tiempo: 5, 10 y 15 minutos

Velocidad	Cr+6 final (mg/L)
	0.07
50 rpm	0.04
	0.06
	0.09
100 rpm	0.09
	0.10
	0.08
150 rpm	0.05
	0.09

**Ensayos con carbón activado a 600°C – 1 gr**

Fecha y hora de análisis: 16/10/2022 8:00 a.m.

Tiempo: 5, 10 y 15 minutos

Velocidad	Cr+6 final (mg/L)
	0.22
50 rpm	0.15
	0.17
	0.15
100 rpm	0.11
	0.13
	0.17
150 rpm	0.15
	0.19

**Ensayos con carbón activado a 600°C – 1.5 gr**

Fecha y hora de análisis: 17/10/2022 8:00 a.m.

Tiempo: 5, 10 y 15 minutos

Velocidad	Cr+6 final (mg/L)
	0.19
50 rpm	0.17
	0.20
100 rpm	0.12

	0.13
	0.14
	0.21
150 rpm	0.15
	0.20

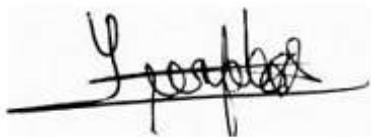
**Ensayos con carbón activado a 600°C – 2 gr**

Fecha y hora de análisis: 18/10/2022 8:00 a.m.

Tiempo: 5, 10 y 15 minutos

<b>Velocidad</b>	<b>Cr+6 final (mg/L)</b>
	0.17
50 rpm	0.15
	0.18
	0.10
100 rpm	0.11
	0.12
	0.17
150 rpm	0.11
	0.18

Atte.:



Ing. Yrwin Francisco Azabache Liza  
**Asesor**

#### Anexo 4. Panel fotográfico.

##### Preparación de solución de cromo (VI)



##### Elaboración del carbón activado a partir de la semilla de aguaje "Mauritia flexuosa L.f.)

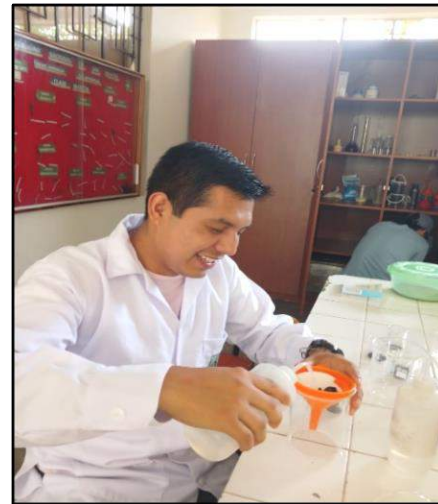
- Secado de materia prima



- Carbonización



- Lavado de carbón activado



- Agitador eléctrico y recolección de datos finales



# Evaluación de la eficiencia del carbón activado de semilla de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.) en la adsorción de cromo (VI)

*por* JUAN JESUS CRUZ SANCHEZ

---

**Fecha de entrega:** 18-mar-2025 11:25a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2599886441

**Nombre del archivo:** TESIS\_JUAN\_JESUS\_CRUZ\_SANCHEZ\_18.03.2025.docx (2.61M)

**Total de palabras:** 12326

**Total de caracteres:** 65284

## Evaluación de la eficiencia del carbón activado de semilla de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.) en la adsorción de cromo (VI)

### INFORME DE ORIGINALIDAD

**22%**  
INDICE DE SIMILITUD

**22%**  
FUENTES DE INTERNET

**4%**  
PUBLICACIONES

**9%**  
TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	6%
2	<a href="http://repositorio.unsm.edu.pe">repositorio.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	5%
3	<a href="http://simag.mag.gob.sv">simag.mag.gob.sv</a> Fuente de Internet	2%
4	<a href="http://tesis.unsm.edu.pe">tesis.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
6	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://repositorio.unu.edu.pe">repositorio.unu.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://www.inkanat.com">www.inkanat.com</a> Fuente de Internet	1%
9	Submitted to Universidad Nacional de San Martín Trabajo del estudiante	<1%
10	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1%
11	<a href="http://repositorio.unp.edu.pe">repositorio.unp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%

[apirepositorio.unh.edu.pe](http://apirepositorio.unh.edu.pe)