

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



*Una Institución Adventista*

**Adsorción de mercurio en agua contaminada artificialmente  
empleando carbón activado de semillas de Aguaje (Mauritia  
Flexuosa A.)**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autores:**

Mili Gonzales Torres

Dely Sadit Bitón Bravo

**Asesor:**

Mag. Betsabeth Teresa Padilla Macedo

**Tarapoto, Diciembre del 2020**

# DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Mg. Betsabeth Teresa Padilla Macedo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“ADSORCIÓN DE MERCURIO EN AGUA CONTAMINADA ARTIFICIALMENTE EMPLEANDO CARBÓN ACTIVADO DE SEMILLAS DE AGUAJE (MAURITIA FLEXUOSA A.)”** constituye la memoria que presenta la Bach. Dely Sadit Bitón Bravo y la Bach. Mili Gonzales Torres para obtener el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

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

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Tarapoto, a los 12 días del mes de Enero del año 2020.



---

Mag. Betsabeth Teresa Padilla Macedo



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el Campus Universitario Milton Afonso, Distrito de Morales, Tarapoto, San Martín a 23 días... del mes de diciembre... del año 2020, siendo las 11:30h.m, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Tarapoto, bajo la dirección del Señor Presidente del Jurado: M.Sc. Andrés Erick González López, y los demás miembros siguientes: Mtra. Carmelino Alvarado Villegas Secretario, Mtra. Hatterton Jines Luz Pinedo Gómez vocales; y Mtra. Betsabeth Torres Padilla Paredo asesor; con el propósito de llevar a cabo el acto público de la sustentación de tesis titulada: Adorción de mercurio en agua contaminada artificialmente empleando carbón activado de semillas de Aquaje (Mauritia Flexosa A.Y.)

Presentada por el/los Bachiller/es: Mili González Torres Dehy Sadit Bitón Bravo conducente a la obtención del Título Profesional de: Ingeniero Ambiental

El señor Presidente inició el acto académico, invitando al/los candidato/s hacer uso del tiempo requerido para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente del Jurado invitó a los miembros del mismo a realizar las preguntas y cuestionamientos correspondientes, los cuales fueron absueltos por el (los) candidato (s). En seguida, el Jurado procedió a las deliberaciones respectivas, luego se registró en el acta el dictamen siguiente:

Bachiller: Mili González Torres aprobado por unanimidad con el mérito académico adicional de Sobresaliente (17)

Bachiller: Dehy Sadit Bitón Bravo aprobado por unanimidad con el mérito académico adicional de Sobresaliente (17)

El Presidente del Jurado solicitó al/los candidato/s ponerse de pie. Luego el Secretario realizó la lectura del acta con el resultado final del acto académico, procediéndose inmediatamente a registrar las firmas respectivas.

Signature lines for Presidente, Secretario, Asesor, Vocal, and Candidato.

Esta sustentación fue realizada de manera virtual u online sincrónica conforme al Reglamento General de Grados y Títulos.

**Adsorción de mercurio en agua contaminada artificialmente empleando carbón  
activado de semillas de Aguaje (*Mauritia Flexuosa A.*)**

**Mercury adsorption in contaminated water artificially using activated carbon  
from seeds of Aguaje (*Mauritia Flexuosa A.*)**

Bitón Bravo, Dely Sadi<sup>1</sup>; Gonzales Torres, Mili<sup>2</sup>; Padilla Macedo, Betsabeth Teresa<sup>3</sup>.

<sup>123</sup>Universidad Peruana Unión

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-1447-1375><sup>1</sup>

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-4778-0553><sup>2</sup>

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-3299-8202><sup>3</sup>

**Resumen**

Los recursos hídricos son objeto de constante contaminación relacionada principalmente al vertimiento de metales pesados que por su naturaleza son tóxicos, acumulativos y persistentes en el medio ambiente. Evaluar la capacidad de adsorción y el porcentaje de remoción del mercurio (+2) empleando carbón activado a partir de semillas de aguaje en agua contaminada artificialmente. A partir de un estándar de Nitrato de mercurio (+2) de 1000 mg/L, se prepararon patrones de 1, 10 y 100 mg/L de mercurio (+2), con tres repeticiones por cada patrón de 50 mL, adicionando a cada solución concentrada 250 mg de carbón activado, luego estuvo en agitación a 200 rpm por 3 horas, al término del tiempo se realizó el filtrado con un sistema al vacío, finalmente las muestras fueron rotuladas y enviadas al laboratorio. Se obtuvo un porcentaje de remoción para las concentraciones de mercurio (+2) de la siguiente forma, para 1 mg/L = 99.03 %, para 10 mg/L = 93.35 % y para 100 mg/L = 89,56 %; asimismo para la capacidad de adsorción del carbón activado, para 1 mg/L = 0.1981 mg Hg/g C.A , para 10 mg/L =1.8669 mg Hg/g C.A y para 100 mg/L = 17.9673 mg Hg/g C.A. Existe mayor porcentaje de remoción para la concentración de 1 mg/L y mayor capacidad de adsorción para la concentración de 100

mg/L de carbón activado, convirtiéndole en una alternativa de tratamiento de aguas residuales con mercurio, proveniente de las minería ilegal y cumpliendo con el D. S N° 037-2008-PCM.

**Palabras clave:** Adsorción, Carbón activado, remoción; Semillas de Aguaje; Tratamiento.

## Abstract

Water resources are subject to incessant pollution mainly related to the discharge of heavy metals that, by their nature, these discharges have toxic, accumulative and persistent effects in the environment. To evaluate the capacity of adsorption and the percentage of mercury removal using activated carbon from Aguaje seeds in artificially contaminated water. From a standard of mercury nitrate (+2) of 1000 mg/L, mercury patterns (+2) of 1, 10 and 100 mg/L were prepared, with three repetitions by each pattern of 50 mL, adding 250 mg of Activated Carbon (AC) to each concentrated solution, then it was stirring up to 200 rpm for 3 hours, at the end of the time a vacuum filtering system was carried out and finally the samples were labeled and sent to the laboratory. A removal percentage was obtained for mercury concentrations (+2) as follows, for 1 mg/L = 99.03%, for 10 mg/L = 93.35% and for 100 mg/L = 89.56%; Likewise, for the adsorption capacity of activated carbon, for 1 mg/L = 0.1981 mg Hg/g AC, for 10 mg/L = 1.8669 mg Hg/g AC and for 100 mg/L = 17.9673 mg Hg/g AC. There is a higher removal percentage for the concentration of 1 mg/L and a higher adsorption capacity for the concentration of 100 mg/L of activated carbon, making it an alternative treatment of mercury-containing wastewater that comes from illegal mining and thus complying with D. S N° 037-2008-PCM.

**Keywords:** Adsorption, Activated carbon, Removal; Aguaje seeds; Treatment.

## **Introducción**

A nivel mundial cada vez es más preocupante la escasez del suministro de agua y la baja calidad de ésta, junto con la falta de sistemas de tratamiento para la adsorción de aguas residuales con presencia de metales pesados, dentro de ellos tenemos al Pb, Hg, Cd, Cr, que por su naturaleza son tóxicos, persistentes y acumulativos en el medio ambiente. Provenientes en su gran mayoría de la minería informal, las industrias, Agricultura, entre otros. Es evidente que la ejecución de todas estas actividades realizadas por el ser humano, han generado problemas de contaminación en las fuentes hídricas (Organización Mundial de la Salud, 2015).

A nivel nacional, de acuerdo a la Autoridad Nacional del Agua (2016), el mercurio es uno de los metales pesados que mayor preocupación está causando en el mundo por su acción sumamente tóxica para los organismos y para el hombre. Las principales fuentes de contaminación por mercurio en el ambiente acuático, son las pequeñas, medianas y grandes Minerías, industrias de papel, refinación de petróleo, procesamiento de caucho y fertilizantes.

Otra fuente de contaminación, es la inadecuada disposición de dispositivos electroquímicos ya que representan uno de los mayores problemas como residuos sólidos peligrosos generados como desechos domésticos y no son considerados de gran riesgo dado el uso común en la población. Sin embargo, en la disposición final forman un residuo tóxico debido al contacto con la humedad pierden su carcasa protectora ocasionando el derrame de los electrolitos internos, llegando a los recursos de agua todos los metales pesados constituidas por el cadmio, plomo y mercurio que son considerados muy tóxicos para el ambiente y los seres vivos (Rodríguez & Pérez, 2014).

Entre las diferentes tecnologías para la remoción de metales pesados y la adsorción de carbones activados, resulta de interés utilizar materiales de bajo coste como residuos vegetales, agro-industriales, biomasa de algas, entre otros. Diferentes adsorbentes pueden emplearse, pero los carbones activados son los más utilizados, ya sea como polvos o granos, debido a su versatilidad en sus propiedades físicas y químicas. Es el adsorbente más conocido y el más empleado, ayuda a absorber los metales, contaminantes de las diferentes fuentes de agua (Rosales & Quevedo, 2019). Según, Tejada C. & Villabona A. (2015), menciona que la adsorción en la remoción de mercurio en solución acuosa mediante el uso de biomasa residual es aplicable a estos procesos de descontaminación de metales pesados en agua, evitando problemas subsecuentes y generando un uso alternativo a materiales considerados como desechos. El Perú cuenta con una gran variedad de recursos vegetales, que constituyen una fuente potencial de materia prima para la producción del carbón activado; de los cuales, se podrían utilizar residuos vegetales provenientes de otras actividades económicas; dicho es el caso del aguaje, una especie cuyo fruto es muy utilizado en la regiones de Iquitos, Ucayali, Madre de Dios y San Martín; asimismo se sabe que para satisfacer la demanda que genera el consumo del aguaje dentro de la población de Iquitos, se necesitan aproximadamente 618.45 t/mes generando grandes cantidades de residuos (García & Arévalo, 2001). Lo cual es una oportunidad de reutilizar partes del fruto no aprovechado (semilla), ya que representa una cantidad importante de materia prima para la elaboración de carbón activado. El mismo que podría ser utilizado para tratar aguas contaminadas por mercurio (Hg). De acuerdo a la realidad problemática, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la capacidad de adsorción (mg/g) del carbón activado a partir de semillas de aguaje y el porcentaje (%) de remoción del mercurio en agua contaminada artificialmente.

## Metodología

**Preparación de patrones iniciales de mercurio (Hg):** Se prepararon tres disoluciones acuosas a partir de un patrón estándar de Nitrato de mercurio (Hg) de 1000 mg/L; para obtener la concentración de 1.0 mg/L de mercurio, se tomó 100 de patrón de 1000 mg/L, para la concentración de 10.0 mg/L se tomó 1000 de patrón de 1000 mg/L y para la concentración de 100.0 mg/L se tomó 10000 de patrón de 1000 mg/L, posteriormente cada concentración fue llevado a un matraz Erlenmeyer de 100 ml y se agregó agua ultrapura hasta enrasar el matraz.

**Procedimiento de adsorción de mercurio (Hg):** Los procedimientos se realizaron para 3 muestras de cada concentración inicial (1.0 mg/L, 10.0 mg/L y 100 mg/L); se rotuló un vaso precipitado de 100 mL con la identificación de la Muestra, luego se pesó 0.250 gramos de Carbón Activado a partir de semillas de aguaje, posteriormente se adicionó 50 mL del Patrón correspondiente en un vaso precipitado, cubriendo el vaso con luna de reloj para la agitación a 200 rpm por 3 horas, Al término del tiempo se realizó el filtrado con un sistema al vacío con papel filtro Whatman N° 42 y finalmente se almacenó el filtrado para realizar la determinación de mercurio.

**Diseño experimental:** implementación de cuatro tratamientos y tres repeticiones, para la adsorción de mercurio, empleando carbón activado de semillas de aguaje (Tabla 1).

*Tabla 1: Modelo Experimental*

Cantidad de Carbón Activado de semillas Aguaje	Solución (H <sub>2</sub> O)	Concentración inicial de Nitrato de mercurio (Hg (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )	Ensayos + Repeticiones (Código de laboratorio)		
		-----	S-508-To-01	S-508-To-02	S-508-To-03
250 mg	50 mL	1 mg/l	S-508-T1-01	S-508-T1-02	S-508-T1-03
		10 mg/l	S-508-T2-01	S-508-T2-02	S-508-T2-03

	100 mg/l	S-508-T3-01	S-508-T3-02	S-508-T3-03
<b>Total</b>			12 repeticiones	

**Muestreo:** Los procedimientos de muestreo se realizaron para 3 muestras de cada concentración inicial (1.0 mg/L, 10.0 mg/L y 100 mg/L); Se dispuso los EPPs y materiales a utilizar en el Laboratorio, Se realizó el rotulado de los materiales con la identificación de cada muestra, luego se tomó la muestra y se preservó de acuerdo al parámetro, se llenó la cadena de custodia con la información recogida durante los actos ejecutados y finalmente las muestras fueron transportadas al laboratorio SLAB S.A.C. en recipientes refrigerados, y con las fichas de información.

**Análisis estadístico del diseño experimental:** El análisis estadístico se realizó con un diseño de bloques completamente al azar con arreglo en los tratamientos; Usando el Software SPSS (Statistical Package for Social Science), en primer lugar, se realizó un análisis descriptivo para la comparación de medias de la eficiencia de remoción de mercurio y la capacidad de adsorción del Carbón Activado.

**Análisis de varianza:** Antes de realizar el análisis de varianza, se verificó, si los datos cumplen los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. La variable eficiencia de remoción de mercurio cumple con tales supuestos, mientras que la variable capacidad de adsorción de mercurio, no cumple con estos supuestos. Por esta razón, se utilizó la prueba ANOVA y Tukey para la primera variable, mientras que, para la capacidad de adsorción, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis finalmente se utilizó la prueba Tuckey, para conocer el mejor tratamiento.

- ✓ Para determinar la capacidad de adsorción del carbón activado a partir de semillas de aguaje, se utilizó la siguiente fórmula:

$$q_c = \left( \frac{C_o - C_f}{M} \right) * V$$

**Donde:**

- **qc:** Capacidad de adsorción en mg de Hg / g de carbón activado
- **CO:** Concentración inicial en mg /L
- **Cf:** Concentración final en mg / L
- **V:** Volumen de la muestra (L)
- **M:** Masa de material adsorbente utilizado (g)

✓ Para determinar el porcentaje de remoción de mercurio (Hg), se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Remoción} = \left( \frac{C_i - C_f}{C_i} \right) * 100$$

**Donde:**

- **Ci:** Concentración inicial de mercurio
- **Cf:** Concentración final de mercurio

### **Resultados**

En la Tabla 2 se presenta las concentraciones iniciales y finales del mercurio, asimismo los resultados de porcentaje de remoción de Hg y capacidad del Carbón activado para adsorber Hg utilizando la fórmula correspondiente para cada variable.

*Tabla 2: Concentración inicial y final de mercurio*

<b>Ensayos + Repeticiones (Código de laboratorio)</b>	<b>Concentración inicial de mercurio (Hg)</b>	<b>Concentración final de mercurio (Hg)</b>	<b>Resultado de % de Remoción</b>	<b>Resultado de capacidad de Adsorción</b>
S-508-To-01		1000.01 mg/L	.....	.....
S-508-To-01	1000.01 mg/L	1000.01 mg/L	.....	.....
S-508-To-01		1000.01 mg/L	.....	.....
S-508-T1-01	1 mg/L	0.0061 mg/L	99.39	0.19878
S-508-T1-01		0.0125 mg/L	98.75	0.1975

S-508-T1-01		0.0104 mg/L	98.96	0.19792
S-508-T2-01		0.652 mg/L	93.48	1.8696
S-508-T2-01	10 mg/L	0.676 mg/L	93.24	1.8648
S-508-T2-01		0.668 mg/L	93.32	1.8664
S-508-T3-01		11.67 mg/L	88.33	17.666
S-508-T3-01	100 mg/L	8.380 mg/L	91.62	18.324
S-508-T3-01		10.44 mg/L	89.56	17.912

En la Tabla 3 se muestra la comparación de los resultados obtenidos por el laboratorio con los Límites Máximos Permisibles de Efluentes Líquidos para las actividades del sector de Hidrocarburos D.S.N. N 037-2008 PCM.

*Tabla 3: Comparación de los resultados con los límites máximos permisibles*

Concentración Inicial Hg (mg/L)	Concentración final de mercurio, mg/L	Promedio	Límites Máximos Permisibles/ D.S.N 037 - 2008 PCM.
	0.0061		
1	0.0125	0.0097	
	0.0104		
	0.652		
10	0.676	0.6653	0.02 mg/L
	0.668		
	11.67		
100	8.38	10.1633	
	10.44		

### **Análisis descriptivo de la eficiencia de remoción de mercurio**

En la Tabla 4 se muestra la eficiencia del carbón activado para la remoción de mercurio del agua contaminada; utilizando una concentración de 5000 mg/L de CA. Para ello, se contaminó artificialmente el agua con mercurio, a concentraciones de 1, 10 y 100 mg/L. Se observa mayor eficiencia de remoción de mercurio para concentraciones bajas (1 mg/L), encontrándose una eficiencia promedio del 99.03% para esta concentración.

Tabla 4: Eficiencia porcentual de remoción de mercurio

Concentración de Hg (mg/L) -	<u>Repetición</u>			$\bar{x}$	s
	R1	R2	R3		
<b>1</b>	99.39	98.75	98.96	99.03	0.33
<b>10</b>	93.48	93.24	93.32	93.35	0.12
<b>100</b>	88.33	91.62	89.56	89.84	1.66

En la Tabla 5 se muestra la capacidad del carbón activado para adsorber mercurio; utilizando una concentración de 5000 mg/L de CA. Para ello, se contaminó artificialmente el agua con mercurio, a concentraciones de 1, 10 y 100 mg/L. Se observa mayor capacidad del carbón activado para adsorber mercurio para concentraciones altas (100 mg/L) del metal pesado; encontrándose una capacidad de adsorción de 17.9673 mg de Hg/g de CA, para esta concentración.

Tabla 5: Capacidad de adsorción de mercurio

Concentración de Hg (mg/L) -	<u>Repetición</u>			$\bar{x}$	s
	R1	R2	R3		
<b>1</b>	0.1988	0.1975	0.1979	0.1981	0.0007
<b>10</b>	1.8696	1.8648	1.8664	1.8669	0.0024
<b>100</b>	17.6660	18.3240	17.9120	17.9673	0.3325

### Análisis de varianza

Antes de realizar el análisis de varianza, se verificó, si los datos cumplen los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. La variable eficiencia de remoción de mercurio cumple con tales supuestos, mientras que la variable capacidad de adsorción de mercurio, no cumple con estos supuestos. Por esta razón, se utilizó la prueba ANOVA para la primera variable, mientras que, para la capacidad de adsorción, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis.

### Prueba de hipótesis para la eficiencia de remoción de mercurio

En la Tabla 6 se muestra el ANOVA para la eficiencia de remoción de mercurio. Se obtuvo un p-valor de 0.000, es decir existe diferencia significativa entre los tratamientos. Por ello, se realizó la prueba Tukey para conocer el mejor tratamiento.

*Tabla 6: Análisis de varianza para la eficiencia de remoción de mercurio*

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>SCM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Entre tratamientos</b>	129.24	2	64.62	67.20	.000
<b>Dentro de tratamientos</b>	5.77	6	0.96		
<b>Total</b>	135.007	8			

Al realizar la prueba Tukey, se formaron tres grupos o subconjuntos, como se observa en la Tabla 7. Se encontró mayor eficiencia de remoción de mercurio del agua contaminada artificialmente, en el primer grupo (1 mg/L).

*Tabla 7: Prueba Tukey para la eficiencia de remoción de mercurio*

<b>Concentración (mg/L)</b>	<b>N</b>	<b>Subconjuntos</b>		
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	3	99.03		
<b>10</b>	3		93.35	
<b>100</b>	3			89.84
<b>p-valor</b>		1.000	1.000	1.000

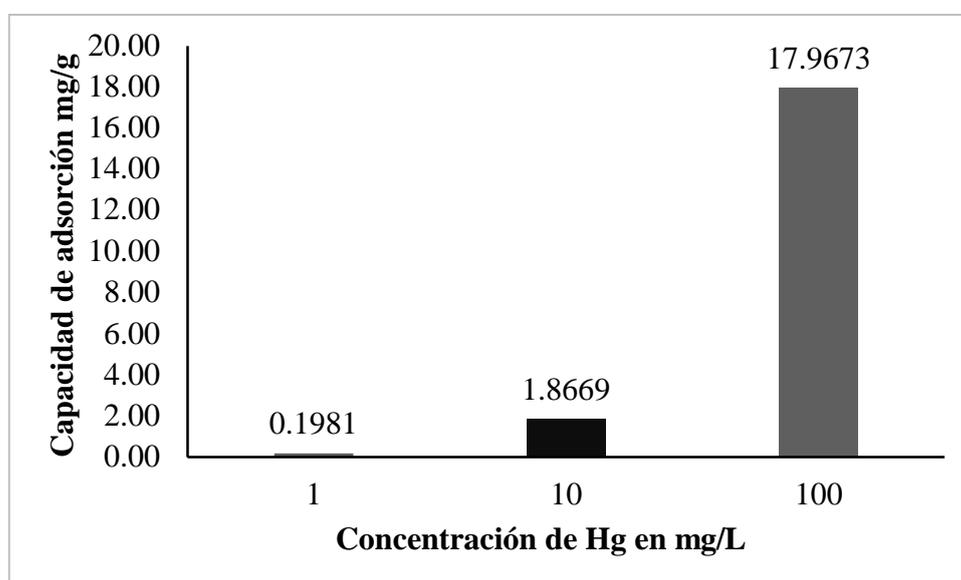
### **Prueba de hipótesis para la eficiencia de remoción de mercurio**

En la Tabla 8 se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis para la capacidad del CA en la adsorción de mercurio. Se obtuvo un p-valor de 0.027, es decir existe diferencia significativa entre los tratamientos. Por ello, se realizó la prueba de comparaciones Mann-Whitney, para cada par de tratamientos.

*Tabla 8: Prueba para la capacidad del CA en la adsorción de mercurio*

<b>Concentración (mg/L)</b>	<b>N</b>	<b>Rango promedio</b>	<b>p-valor</b>
<b>1</b>	3	2.00	
<b>10</b>	3	5.00	
<b>100</b>	3	8.00	0.027
<b>Total</b>	9		

Al realizar la prueba de comparaciones Mann-Whitney, para cada par de tratamientos, se obtuvo un p-valor de 0.05, el cual nos indica que no existe diferencia significativa entre los tratamientos. Esta aparente contradicción entre la prueba de Kruskal-Wallis y Mann-Whitney, se debe al número de casos analizados (tres repeticiones), puesto que, en las pruebas no paramétricas, se ordena los casos por rangos. Por esta razón, se realizó el gráfico de medias, para determinar los subgrupos. Se observa la formación de tres subgrupos, es decir la mayor capacidad de adsorción se presenta en la concentración de Hg de 100 mg/L, siendo esta de 17.9673 mg de Hg/g de CA.



*Ilustración 1: Gráfico de medias de la capacidad del CA en la adsorción de Hg*

## Discusiones

Se confirmó la hipótesis nula del presente estudio, el carbón activado de semillas de aguaje es eficiente para la adsorción del mercurio en aguas contaminadas artificialmente. Respecto a la eficiencia porcentual de remoción de mercurio con los patrones de 1, 10, 100 mg/L presentado en el cuadro 4, se encontró mayor porcentaje de remoción de mercurio en la concentración de 1 mg/L con un promedio del 99.03 % a comparación de la concentraciones de 10 mg/L que logró un promedio de 93.35 % de remoción y finalmente para la concentración de 100 mg/L logrando un promedio de 89.94 % de remoción, esto se debe a la temperatura de activación ya que, de acuerdo al certificado de compra del carbón activado, la temperatura de activación del carbón alcanzó 1000 °C y de acuerdo a la investigación de Olmedo (2016) menciona, que a partir de 800 °C, el diámetro de poro aumenta la meso-porosidad en desarrollo, al mismo tiempo Ariza (2012) indica que los mesoporos son importantes, ya que facilitan el acceso de los adsorbatos (contaminante) a los microporos y esto beneficia en la remoción; por lo tanto los resultados de porcentaje de remoción obtenidos a concentraciones bajas concuerda con la investigación de Ruiz (2018) quien utilizó carbón activado a partir de cascara de Naranja para evaluar plomo, obteniendo mayor porcentaje de remoción con un promedio de 78 % a una concentración de 1 mg/L, asimismo Son-Kou (2014) utilizando carbón activado a partir de semillas de aguaje logró remover plomo con un 70.13 % a concentraciones de 2 mg/L de Pb. De acuerdo a Lavado et al., (2012) menciona que, el porcentaje de remoción de un metal es altamente dependiente de la concentración, conforme la concentración inicial se incrementa los centros de adsorción se saturan logrando producir un porcentaje de remoción más deficiente.

Respecto a los resultados obtenidos de la capacidad del carbón activado para adsorber mercurio (Hg) presentados en el Cuadro 4 y la Figura 1 utilizando una concentración de 250 mg (5000 mg/L), se logró evidenciar mayor capacidad de adsorción a la concentración más alta de mercurio (100 mg/L) con un valor de 17.9673 mg de Hg/g de CA a comparación de las concentraciones menores de 1 mg/L que logró una capacidad de adsorción de 0.1981 mg de Hg/g de CA y 10 mg/L que logró una capacidad de adsorción de 1.8669 mg de Hg/g de CA , Asimismo Moreno (2019), en su investigación trabajó con la misma cantidad de carbón activado de 5000 mg/L de CA a partir de las semillas de palta, para adsorber metales pesados tales como Fe<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup> y Cd<sup>2+</sup>, obteniendo resultados de capacidad de adsorción de la siguiente manera: para cadmio un valor de 0.0886 mg Cd/g de Carbón activado, para Hierro un valor de 0.0570 mg Fe<sup>2+</sup>/g de CA y para Plomo un valor 0.1409 mgPb<sup>2+</sup>/g de CA, de la misma forma dicho autor alcanzó una capacidad de adsorción de 19.259 mg de azul de metileno por cada gramo de carbón activado gracias a su alta superficie interna que posee el CA, las diferencias de los resultados se deben a la cantidad inicial del adsorbato, ya que Franco et al., (2015 ) encontraron que a mayor concentración en la solución inicial del adsorbato la capacidad de adsorción disminuye, ya que en estos casos la solución puede saturar el material adsorbente; otro factor influyente para la capacidad de adsorción es la gran cantidad de óxido de sílice, esto explica que el carbón activado de semillas de aguaje es más adsorbente por contener un porcentaje de 0.53 % de acuerdo a la investigación de Zamora (2010). Por otro lado en la investigación de Carrillo (2019) utilizó carbón activado elaborado a partir del rastrojo de maíz, trabajando con pH 4 de la solución y una temperatura ambiental, obteniendo una capacidad de adsorción de 8,6 mg Plomo/g C.A, asimismo Lavado, Sun Kou, & Bendezú (2010) trabajaron con carbón activado elaborado

a partir de las Astillas de Eucalipto, a pH 5 de la solución, con una Temperatura de 20°C obtuvieron una capacidad de adsorción 142.1 mg Plomo/g C.A, Patnukao, Kongsuwan, & Pavasant (2008) trabajaron con carbón activado de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Ladrar con un pH 5 de la solución a Temperatura ambiental de Tailandia obtuvieron una capacidad de adsorción de 0,89 mmol de Pb/ g de CA; Ruiz (2018) trabajó con carbón activado de cascara de Naranja a un pH 5 de la solución, Temperatura de 18 °C obteniendo una capacidad de adsorción de 0.673 mg Plomo/g de CA; para Lavado et al., (2012) indica que, la capacidad de adsorción ( $q_e$ ) aumenta con el incremento del tiempo de contacto, ya que a partir de 120 minutos se alcanza el equilibrio para adsorber al contaminante.

Por otro lado, podemos afirmar que utilizando 5000 mg/L de carbón activado a partir de semillas de aguaje es altamente eficiente removiendo mercurio a una concentración de 1 mg/L logrando reducir dicha concentración a 0.0097 mg/L, de tal forma que cumple con la normativa ambiental vigente los Límites Máximos Permisibles de efluentes Líquidos para el Subsector Hidrocarburos el D. S N.º 037-2008-PCM, donde la concentración no debe sobrepasar de 0,02 mg/L, convirtiendo este tratamiento como una alternativa viable y eficiente para reducir concentraciones de mercurio en fuentes hídricas.

## Conclusiones

Para los resultados experimentales obtenidos se evaluó la eficiencia de remoción para el mercurio (Hg) indicando que existe mayor porcentaje de remoción a una concentración de 1 mg/L alcanzando el 99.03 % a comparación de las concentraciones de 10 mg/L que logró un promedio de 93.35 % de remoción y finalmente la concentración de 100 mg/L logrando un promedio de 89.94 % de remoción de Hg, debido a la temperatura que se utilizó para la activación, ya que si aumenta hasta 800 ° C, el diámetro de poro aumenta la meso porosidad en desarrollo y los mesoporos son importantes, debido a que facilitan el acceso de los adsorbatos a los microporos y esto beneficia en la remoción, por otro lado la concentración inicial del adsorbato facilitó con el porcentaje de remoción del metal, ya que si es muy alto satura al material adsorbente logrando producir un porcentaje de remoción más deficiente.

Se evaluó la capacidad del carbón activado a partir de las semillas de aguaje para adsorber mercurio a concentraciones de 1, 10 y 100 mg/L logrando la mayor capacidad de adsorción a la concentración más alta de mercurio (100 mg/L) con un valor de 17.9673 mg de Hg/g de CA a comparación de las concentraciones menores de 1 mg/L que alcanzó una capacidad de adsorción de 0.1981 mg de Hg/g de CA y 10 mg/L que logró una capacidad de adsorción de 1.8669 mg de Hg/g de CA utilizando carbón activado de semillas de aguaje, debido a la cantidad inicial del adsorbato ya que en estos casos la solución puede saturar el material adsorbente; otro factor influyente para la capacidad de adsorción es la gran cantidad de óxido de sílice, Por otro lado la capacidad de adsorción ( $q_e$ ) aumenta con el incremento del tiempo de contacto, ya que a partir de 120 minutos se alcanza el equilibrio para adsorber al contaminante.

Se demostró que utilizando 5000 mg/L (250 mg) de carbón activado a partir de las semillas de aguaje (*Mauritia Flexuosa*) y contaminando agua artificialmente con un 1 mg/L existe mayor eficiencia para tratar Mercurio ( $Hg^{+}$ ), lo que le convierte en una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales con existencia de Mercurio (Hg) proveniente en su gran mayoría de las minería ilegal alterando no solo las fuentes hídricas, sino también los ecosistemas acuáticos y la salud de los seres humanos, ya que de acuerdo a la normativa ambiental vigente los Límites Máximos Permisibles de Efluentes Líquidos para el Subsector Hidrocarburos el D. S N° 037-2008-PCM, la concentración no debe pasar de 0,02 mg/L, por lo tanto utilizando la cantidad de carbón activado mencionada en la primera parte del párrafo baja a la concentración de 1 mg/L a 0.0061 logrando cumplir con la norma establecida por el Ministerio de Energía y Minas.

## Referencias

- Aguirre, N. (2017). *Adsorción de Metales Pesados (Pb y As) con Carbón Activado a partir de Semillas de Eucalipto (Eucalyptus globulus)* Puno.  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7397>
- Brailovsky, A. (2016). *Gestión Ambiental de Pilas y Baterías Usadas*. Buenos Aires.  
<http://www.mondialisations.org/medias/pdf/GestionambientalePilasyBateria.pdf>.
- Briñez, K., Guarnizo, J., & Samuel, A. (2012). *Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima*. Revista Facultad Nacional de Salud. Colombia.  
<http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v30n2/v30n2a06.pdf>
- Cárdenas, J. (2016). *Propuesta y análisis de un modelo matemático para la determinación de la calidad del agua de aguas superficiales*. 87. Cuba: Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.  
<https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/9208/Thesis%20Jorge%20Alberto%204.0.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chung, B. (2018). *Control de los contaminantes químicos en el Perú*. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, Lima, Perú.  
  
[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S172646342008000400012&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S172646342008000400012&script=sci_abstract)
- García, A., & Arévalo, J. (2001). *Diagnóstico de la demanda de Mauritia flexuosa "Aguaje" en la ciudad de Iquitos*. Iquitos: IIAP.  
<https://docplayer.es/81609192-Diagnostico-de-la-demanda-de-aguaje-en-iquitos-metodologia-y-resultados.html>.
- González, M., & Carbajal, A. (2012). *Propiedades y funciones biológicas del agua*. España.  
<https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-Carbajal-Gonzalez-2012-ISBN-978-84-00-09572-7.pdf>
- Gonzales, C., & Gutiérrez, A. (2009). *Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados*. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 17.  
<https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>.
- Londoño, L., & García, G. (18 de Julio de 2016). *Los riesgos de los metales pesados*. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustria, Vol 14 (No. 2), 9. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>
- Mayo, S., & Hernandez, S. (2012). *Fitotoxicidad del Cadmio (cd) y el mercurio (hg) en la Especie brassica nigra*. Medellín. <https://core.ac.uk/download/pdf/51195557.pdf>
- Menendez, P. (2018). *Obtención del Carbon activado a partir de cascara de Naranja y su aplicación como adsorbente de Plomo en Disolución acuosa*. Lima.  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/4043/ruiz-menendez-amparo-patricia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Obregón, D. (2012). *Estudio Comparativo de la Capacidad de la adsorción de Cadmio utilizando carbones ativados preparados a partir de semillas de aguaje y aceitunas*. Lima.  
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20500.12404/5717>
- OMS. (2015). *Lucha contra las enfermedades transmitidas por el agua en los hogares*. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), Estados Unidos.  
[https://www.who.int/phe/chemicals/faq\\_mercury\\_health/es/](https://www.who.int/phe/chemicals/faq_mercury_health/es/)
- ONU. (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de desarrollo sostenible*.  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- Perez, L., & Miranda, A. (27 de Septiembre de 2019). *Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional 'Lago Junín', Perú*. Ciencias Agrícolas.

- [https://www.researchgate.net/publication/336049396\\_Contaminacion\\_por\\_aguas\\_residuales\\_e\\_indicadores\\_de\\_calidad\\_en\\_la\\_reserva\\_nacional\\_'Lago\\_Junin'\\_Peru](https://www.researchgate.net/publication/336049396_Contaminacion_por_aguas_residuales_e_indicadores_de_calidad_en_la_reserva_nacional_'Lago_Junin'_Peru)  
Posada, M., & Arroyave, M. (2007). *Efectos del mercurio Sobre Algunas Plantas Acuaticas Tropicales*. Scielo.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-12372006000200006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372006000200006).
- Tejada C. & Villabona A. (2015). *Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico*. Medellín, Instituto Tecnológico Metropolitano. Colombia, 2015. <https://www.redalyc.org/pdf/3442/344234336010.pdf>
- Velazco, Z. (2010). *Obtención de carbón activado a partir de semillas, de dos palmeras de la Amazonía Peruana, Shapaja y Aguaje*. Lima.  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/443>
- Vergara, I., & Gonzales, E. (02 de Mayo de 2016). *Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria*. Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, Vol. 16 (2), 12. Obtenido de inf.-metales-presentes-en-las-pilas Villabona, A. (Junio de 2015). *Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico*. Scielo, 18(34), 15. Recuperado el Junio de 2014, de <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v18n34/v18n34a10.pdf>