

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y**  
**RECURSOS NATURALES**



**INFORME DE TESIS**

**“ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO DE LA SEMILLA  
DE AGUAJE PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO Y CROMO EN AGUAS  
CONTAMINADAS”**

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**

**AUTORES:**

**DANEY JOSSELY ROSALES FERNÁNDEZ  
ANDREA GIMENA QUEVEDO SANCHEZ**

**ASESOR:**

**BLGA. MARÍA TERESA VALDERRAMA ROJAS**

**CALLAO, OCTUBRE DEL 2019**

**PERU**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS**  
**NATURALES**

**COMISION DE GRADOS Y TITULOS**  
**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OPTAR EL**  
**TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS**  
**NATURALES**  
**N° 013-2019-JEDT-FIARN**

Siendo las 13:20 horas del día jueves 17 de octubre del 2019, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales ubicado en la Av. Juan Pablo II N° 306-Bellavista-Callao; se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **“ADSORCIÓN CON CARBON ACTIVADO OBTENIDO DE LA SEMILLA DE AGUAJE PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO Y CROMO EN AGUAS CONTAMINADAS”** presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de los Bachilleres Daney Jossely Rosales Fernández y Andrea Gimena Quevedo Sánchez.

Contando con la asistencia del Jurado Evaluador a fin de dar cumplimiento a la Resolución N° 073-2019-D-FIARN de fecha 09 de octubre del 2019, los mismos que están integrados por los siguientes docentes:

Lic.	Félix León Barboza	Presidente
Blgo.	Carlos Odorico Tome Ramos	Secretario
Lic.	Sergio Leyva Haro	Vocal
MsC.	María Teresa Valderrama Rojas	Asesora

Terminada la exposición y la absolución de las preguntas del Jurado Evaluador, se invita a los Bachilleres y al público en general se retiren del Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, para las deliberaciones del caso.

Luego de las deliberaciones el Jurado Evaluador acuerda **APROBAR POR UNANIMIDAD**, no habiendo observación alguna con el Calificativo de **BUENO** y con ello dar por concluido el proceso de Sustentación de Tesis.

En señal de conformidad firma el Jurado Evaluador, siendo las 14:15 horas del día jueves 17 de octubre del 2019.

  
\_\_\_\_\_  
Lic. Félix León Barboza  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Blgo. Carlos Odorico Tome Ramos  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
Lic. Sergio Leyva Haro  
Vocal

## INFORME N° 003-2019-PJEDT

SEÑOR

Mg. EDUARDO VALDEMAR TRUJILLO FLORES

DECANO (e) DE LA FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

De : Lic. Félix León Barboza  
Presidente del Jurado de Evaluador de Sustentación de Tesis

Asunto: Sustentación de Tesis de los Bachilleres  
Magaly Mercedes Bardales Chávez  
Vannia Raquel De la Cruz Valdez

Fecha: Bellavista, 17 de octubre de 2019

Con un cordial saludo me dirijo a usted para saludarlo muy cordialmente e informarle que, a través de lo actuado sobre el Acta de Sustentación de la tesis titulada "**ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO DE LA SEMILLA DE AGUAJE PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO Y CROMO EN AGUAS CONTAMINADAS**" efectuada por los Bachilleres Daney Jossely Rosales Fernández y Andrea Gimena Quevedo Sánchez, en cumplimiento a la Resolución Decanal N° 073-2019-D-FIARN de fecha 09 de octubre de 2019 sobre el particular informo a usted:

1. El Acto de Instalación del Jurado se llevó a cabo en el Auditorio de la Facultad el día jueves 17 de octubre de 2019 a partir de las 13:00 horas, en presencia de los miembros del Jurado Evaluador conformado por los siguientes docentes:

Lic. Félix León Barboza	Presidente
Blgo. Carlos Odorico Tome Ramos	Secretario
Lic. Sergio Leyva Haro	Vocal

2. A partir de las 13:20 horas, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis a cargo de los Bachilleres Daney Jossely Rosales Fernández y Andrea Gimena Quevedo Sánchez, luego de la exposición se llevaron a cabo la ronda de preguntas respectivas, que fue contestada satisfactoriamente por los bachilleres.
3. Terminada la exposición y la ronda de preguntas, se invitó a los Bachilleres y público en general a retirarse del Auditorio a fin de efectuar la calificación, luego de las deliberaciones pertinentes el Jurado Evaluador acuerda **APROBAR POR UNANIMIDAD** y otorgar el Calificativo de **BUENO**, en consecuencia, da por terminado el acto de exposición a las 14:15 horas del día 17 de octubre de 2019, firmando las actas correspondientes.
4. Finalmente en cumplimiento del Artículo N° 45° de la Ley Universitaria – Ley N° 30220, se indica que no hubo observación alguna.

Es todo cuanto debo informar, sin otro particular me despido de usted.

Atentamente,

  
\_\_\_\_\_  
Lic. Félix León Barboza  
Presidente del Jurado Evaluador

## **DEDICATORIA**

A Dios, por ser nuestra guía.

A nuestros padres por la confianza y el apoyo constante e incondicional.

Y a los docentes que nos brindaron el apoyo necesario para el desarrollo de la tesis.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios, por mantenernos firmes e impulsarnos día a día para continuar adelante.

A nuestros padres, por brindarnos todo lo que estuvo a su alcance para nuestro desarrollo profesional.

A nuestra asesora Teresa Valderrama Rojas y jurado evaluador, Carlos Tome, Félix León y Sergio Leyva, por todo el apoyo brindado en el proceso para elaboración de nuestra tesis.

Finalmente, a la Universidad Nacional del Callao, a nuestra facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales por todo el aprendizaje transmitido a lo largo de nuestra carrera.

## INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>6</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>7</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>8</b>
<b>1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>10</b>
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	10
1.2. Formulación del problema .....	12
1.3. Objetivos.....	12
1.4. Limitantes de la investigación .....	13
<b>2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
2.1. Antecedentes del estudio.....	14
2.2. Marco.....	16
2.2.1. Teórico.....	16
2.2.2. Conceptual .....	22
2.3. Definición de términos básicos .....	34
<b>3. CAPITULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES</b> .....	<b>36</b>
3.1. Hipótesis.....	36
3.1.1. Variables .....	36
3.2. Operacionalización de variables .....	38
<b>4. CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>39</b>
4.1. Tipo y diseño de la Investigación .....	39
4.2. Población y Muestra .....	40
4.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de la información de campos.....	41
4.4. Procedimiento de recolección de datos .....	43

4.5. Procesamiento estadístico y análisis de datos .....	54
<b>5. CAPITULO V: RESULTADOS .....</b>	<b>56</b>
5.1. Resultados de la caracterización del precursor .....	56
5.2. Resultados del % de remoción de Pb y Cr. ....	59
<b>6. CAPITULO VI: DISCUSION DE RESULTADOS .....</b>	<b>72</b>
6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados.....	72
6.2. Contrastación estadística de la hipótesis con los resultados .....	78
6.3. Contrastación de resultados con estudios similares .....	83
<b>7. CAPITULO VII: CONCLUSIONES .....</b>	<b>85</b>
<b>8. CAPITULO VIII: RECOMENDACIONES.....</b>	<b>86</b>
<b>9. CAPITULO IX: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>87</b>
<b>10. ANEXOS.....</b>	<b>92</b>

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 4.1 FUENTES DE LA SEMILLA DE AGUAJE .....	42
FIGURA 4.2 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINACIÓN DE HÚMEDAD.....	44
FIGURA 4.3 MATERIAL PRECURSOR COLOCADO A $700^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ....	46
FIGURA 4.4 PREPARACIÓN DEL PRECURSOR SEMILLA DE AGUAJE .....	48
FIGURA 4.5 PREPARACIÓN DEL CARBON ACTIVADO A PARTIR DE LA SEMILLA DE AGUAJE .....	49
FIGURA 4.6 PREPARACIÓN DE AGUA CONTAMINADA CON PLOMO Y CROMO .....	51
FIGURA 4.7 CANTIDADES DE MASA DE CARBON ACTIVADO .....	52
FIGURA 4.8 PRUEBA DE JARRAS.....	53
FIGURA 4.9 SEPARACIÓN DE FASES POR FILTRACIÓN .....	53
FIGURA 4.10 MUESTRAS DESPUÉS DE LA ADSORCIÓN .....	54
FIGURA 5.1 COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO CON RESPECTO A LA MASA DE CARBON ACTIVADO .....	63
FIGURA 5.2 COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CROMO CON RESPECTO A LA MASA DE CARBÓN ACTIVADO .....	63
FIGURA 5.5 COMPORTAMIENTO DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE Pb CON RESPECTO A LA MASA DEL CARBON ACTIVADO .....	68
FIGURA 5.6 COMPORTAMIENTO DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE Cr CON RESPECTO A LA MASA DEL CARBON ACTIVADO .....	68
FIGURA 6.1 RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN FINAL MEDIA DE PB Y CR .....	74
FIGURA 6.4 PORCENTAJE DE REMOCIÓN PROMEDIO DE Cr Y Pb.	75
FIGURA 6.5 PRUEBA DE TUKEY.....	78

## INDICE DE TABLAS

TABLA 3.1 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	38
TABLA 4.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN - BLOQUES .....	40
TABLA 4.2 CANTIDADES DE MASA DE CARBON ACTIVADO .....	52
TABLA 5.1 RESULTADOS ANÁLISIS DE HUMEDAD DEL PRECURSOR .....	56
TABLA 5.2 RESULTADOS ANÁLISIS DE MATERIAL VOLÁTIL DEL PRECURSOR.....	57
TABLA 5.3 RESULTADOS ANÁLISIS DE CENIZAS DEL PRECURSOR .....	57
TABLA 5.4 RESULTADOS ANÁLISIS DE CARBÓN FIJO DEL PRECURSOR.....	58
TABLA 5.5 ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL PRECURSOR SEMILLA DE AGUAJE.....	58
TABLA 5.6 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL PRECURSOR SEMILLA DE AGUAJE.....	59
TABLA 5.7 RESULTADOS CONCENTRACIÓN INICIAL DE PLOMO ....	60
TABLA 5.8 RESULTADOS CONCENTRACIÓN INICIAL DE CROMO...	60
TABLA 5.9 RESULTADOS CONCENTRACIÓN FINAL DE PLOMO Y CROMO EN RÉPLICA #1.....	61
TABLA 5.10 RESULTADOS CONCENTRACIÓN FINAL DE PLOMO Y CROMO EN RÉPLICA #2.....	61
TABLA 5.11 RESULTADOS CONCENTRACIÓN INICIAL DE PLOMO Y CROMO .....	62
TABLA 5.12 RESULTADOS CONCENTRACIÓN FINAL DE PLOMO Y CROMO .....	62
TABLA 5.13 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE CONCENTRACIÓN FINAL DE Pb EN AGUA CONTAMINADA.....	64
TABLA 5.14 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE CONCENTRACIÓN FINAL DE Cr EN AGUA CONTAMINADA .....	65

TABLA 5.15	CONCENTRACIONES FINAL MEDIAS DE PLOMO Y CROMO .....	66
TABLA 5.16	RESULTADOS DEL % DE REMOCIÓN DE PLOMO Y CROMO .....	67
TABLA 5.17	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE Pb EN AGUA CONTAMINADA .....	69
TABLA 5.18	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE Cr EN AGUA CONTAMINADA .....	70
TABLA 5.19	% DE REMOCIÓN PARA PLOMO Y CROMO POR MEDIA MUESTRAL .....	71
TABLA 6.1	CONTRASTACIÓN DE CARACTERIZACION DE LA SEMILLA DE AGUAJE CON OTROS RESULTADOS SIMILARES....	73
TABLA 6.2	PRUEBA DE TUKEY .....	77
TABLA 6.3	ANÁLISIS DE VARIANZA UN NIVEL DE SIGNIFICANCIA DEL 0.05.....	79
TABLA 6.4	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE VARIANZA .....	81

## RESUMEN

El presente informe aborda la problemática de la contaminación de aguas con plomo y cromo y está orientado a demostrar que la remoción de dichos metales es posible mediante el uso de carbón activado obtenido a partir de la semilla de aguaje.

Para lograr este objetivo se usaron diferentes masas del carbón elaborado en un volumen de agua contaminada con plomo y cromo, con lo cual a la vez se buscó determinar cuál de estas masas es la óptima para la remoción de ambos metales pesados.

El método usado en esta investigación es la adsorción, siendo el material adsorbente el carbón activado, que tiene como precursor a la semilla de aguaje y como agente activante al ácido fosfórico, la cual será usada para la remoción de metales plomo y cromo en agua contaminada.

Los tratamientos usados en el experimento fueron las distintas masas de carbón activado: 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25 y 1.5 g, teniendo como muestra inicial al experimento con masa de 0 g, las cuales se usaron en un volumen de 500 ml de muestra de agua contaminada, finalmente se determinó el porcentaje de remoción para plomo y cromo con cada una de las masas usadas.

Se obtuvieron resultados positivos para la adsorción de ambos metales pesados, luego del análisis identificamos que la masa óptima para la remoción tanto de plomo como de cromo es de 0.5 g. obteniendo un porcentaje de remoción promedio de 80.22%, la masa óptima para la remoción del plomo es de 1.5g removiendo un 97.14 % y la masa óptima para la remoción del cromo es de 0.25g removiendo un 72%.

## **ABSTRACT**

This report addresses the problem of contamination of water with lead and chromium and is aimed at demonstrating that the removal of these metals is possible through the use of activated carbon obtained from the aguaje seed.

To achieve this objective, different masses of the coal produced in a volume of water contaminated with lead and chromium were used, which at the same time sought to determine which of these masses is the optimum for the removal of both heavy metals.

The method used in this investigation is adsorption, with the adsorbent material being activated carbon, which has as a precursor to the seed of aguaje and as an activating agent to phosphoric acid, which will be used for the removal of lead and chromium metals in contaminated water. .

The treatments used in the experiment were the different masses of activated carbon: 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25 and 1.5 g, having as initial sample the experiment with mass of 0 g, which were used in a volume of 500 ml of contaminated water sample, finally the removal percentage for lead and chromium was determined with each of the masses used.

Positive results were obtained for the adsorption of both heavy metals, after the analysis we identified that the optimum mass for the removal of both lead and chromium is 0.5 g. obtaining an average removal percentage of 80.22%, the optimal mass for lead removal is 1.5g removing 97.14% and the optimal mass for chromium removal is 0.25g removing 72%.

## INTRODUCCION

La remoción de metales pesados en soluciones acuosas ha sido estudiada por muchos autores, en su empeño de minimizar estos contaminantes presentes en las fuentes de agua o en los diferentes tipos de efluentes que se descargan a los cuerpos receptores, dado que no son biodegradables y tienden a acumularse en los organismos, causando numerosas enfermedades y trastornos, razón por la cual han sido catalogados como una clase emergente de cancerígenos humanos.

Se han descrito varios métodos para la remoción de metales pesados, pero la gran desventaja de la mayoría de estos tratamientos convencionales es el uso de materiales no renovables, la generación de residuos no biodegradables además de sus altos costos.

La adsorción es un método interesante para la eliminación de compuestos orgánicos y metales de medios acuosos contaminantes, debido a la alta eficiencia y el fácil manejo de los materiales adsorbentes utilizados; siendo el carbón activado el adsorbente más versátil y comúnmente usado debido a su alta área superficial y volumen de poro, alta capacidad de adsorción, con cinética rápida, y relativamente fácil regeneración, se trata de un grupo de materiales preparados mediante reacción de un material carbonizado con gases oxidantes o mediante la carbonización de un material lignocelulósico impregnado con agentes químicos deshidratantes.

En el presente estudio el material lignocelulósico escogido para la obtención de carbón activado es la semilla de aguaje, siendo el aguaje un fruto consumido en altas cantidades en la Amazonía peruana.

El propósito principal de la presente investigación es demostrar la capacidad del carbón activado obtenido a partir de la semilla de aguaje para

remover plomo y cromo de aguas contaminadas, a la vez se realizará un análisis de influencia de la masa de adsorbente y así determinar la masa óptima a utilizar.

## **CAPÍTULO I:**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

El agua es un recurso necesario y de gran importancia para los seres vivos, de los cuales el 82% de peso corporal está constituido por este elemento. El agua que existe en la tierra es útil para diferentes actividades, mas solo el 3% de ésta es apta para el consumo humano. (Contreras, 2008)

Las actividades extractivas y productivas realizadas por el hombre vienen deteriorando la calidad de las fuentes de agua y con ello se tiene impacto directo sobre los seres humanos, la flora y la fauna ya que el problema en las sociedades modernas no es solo la disponibilidad de fuentes de agua, sino también que la calidad de las mismas según el uso que se les pretenda dar. Por esta razón el impacto sobre las fuentes de agua se considera un tema de mucha importancia que afecta el desarrollo de las poblaciones actuales.(Broncano, 2016)

Dentro de los contaminantes más tóxicos presentes en aguas contaminadas, están metales pesados como el Plomo y el Cromo, siendo en ciertas concentraciones sustancias sumamente peligrosas para la salud humana, asimismo, según ECA AGUA (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM), se estableció el límite máximo permisible de plomo en agua potable de 0,01 mg/L y de cromo 0,05 mg/L. (Navarra,2017)

Existen varias alternativas para tratar el problema de metales pesados como contaminantes altamente nocivos, que van desde la prohibición de su uso hasta la remoción del mismo de efluentes acuosos. Diferentes tecnologías se han desarrollado para eliminar los metales de aguas: la precipitación, intercambio iónico,

separación por membrana, y la adsorción.(Caviedes Rubio, Muñoz Calderón, Perdomo Gualtero, Rodríguez Acosta, & Sandoval Rojas, 2015)

Entre ellos, el proceso de adsorción en general ofrece las mayores ventajas para la eliminación de los metales de las aguas, especialmente en muy baja concentración de metales. Diferentes adsorbentes pueden emplearse, pero carbones activados son los más utilizados, ya sea como polvos o granos, debido a su versatilidad en sus propiedades físicas y químicas. (Colina, 2012)

El carbón activado es el adsorbente más conocido y el más ampliamente empleado, ayuda a absorber los metales, contaminantes de las diferentes fuentes de agua. El carbón activado que se usa en la industria peruana es de importación de diferentes países y estos son preparados a partir de materiales precursores con un alto contenido de carbono, como el carbón mineral o la madera. Los costos de estos carbones activados varían en \$1200 y \$1400 dólares la tonelada.(Mora & Chinen, 2004)

En el Perú tenemos diferentes biomásas residuales, las cuales pueden generar carbón activado de alto rendimiento y por tanto aprovechar los residuos sólidos orgánicos, generando un carbón activado de menor costo. (Assuseira, 2013)

El "Aguaje" es una especie arbórea cuyo fruto es muy consumido en la región Loreto, principalmente en la ciudad de Iquitos con un consumo estimado de más de 150 t/mes, de los cuales, la mitad se destina para heladerías y similares y el resto se consume directamente o en refresco. La parte comestible del fruto corresponde al 33,5 %, y el 66,5 % corresponde a la masa de semilla residual, siendo aproximadamente 51 t/mes.(Velazco, 2010)

Por lo que, dentro de un plan de manejo racional, las partes del fruto de aguaje que no son utilizados (semillas), pueden ser empleadas para la elaboración de carbón activado; alternativa que se hace más

interesante por la simplicidad de producción a partir de esta biomasa residual. (Velazco, 2010)

## **1.2. Formulación del problema**

- **Problema General**

¿El carbón activado obtenido de la semilla de aguaje es una alternativa adecuada para la adsorción de plomo y cromo en agua contaminada?

- **Problemas específicos**

- ✓ ¿Cuál será la cantidad de masa adecuada de carbón activado obtenido de la semilla de aguaje para la adsorción de plomo y cromo en agua contaminada?
- ✓ ¿Cuál será la cantidad de masa adecuada de carbón activado obtenido de la semilla de aguaje para la adsorción de plomo en agua contaminada?
- ✓ ¿Cuál será la cantidad de masa adecuada de carbón activado obtenido de la semilla de aguaje para la adsorción de cromo en agua contaminada?

## **1.3. Objetivos**

- **Objetivo general**

Demostrar la capacidad de adsorción de Plomo y Cromo en aguas contaminadas, utilizando carbón activado obtenido de la semilla de aguaje.

- **Objetivos Específicos**

- ✓ Determinar la cantidad de masa óptima de carbón activado para la adsorción de plomo y cromo.
- ✓ Determinar la cantidad de masa óptima de carbón activado para la adsorción de plomo.

- ✓ Determinar la cantidad de masa optima de carbón activado para la adsorción de cromo.

#### **1.4. Limitantes de la investigación**

- **Teóricas**

Las limitantes teóricas para la presente investigación fueron los escasos estudios anteriores de uso de carbón activado para remoción de dos metales pesados en conjunto, en su mayoría se limitan al estudio de remoción de un solo metal pesado. Las variables que comprende el presente estudio es el uso de carbón activado obtenido a partir de la semilla de aguaje y la remoción de plomo y cromo de una muestra de agua contaminada.

- **Temporal**

Otro limitante fue la disponibilidad horaria del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao, ya que no existe un laboratorio específicamente para Investigación con un horario más flexible para los tesisistas. El estudio se realizó al periodo correspondiente al 2019.

- **Espacial**

El desarrollo experimental del presente estudio se realizó en la región de Lima, provincia y distrito del Callao, dentro del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao,

## CAPITULO II:

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes del estudio

- **Adsorción de plomo de efluentes industriales usando carbones activados con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>**

Se logró obtener carbones activados con buenas capacidades adsorbentes de Pb (II), a partir de astillas de eucalipto mediante activación química con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Las condiciones de preparación empleadas en la activación ejercen una marcada influencia sobre la capacidad de adsorción de Pb (II); dichas condiciones fueron: razón agente activante/precursor = 1,0 y temperatura de activación = 600 C (P1,0/600). La máxima cantidad de plomo adsorbido por gramo de carbón fue de 142,1 mg/g. Los resultados obtenidos indicaron que con un control de los parámetros de activación se puede lograr obtener carbones activados con buenas propiedades adsorbentes. (Lavado Meza, Sun Kou & Bendezú, 2010)

- **Adsorción de metales pesados empleando Carbones Activados preparados a partir de Semillas de Aguaje**

De acuerdo con los resultados obtenidos se ha podido establecer que, en la preparación del Carbón Activado, la razón de impregnación y la temperatura de activación son los factores más influyentes en las características fisicoquímicas finales del Carbón Activado.

La acidez superficial del carbón, la porosidad del adsorbato y el pH de la solución son las variables determinantes en el proceso de adsorción de los iones Cd<sup>2+</sup>, Cr<sub>(Total)</sub> y Pb<sup>2+</sup> utilizando carbón activado. (Sun Kou, Obregón Valencia, Pinedo Flores, Paredes Doig, & Aylas Orejon, 2014)

- **Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco**

Los resultados experimentales obtenidos en este trabajo permitieron evaluar la capacidad de adsorción y el porcentaje de adsorción de Ni (II) y Co(II) contenidos en soluciones modeladas de sulfatos, utilizando carbón activado de conchas de coco. Como resultado del análisis estadístico se pudo comprobar que la capacidad de adsorción de Ni(II) y de Co(II) fue mayor en el nivel superior de concentración inicial del ión metálico y nivel inferior de dosis de adsorbente; esta última no ejerció una influencia significativa en el porcentaje de adsorción; tales condiciones pueden resultar ventajosas para lograr buena separación de los iones metálicos con economía en el consumo de adsorbente. (Penedo Medina, Manals Cutiño, Vendrell Calzadilla, & Salas Tort, 2014)

- **Obtención de Carbón Activado a partir de la pepa de la Aceituna para Adsorción de metales Pesados (Pb, As) en efluentes líquidos.**

La pepa de la aceituna activada con un agente químico como el  $H_3PO_4$  y  $FeCl_3$  permiten obtener carbones con capacidad de adsorción de metales pesados como Pb(II) y As(V), lográndose remover hasta el 80 % Pb con carbón activado con ( $H_3PO_4$ ) a una relación agente activante/ precursor de 1.00 y a la temperatura de activación de 600°C y 67,50 % de remoción de As(V) con carbón activado ( $FeCl_3$ ) a una relación agente activante/ precursor de 0,30 y a la temperatura de activación de 600°C. (Barreto, 2013)

- **Adsorción de Cr (VI) utilizando carbón activado a partir de cáscara de naranja**

Durante esta investigación se encontró potencial de adsorción en ambos adsorbentes, encontrando un porcentaje de remoción del 68% de la cáscara de naranja y 98% para el carbón activado a partir de la misma a condiciones favorables de pH, tamaño de partícula y relación masa de adsorbente/Litro de solución contaminante. (Garzon Santamaria & Gonzalez Lopez, 2012)

## **2.2. Marco**

### **2.2.1. Teórico**

- **Uso de residuos lignocelulósicos para la obtención de carbón activado**

En la tesis “*Evaluación de nuevos precursores y del proceso de activación con dióxido de carbono*” indica que una de las ventajas del carbón activado es que es un material muy versátil en cuanto a la materia prima empleada en su producción (precursor). Así cualquier material y/o residuo que contenga un cierto contenido en materia carbonosa puede ser usado para la producción de carbón activado. Pueden emplearse desde carbones minerales, madera, residuos lignocelulósicos, residuos domésticos (papel, cartón, plásticos), residuos industriales (industrias petrolíferas, carboquímica, celulosa) neumáticos, hasta residuos de lodos de depuradoras, en la Tabla 2.1 del Anexo 1 se detallan algunas materias primas empleadas en la preparación de carbones activados. (Recobert, 2015)

La selección del material para la elaboración del carbón activado, se basa principalmente en los siguientes criterios:

- (I) bajo contenido de materia inorgánica;

- (II) la disponibilidad y el costo;
- (III) baja degradación durante el almacenamiento;
- (IV) la facilidad de activación

Ahora bien, la calidad final del carbón activado depende en gran medida del tipo de precursor (materia prima), a la vez que el rendimiento final en la producción también es otro aspecto para considerar a la hora de la elección del precursor. De este modo, en principio, un precursor con un contenido en carbono elevado y bajo en cenizas (materia inorgánica) es un candidato idóneo.

Con un contenido en carbono elevado se encuentran los carbones minerales, fundamentalmente lignitos y subituminosos, por su mayor facilidad para desarrollar una estructura porosa con procedimientos económicos. No obstante, no es una materia prima barata.

Por otro lado, en el artículo de investigación “**Adsorción de metales pesados empleando Carbones Activados preparados a partir de Semillas de Aguaje**” indica que los materiales lignocelulósicos son una fuente renovable, abundante y económica para la preparación de carbones activados. (Sun Kou, Obregón Valencia, Pinedo Flores, Paredes Doig, & Aylas Orejon, 2014)

La obtención de carbones activados a partir de material lignocelulósico, según el artículo de investigación “**Obtención y caracterización de carbones activados a partir de semillas de Mucuna sp**”, es ampliamente usada en la industria química debido al bajo costo y a la abundancia de este tipo de materiales en la naturaleza. Además, este tipo de precursores es muy importante porque permite la obtención de carbones activados con porosidad variada dependiendo de las condiciones de preparación, como temperatura y tiempo de activación (Vargas, Moreno, & Giraldo, 2008)

Los residuos lignocelulósicos es un tipo de residuo biomásico, o también llamado residuo orgánico, que puede ser generado por actividades industriales, agrícolas y urbanas. En la tesis “**Desarrollo de carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos para la adsorción y recuperación de tolueno y N-hexano**” establece que un residuo lignocelulosico está compuesto por tres polímeros: celulosa, hemicelulosa y lignina, cuya proporción varía según el residuo lignocelulosico del que se trate. (Martínez de Yuso Ariza, 2012)

Según el **Programa de incentivos a la mejora de la Gestión Municipal del 2018 de la Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos del MINAM**, en el Perú, a nivel nacional los residuos sólidos orgánicos, representan más del 50% de residuos que se generan, que a su vez puede ser valorizados aplicando distintas tecnologías. En el Figura 2.1 del Anexo 2 se muestra la situación actual de la composición de los residuos sólidos municipales, donde la región que genera mayor cantidad de residuos orgánicos es en la región de la selva con un 79.13 %. (MINAM, 2018)

Las semillas o también llamadas pepas de aguaje, forman parte de estos residuos orgánicos, el aguaje se encuentra distribuida en toda América Tropical, es una especie nativa amazónica con alta concentración en la Amazonía Peruana, probablemente sea originaria de las cuencas de los ríos Huallaga, Marañón y Ucayali, se cultiva y explota en poblaciones naturales en los departamentos de Loreto, Ucayali, Huánuco y San Martín.

El hábitat natural del aguaje está formado por pantanos y zonas con mal drenaje en la Amazonía donde predominan los suelos, permanente o temporalmente, inundados.

Según el boletín de la Dirección de Investigación, Innovación, Desarrollo y transferencia tecnológica, **Aprovechamiento de los residuos de *Mauritia Flexuosa***, actualmente el aguaje se utiliza en su mayoría para la elaboración de refresco (aguajina), chupetes, cremoladas, kurichis y/o helados, y últimamente se ha observado la aparición de un producto denominado “deshidratado de aguaje”, generando como uno de sus residuos la semilla de aguaje. También se genera este residuo por las actividades agroindustriales como la elaboración de productos como la pulpa, el aceite de aguaje y capsulas de aguaje. Por cada hectárea de producción de aguaje se genera 15 TM de semilla (materia seca). (Dirección de Investigación, 2018)

Bajo este contexto, se utilizó la semilla de aguaje como material precursor para la elaboración del carbón activado.

- **El carbón activado como adsorbente de metales pesados**

El carbón activado es el mejor adsorbente de uso general para remoción/reducción de muchos compuestos orgánicos y aún algunos inorgánicos del agua y de aguas residuales, según el artículo de investigación “**Estudio preliminar de adsorción de iones cobre con carbón activado de cascarón de coco**”. El carbón activado posee la virtud de retener o adherir en su superficie uno o más componentes (átomos, moléculas e iones), del líquido que está en contacto con él. Este fenómeno se denomina poder adsorbente. (Salas Tort & Marzal Blanco, 2009)

El carbón activado ha demostrado ser un adsorbente eficiente para la eliminación de una amplia variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el medio ambiente acuático. Debido a sus áreas superficiales porosas que van desde 500 hasta 1.500 m<sup>2</sup> / g,

así como la presencia de un amplio espectro de superficie funcional que la hace accesible a diferentes reactivos según el artículo de investigación **“Heavy Metals Removal Using Activated Carbon, Silica and Silica Activated Carbon** . (Karnib, M; Kabbani, A; Holail, H; Olama, Z, 2014)

Según la International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC, los poros de las áreas superficiales porosas se clasifican en tres grupos principales: microporos, con dimensiones inferiores a 2 nm; mesoporos, con dimensiones entre 2 nm y 50 nm; y macroporos con dimensiones superiores a los 50 nm.

Además de la estructura porosa, en el artículo **Desarrollo y Aplicaciones de materiales avanzados de carbón los carbones activados**, indica que los carbones activados poseen una estructura química, ya que contienen pequeñas cantidades de heteroátomos tales como oxígeno, hidrogeno o nitrógeno, lo que permite que sustancias polares sean débilmente retenidas sobre la superficie del carbón activado. Esto es debido a que los átomos de carbono situados en los bordes de los planos presentan una alta actividad disponible, ya que no están saturados de átomos de carbono y poseen electrones libres. Estos sitios están normalmente unidos a heteroátomos dando lugar a grupos funcionales superficiales que pueden modificar sus propiedades adsorbentes. (Alvarez Merino, Carrasco Marin, & Maldonado Hódar, 2014)

La obtención de carbón activado se puede llevar a cabo mediante métodos físicos o químicos como lo explica en el artículo científico **“Characterization and application of activated carbon produced by H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> and water vapor activation”**. El método físico consiste en la carbonización de la materia prima en una atmósfera inerte a temperaturas cercanas a los 1000 °C. El método químico se realiza

mediante la impregnación de un agente activante como el  $ZnCl_2$ , KOH o  $H_3PO_4$  seguida de una calcinación a temperaturas próximas a los 600 °C. (Budinova, y otros, 2006)

Ahora para poder saber que método de activación escoger, en el artículo **“Los carbones activados químicamente, en comparación con los activados físicamente, presentan la ventaja de tener mayores rendiadsorción de plomo de efluentes industriales usando carbones activados con  $H_3PO_4$ ”**, se demuestra que los carbones activados químicamente, en comparación con los activados físicamente, presentan la ventaja de tener mayores rendimientos, así como un buen desarrollo de la porosidad a temperaturas relativamente bajas. (Lavado Meza, Sun Kou, & Bendezu, 2010)

Existen diferentes agentes activantes para la preparación de un carbón activado, sin embargo, en el artículo **“Residuos de biomasa para la producción de carbones activos y otros materiales de interés tecnológico”**, sugiere emplear  $H_3PO_4$  como agente activante frente al  $ZnCl_2$  debido a que este último genera significativos problemas de contaminación medioambiental. Mientras que, por otro lado, el KOH es un agente de activación ideal cuando se tiene materiales con alto contenido de carbón y bajo contenido de volátiles como por ejemplo carbón mineral. (Menendez Diaz, 2008).

Ya en el proceso de adsorción con el carbón activado, el artículo de investigación **“Influencia del pH sobre la adsorción den carbón activado Cd(II) Y Ni(II) desde soluciones acuosas”**, explica que la adsorción de iones desde una solución acuosa por carbón activado es causada por las interacciones entre los iones en solución y los grupos funcionales presentes en la superficie del carbón activado, lo

cual depende del pH de la solución. En general, la adsorción de iones metálicos es atribuida a dos factores fundamentales: a las interacciones electrostáticas entre los iones y la superficie del carbón activado y a las interacciones químicas específicas entre los iones y los complejos superficiales. Por esta razón, se puede considerar que la eliminación de metales pesados mediante el proceso de adsorción con carbón activado es debida a la formación de un complejo sobre la superficie entre los iones metálicos y los grupos superficiales ácidos con el grupo carboxilo-COOH; la adsorción de iones metálicos divalentes se debe a un mecanismo de intercambio catiónico, formándose en la superficie un complejo representado como [COO-M<sub>2</sub>+]. (Rodríguez, Giraldo, & Moreno, 2010)

Bajo este marco teórico se elabora el carbón activado usando como agente activante al H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> para adsorber metales pesados como el Pb y Cr en solución acuosa.

### **2.2.2. Conceptual**

- **Adsorción**

La adsorción es un fenómeno de superficie que involucra la transferencia de masa del adsorbato (gas o líquido) a la superficie de un sólido (adsorbente). Este proceso ocurre en la región interfacial, en tres etapas consecutivas. En la primera etapa (difusión externa), el adsorbato se acerca a la superficie externa del sólido, venciendo la resistencia que se encuentra acumulada en una fina película límite alrededor del adsorbente. La superficie externa que expone el sólido es normalmente menor al 1 % del total existente (superficie externa e interna). En la segunda etapa, denominada de difusión interna, el adsorbato migra a través de la red porosa del sólido. Finalmente, en la última etapa, el adsorbato

se adhiere a la superficie del adsorbente presentándose la adsorción propiamente dicha. (Valencia, 2012).

### **Tipos de adsorción**

Hay dos tipos de fenómenos de adsorción:

#### **a) Adsorción física o Fisisorción**

La fisisorción corresponde a una interacción de naturaleza puramente electrostática entre la partícula gaseosa y los átomos superficiales del sólido. Recibe también el nombre de “Adsorción de Van der Waals” y puede considerarse como la condensación del gas en la superficie del sólido, semejante a la condensación de un vapor. En este caso no existe arreglo electrónico en el sistema y solo las fuerzas de atracción electrostáticas o atracciones dipolares son puestas en juego. (Suárez, 2002)

#### **b) Adsorción química o quimisorción**

La quimisorción corresponde a una interacción de tipo químico, en la que los electrones de enlace entre el gas y el sólido experimentan un reordenamiento y los orbitales respectivos cambian de forma o grado de ocupación, de modo semejante a una reacción química.

En resumen, algunas de las características de la quimisorción son:

1. Hay especificidad; solo algunos sitios superficiales adsorben ciertas moléculas
2. Hay una interacción de los estados electrónicos del adsorbato (fluido) y del adsorbente (sólido), lo que se traduce en la formación de un verdadero enlace químico
3. Como consecuencia de la reacción química superficial (rompimiento y formación de enlace) se desprende una cantidad elevada de calor.

La quimisorción requiere del suministro de una cierta cantidad de energía para iniciar el proceso (energía de activación) Proceso activado no espontáneo. (Suárez, 2002)

Algunos criterios de distinción entre los dos fenómenos son mostrados en la Tabla 2.2 del Anexo 1.

- **Carbón activado:**

Es un material poroso de carbón (Mash & Rodriguez - Reinoso, 2006), que suele prepararse por carbonización y activación de materiales de muy diverso origen, tales como carbones minerales, maderas, etc. y se caracteriza por sus propiedades adsorbentes y catalíticas.

El carbón activado es ampliamente utilizado como adsorbente de gases, vapores y solutos en disolución. Muchas aplicaciones del carbón activado, como en la descontaminación de gases y líquidos, se basan en su gran capacidad de adsorción, la cual depende de sus propiedades texturales (superficie, porosidad y distribución de porosidad), en la f y de los grupos funcionales (complejos u óxidos) superficiales. (Valderrama, 1996)

Las principales características de los carbones activados provienen de su estructura porosa y de la presencia de heteroátomos en esa estructura.

La estructura porosa la constituyen los espacios en la estructura tridimensional que se esquematiza en la Figura 2.2 del Anexo 2.

Las paredes de la porosidad se componen de átomos de carbono unidos mayoritariamente en sistemas de anillos conjugados en una capa de grafeno tridimensional con defectos. Los heteroátomos se sitúan en los bordes de las capas de grafeno. La capa de grafeno se convoluciona y se enlaza entre ella a intervalos variables, creando y estabilizando porosidad. (Alvarez Merino, Carrasco Marin, & Maldonado Hódar, 2014)

En general, los carbones activados son esencialmente microporosos, con poros en forma de rendija, con superficies específicas aparentes que pueden superar los 3000 m<sup>2</sup>/g. Esto

determina en gran medida la capacidad de adsorción de un carbón activado, siempre teniendo en cuenta que las dimensiones de la molécula a adsorber sean del rango del tamaño de los microporos, que son los que constituyen la mayor parte de la superficie interna. Además de la estructura porosa, los carbones activados poseen una estructura química, ya que contienen pequeñas cantidades de heteroátomos tales como oxígeno, hidrogeno o nitrógeno, lo que permite que sustancias polares sean débilmente retenidas sobre la superficie del carbón activado.

Esto es debido a que los átomos de carbono situados en los bordes de los planos presentan una alta actividad disponible, ya que no están saturados de átomos de carbono y poseen electrones libres. Estos sitios están normalmente unidos a heteroátomos dando lugar a grupos funcionales superficiales que pueden modificar sus propiedades adsorbentes como se muestra en la Figura 2.3 del Anexo 2.

De estos grupos superficiales, los que contienen oxígeno se consideran los más importantes. Los bordes de los planos de la estructura de los carbones activados presentan una fuerte propensión a quimisorber oxígeno. Este oxígeno molecular quimisorbido puede disociarse en átomos que reaccionen químicamente con átomos de carbono para formar compuestos oxigenados superficiales. (Bellussi, y otros, 2000)

La química superficial del carbón activado tiene una naturaleza anfótera debido a la coexistencia de grupos superficiales ácidos y básicos. Que un carbón sea globalmente ácido o básico dependerá de la concentración de estos grupos y de la fuerza como ácido o base de estos. (Alvarez Merino, Carrasco Marin, & Maldonado Hódar, 2014)

## **Tipos de activación para el carbón activado**

Los procesos de fabricación se dividen en dos, según el tipo de activación: la activación física (llamada también térmica) y la activación química.

### **a) Activación física:**

La porosidad de los carbones preparados mediante activación física es el resultado de la gasificación del material carbonizado a temperaturas elevadas. (Luna, Gonzales, Gordon, & Martín, 2007)

Esta puede realizarse bien en dos etapas o en una sola etapa, dependiendo si la carbonización y activación tienen lugar en dos etapas separadas o simultáneamente

**Carbonización o pirolisis:** El proceso de carbonización (o pirolisis) consiste en un tratamiento térmico en atmósfera inerte (sin la adición de sustancias químicas ajenas al material) a temperaturas entorno entre 600-850 °C. En el caso de materiales lignocelulósicos, a partir de 170°C y hasta unos 650 °C, empieza a tener lugar la ruptura pirolítica de los enlaces existentes entre el carbono y los distintos heteroátomos (principalmente hidrógeno y oxígeno, y en menor medida, azufre y nitrógeno. Dependiendo de su volatilidad estos son eliminados como gases permanentes (CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, etc., más agua) o alquitranes (especies de elevado peso molecular, volátiles a las temperaturas de la carbonización pero que condensan a menores temperaturas), quedando un residuo sólido con un elevado contenido en carbono, denominado carbonizado o char (que, en función de la temperatura final alcanzada, puede ser de un 80-95% en contenido en carbono). Así pues, la materia prima tras su descomposición pirolítica se distribuye en tres fracciones de productos carbonizado (15-20%), alquitranes (60-65%) y gases (20-25% peso). Con vista a la preparación de carbón activado, uno de los objetivos de esta etapa es maximizar la fracción de carbonizado. (Recobert, 2015)

**Activación:** La etapa de activación en la producción de carbón activado consiste en una reacción gas-sólido de gasificación a altas temperaturas, donde gases oxidantes (agentes activantes) reaccionan con los átomos de carbono del carbonizado, extrayéndolos de la estructura como CO o CO<sub>2</sub>. Los agentes activantes que se han empleado son el dióxido de carbono, el vapor de agua y el oxígeno (aire), a temperaturas entre 700-1000°C, durante tiempos que pueden oscilar entre 12 horas a unos 30 minutos. Estos reaccionan con el carbono según las siguientes reacciones:



(Recobert, 2015)

#### **b) Activación química.**

La porosidad de los carbones que se obtiene por activación química es generada por reacciones de deshidratación química, que tienen lugar a temperaturas mucho más bajas. (Luna, Gonzales, Gordon, & Martín, 2007)

La activación química involucra la carbonización de la materia prima previamente impregnada con un agente químico. Se puede utilizar como agente activador: hidróxido de potasio (KOH), cloruro de zinc (ZnCl<sub>2</sub>) y ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). La activación química presenta la ventaja de realizarse en una sola etapa y a temperatura relativamente baja (400 – 600°C) comparada con la activación física (800– 1000°C)(Duman, Onal, Okutucu, Onenc, & Yanik, 2009)

Una de las principales funciones del agente activante es facilitar la deshidratación del esqueleto macromolecular carbonoso, lo cual influenciara en la subsiguiente descomposición pirolítica del

material, reduciéndose con ello la producción de alquitranes y volátiles, incrementado con ello el rendimiento. Asimismo, durante la carbonización del material, el agente activante penetra en el interior de los canales de la estructura botánica, produciendo su hinchamiento, lo cual repercutirá en el desarrollo de una estructura porosa más desarrollada. Por ello, el grado de impregnación (expresada normalmente como la relación en peso entre agente activante y precursor) es uno de los factores más importantes que determinan el rendimiento final y la porosidad desarrollada. Así, a mayor grado de impregnación mayor superficie específica y tamaño de porosidad se desarrolla en el Carbón Activado. (Recobert, 2015)

- **Contaminación por metales pesados: Plomo y Cromo**

- a) **Plomo**

El plomo es un metal pesado, gris y blando muy difundido en la corteza terrestre. Se encuentra en la naturaleza como mezcla de 3 isótopos (206, 207 y 208). Su forma más abundante es el sulfuro (PbS), formando las menas de galena. Con frecuencia está asociado a otros metales, como plata, cobre, zinc, hierro y antimonio. Forma compuestos en estado de valencia 2+ y 3+, orgánicos, como acetato, tetraetilo y tetrametilo e inorgánicos, como nitrato, arsenato, carbonato, cloruro, óxidos y silicato. (Ferrer, 2013).

Asimismo, se halla tanto en forma orgánica como inorgánica. El plomo inorgánico se encuentra en pintura vieja, en el suelo y en los gases de combustión producidos por la gasolina con plomo, que también contribuyen a la contaminación ambiental con plomo inorgánico. Hoy en día, el plomo inorgánico se encuentra principalmente en los contextos ocupacionales y su toxicidad es mayor que la del plomo orgánico, debido a que su absorción en el

cuerpo humano es más fácil. (Montoya, Aguilar Casas, & Cordovez Wandurraga, 2010).

El plomo inorgánico, bajo las formas de diversos compuestos, es usado en numerosos tipos de industrias y actividades, cuya magnitud exacta es desconocida en América Latina y el Caribe. Las más importantes son las industrias de baterías, metalúrgica, pigmentos para pinturas, alfarería, cables y productos químicos. Una parte considerable del plomo se recupera de fuentes secundarias de chatarra. Además, el plomo orgánico se presenta como tetraetilo de plomo que se usa en nuestro país extensivamente como antidetonante en la nafta, habiendo sido eliminado como tal en la mayoría de los países desarrollados. (Corey, G.; Galvao, L., 1989)

La solubilidad del plomo depende del tipo de compuesto. Carbonatos, fosfatos y sulfatos son de baja solubilidad. Acetatos y nitratos son más solubles. Los compuestos insolubles del plomo pueden adherirse a las partículas suspendidas y a los sedimentos. Al disminuir el pH disminuye la interacción con los sedimentos y aumentaría la presencia de plomo en el agua. (Guarda & Robles Gomero, 2009)

El plomo es un potente neurotóxico generalizado, los efectos tóxicos del plomo son los mismos independientemente de la ruta de entrada en el cuerpo, que son principalmente la ingestión y la inhalación. Una vez absorbido, el plomo se une a los eritrocitos y viaja en la sangre a los tejidos blandos, tales como el hígado, los riñones, pulmones, cerebro, bazo, músculos y el corazón. Después de varias semanas, la mayor parte de la iniciativa se mueve en los huesos y dientes. En adultos alrededor del 94% de la cantidad total de plomo en el cuerpo se encuentra en los huesos y dientes. Alrededor del 73% del plomo en los organismos de los niños se almacena en los huesos. (Colina, 2012).

## **b) Cromo**

Elemento químico, símbolo Cr, número atómico 24, peso atómico 51.996; metal que es de color blanco plateado, duro y quebradizo.. El cromo elemental no se encuentra en la naturaleza. Su mineral más importante por abundancia es la cromita. El cromo forma tres series de compuestos con otros elementos; éstos se representan en términos de los óxidos de cromo: cromo con valencia dos, CrO, óxido de Cr(II) u óxido cromoso; con valencia tres, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, óxido de Cr(III) u óxido crómico, y con valencia seis, CrO<sub>3</sub>, anhídrido de Cr(VI) o anhídrido de ácido crómico. El cromo es capaz de formar compuestos con otros elementos en estados de oxidación (II), (III) y (VI). (Lenntech, s.f.)

El cromo (Cr) es un elemento que se encuentra de forma natural en rocas, plantas y suelos, en donde existe en combinación con otros elementos para formar diversos compuestos. En la industria, el cromo y sus compuestos tienen una gran variedad de aplicaciones que abarcan entre otras: procesos de curtido, pigmentos textiles, aleaciones, catalizadores, agentes anticorrosivos, baterías, fungicidas, recubrimientos metálicos, electrogalvanizados, etc. Las aguas residuales procedentes de estos procesos están contaminadas con este metal, con el gran componente de riesgo medioambiental y para la salud humana que conlleva.

Su toxicidad depende del estado de oxidación y concentración en que se encuentra, siendo de especial importancia la eliminación de cromo hexavalente presente en los sistemas acuosos, por su reconocido carácter cancerígeno. (Muñoz, 2015)

Las principales actividades que involucran la contaminación de cromo son la minería y la industria. En la industria, el cromo se utiliza principalmente en el revestimiento de metales (cromados) con fines estéticos, decoración y cambios de color de distintos materiales. Además, este elemento es un importante agente en los procesos de

curtido de pieles y tratamiento de maderas. Las industrias que presentan mayor riesgo por la presencia de cromo, según su rama o tipo, son las de cemento, colorantes, construcción, curtidurías, metalurgia, pinturas (anticorrosivas) y material fotográfico. ( U.S. Environmental Protection Agency, 1997)

El Cromo (VI) es un peligro para la salud de los humanos, mayoritariamente para la gente que trabaja en la industria del acero y textil. El Cromo (VI) es conocido porque causa varios efectos sobre la salud. Cuando es un compuesto que toma contacto con la piel, puede causar reacciones alérgicas, como erupciones cutáneas. Después de ser respirado el Cromo (VI) puede causar irritación de la nariz y sangrado de la nariz.

Otros problemas de salud que son causados por el Cromo (VI) son: erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético, cáncer de pulmón o muerte.(Roig Marino, 2006)

### **c) Especiación del Plomo y Cromo con el pH**

En la Figura 2.4 y 2.5 del Anexo 2 se muestran las especies metálicas del plomo ( $Pb^{+2}$  y  $Pb^{+4}$ ) y cromo ( $Cr^{+3}$  y  $Cr^{+5}$ ); y el pH en el cual predominan, lo que permite explicar la dependencia de la adsorción con este parámetro, se observa la presencia de hidróxidos dando un indicativo de la precipitación de los mismo con el cambio de pH, y que por tanto limita la remoción metálica. (C. Tejada, 2014).

- **Semilla de aguaje**

- a) Descripción botánica**

- La especie *Mauritia flexuosa* se clasifica de la siguiente manera:(Velazco, 2010)

- Reino: Vegetal

- Sub-Reino: Embryophyta
- División: Spermatophyta
- Clase: Angiospermae
- Sub-clase: Monocotiledónea
- Orden: Principes
- Familia: Palmaceae
- Tribu: Lepidocaryoidae
- Género: Mauritia
- Especie: Mauritia flexuosa

El Aguaje es una palmera arborescente de solo un tallo, sin espinas que alcanza de 25 a 35 m de altura en su estado adulto. Es una palmera polígama dioica (palmas con flores femeninas, masculinas o bisexuales), que en condiciones naturales puede alcanzar una altura de 35m. El fruto es una drupa, subglobosa o elíptica, mide entre 5 y 7 cm de longitud, y 4 y 5 cm de diámetro, el peso varía entre 40 y 85 g. La cosecha empieza de los siete a ocho años y dura hasta los 40 y 50 años. El rendimiento puede ser estimado entre 15 y 25 t/ha/año. Con mayores concentraciones entre los meses de febrero y agosto con relativa escasez entre los meses de septiembre y noviembre. (IIAP, 2009)

Las condiciones ambientales adaptativas son; Biotemperatura media anual máxima de 25,1°C y biotemperatura media anual mínima de 17,2°C. Promedio máximo de precipitación total por año de 3419mm y promedio mínimo de 936mm. Altitud variable desde 50 msnm hasta 850 msnm.

El hábitat natural del aguaje está formado por pantanos y zonas con mal drenaje en la Amazonía donde predominan los suelos, permanente o temporalmente, inundados. Crece en ecosistemas típicos denominados "aguajales", donde los nativos de la Amazonía peruana distinguen dos tipos de ecosistemas: una formación mixta de aguaje con unguurahui (*Oenocarpus bataua*), llamada "sacha

aguajal") y una formación casi pura de aguaje, llamada "aguajal". También se encuentra en terrazas bajas que no son inundadas por el río o en partes altas con suelos. (González Coral & Torres Reyna, 2010)

#### **b) Composición de la semilla de aguaje**

La semilla del Aguaje constituye el 40- 44,5 % del fruto, es de forma subglobosa, sólida y con presencia de albumen blanco; la presencia del albumen es notoria, presentando un color marrón-blanquecino. El albumen es una reserva alimenticia y energética característica de semillas de angiospermas (dicotiledóneas y monocotiledóneas como el Aguaje), que utiliza el embrión al principio de su crecimiento. La naturaleza química de las reservas (almidón, grasas, proteínas) varían según el tipo de semillas. (Velazco, 2010)

La composición química de la semilla del Aguaje es presentada en la Figura 2.6 del Anexo 2; se observa que el componente presente en mayor proporción en las semillas de Aguaje es la holocelulosa con 82 % (bms), que representa la fracción total de polisacáridos lo cual se explica por la abundante presencia del albumen. Cabe mencionar que el análisis de holocelulosa incluye aparentemente fracción de almidón. Se observa también que la lignina representa 9,49 % (bms) de la masa seca de la semilla. La cantidad de extractivos, solubles en etanol, representa 5,42 %; esta fracción comprendería aceites grasos, común en semillas. La fracción de cenizas es 1,93 %, contiene 0,52 % de sílice. (Velazco, 2010)

#### **c) Caracterización de la semilla de aguaje**

Para caracterizar un material precursor, se debe realizar análisis inmediato de:

**Humedad:** cantidad de agua determinada cuantitativamente por métodos normalizados, que varían según el tipo de humedad que se desee determinar.

**Material volátil:** aquellos productos que se emiten por calentamiento, como gas y vapor, presentes en el carbón y distintos de la humedad, determinados según métodos prescritos

**Cenizas:** residuo inorgánico resultante de quemar las sustancias combustibles, cuya cantidad se determina por métodos normalizados

**Carbón fijo:** es el residuo sólido, diferente de la ceniza, obtenido por destilación destructiva, según métodos prescritos específicos. (Rincón, Gómez, & Monroy, 2010)

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Adsorbente:** Agente que tiene la capacidad de retener sobre su superficie iones, átomos o moléculas que pertenecen a un cuerpo diferente.
- **Activación:** Acondicionamiento físico o químico de un material.
- **Adsorción:** Es un proceso donde un sólido se utiliza para eliminar una sustancia soluble del agua.
- **Agua contaminada:** Agua preparada en laboratorio a base de agua desionizada, dicromato de potasio y nitrato de plomo a una concentración requerida de plomo y cromo.
- **Capacidad de adsorción:** Es la cuantificación de la adsorción de algún contaminante en un adsorbente, se mide en “mg” de contaminante adsorbido sobre “g” de adsorbente utilizado.
- **Carbón Activado:** Material poroso obtenido a partir de la semilla de aguaje y activado con ácido fosfórico.
- **Cromo:** El cromo (Cr) es un elemento que se encuentra de forma natural en rocas, plantas y suelos, en donde existe en

combinación con otros elementos para formar diversos compuestos.

- **Intercambio iónico:** Es una operación unitaria, que tienen como función la separación, que está basada en la transferencia de materia fluido-sólido. Que involucra la transferencia de uno o más iones, de la fase fluida al sólido por intercambio o desplazamiento de iones de la misma carga, que se encuentran unidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales superficiales.
- **Lignocelulósico:** Consiste en tres tipos diferentes de polímeros, celulosa, hemicelulosa y lignina.
- **Muestras Sintéticas:** Muestras de agua contaminada.
- **pH:** Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.
- **Plomo:** El plomo es un metal pesado, gris y blando muy difundido en la corteza terrestre. Se encuentra en la naturaleza como mezcla de 3 isótopos (206, 207 y 208).
- **Semilla de aguaje:** Residuo sólido usado como precursor del carbón activado.
- **Precursor:** Material del cual se obtiene en el carbón activado, en esta tesis es la semilla de aguaje.
- **Remoción:** Acción y efecto de extraer una sustancia de un lugar a otro.

## CAPITULO III:

### HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

##### **Hipótesis General**

“El carbón activado obtenido de la semilla de aguaje adsorberá plomo y cromo en agua contaminada”

##### **Hipótesis específica**

- ✓ La determinación de una masa óptima de carbón activado de la semilla de aguaje adsorberá plomo y cromo en agua contaminada.
- ✓ La determinación de una masa óptima de carbón activado de la semilla de aguaje adsorberá plomo.
- ✓ La determinación de una masa óptima de carbón activado de la semilla de aguaje adsorberá cromo.

#### 3.1.1. Variables

**Variable independiente (factor tratamiento): Carbón activado obtenido de la semilla de aguaje.**

Definición conceptual: Material adsorbente elaborado a partir de la semilla de aguaje por medio de activación química

Para esta variable se estableció el indicador:

- Masa de carbón activado (g)

**Variable dependiente (respuesta): Remoción de Plomo y Cromo en agua contaminada.**

Definición conceptual: Extracción de metales plomo y cromo en agua contaminada.

Para esta variable se establecieron los indicadores:

- Concentración de Plomo en agua contaminada. (mg/L)
- Concentración de Cromo en agua contaminada. (mg/L)

### 3.2. Operacionalización de variables

**TABLA 3.1**

**OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Carbón activado obtenido de la semilla de aguaje	Material adsorbente elaborado a partir de la semilla de aguaje por medio de activación química	X <sub>1</sub> : 0 g de carbón activado (muestra en blanco) X <sub>2</sub> : 0.25 g de carbón activado X <sub>3</sub> : 0.5 g de carbón activado X <sub>4</sub> : 0.75 g de carbón activado X <sub>5</sub> : 1 g de carbón activado X <sub>6</sub> : 1.25 g de carbón activado X <sub>7</sub> : 1.5 g de carbón activado	Masa de carbón activado (g)
Remoción de plomo y cromo en agua contaminada.	Extracción de metales plomo y cromo en agua contaminada	Y <sub>1</sub> : % de remoción de plomo en agua contaminada	Concentración de Plomo en agua contaminada. (mg/L)
		Y <sub>2</sub> : % de remoción de cromo en agua contaminada	Concentración de Cromo en agua contaminada (mg/L)

Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO IV:**

### **METODOLOGÍA**

#### **4.1. Tipo y diseño de la Investigación**

El tipo de investigación es aplicada ya que en esta investigación se parte de un conocimiento generado por una investigación básica, tanto para identificar problemas sobre lo que se debe intervenir como para definir las estrategias de solución.

El diseño de investigación es un diseño en Bloques aleatorizados donde la variable de interés o variable respuesta es la remoción de Plomo y Cromo en la muestra contaminada.

En este modelo intervienen dos factores, el factor tratamiento (las distintas cantidades de masa de carbón activado) y el factor bloque (los metales plomo y cromo), el primero es usual llamarlo factor principal mientras que, al segundo factor secundario, puesto que nuestro interés fundamentalmente está centrado en el primero y el factor bloque se introduce en el modelo para eliminar su influencia en la variable respuesta.

En este diseño se ha supuesto que el carbón activado influye en la remoción de Plomo y Cromo de la muestra contaminada, se realiza dos replicas en supuesto de una muestra contaminada homogénea.

**TABLA 4.1**

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN - BLOQUES**

X <sub>i</sub>	Factor Bloques			
	Bloque 1 (Pb)		Bloque 2 (Cr)	
	Replica 1	Replica 2	Replica 1	Replica 2
X <sub>1</sub>	Y <sub>111</sub>	Y <sub>112</sub>	Y <sub>121</sub>	Y <sub>122</sub>
X <sub>2</sub>	Y <sub>211</sub>	Y <sub>212</sub>	Y <sub>221</sub>	Y <sub>222</sub>
X <sub>3</sub>	Y <sub>311</sub>	Y <sub>312</sub>	Y <sub>321</sub>	Y <sub>322</sub>
X <sub>4</sub>	Y <sub>411</sub>	Y <sub>412</sub>	Y <sub>421</sub>	Y <sub>422</sub>
X <sub>5</sub>	Y <sub>511</sub>	Y <sub>512</sub>	Y <sub>521</sub>	Y <sub>522</sub>
X <sub>6</sub>	Y <sub>611</sub>	Y <sub>612</sub>	Y <sub>621</sub>	Y <sub>622</sub>
X <sub>7</sub>	Y <sub>711</sub>	Y <sub>712</sub>	Y <sub>721</sub>	Y <sub>722</sub>

Fuente: Elaboración Propia

Donde:

X<sub>i</sub>: Factor tratamiento (masa de carbón activado)..... i=7

Pb y Cr: Factor bloque.....j=2

Replica 1 y Replica 2: Repeticiones.....r=2

Y<sub>ijr</sub>: Variable respuesta (remoción de plomo y cromo) .....n=28

**4.2. Población y Muestra**

• **Población:**

La población corresponde a los residuos de semilla de aguaje producidos en la región de San Martín (Rioja, Moyobamba, Mariscal Cáceres y San Martín), donde se concentra la mayor producción y consumo del fruto, se comercializan aproximadamente 25,2 toneladas

de aguaje, generando aproximadamente 18.4 toneladas de residuos de semilla de aguaje, considerando que se utiliza en su mayoría de veces un 28% del peso inicial del aguaje (pulpa y cascara). (Gonzales Coral, Agustin; Torres Reyna, Guiuseppe;, 2010)

- **Tamaño de la Muestra:**

- **Semilla de aguaje**

- La muestra recolectada de semilla de aguaje fue de 5 kg, ya que se verifico en diferentes investigaciones que es la cantidad de masa idónea que alcanza para nuestro experimento de 14 parcelas con diferentes cantidades de masa.

- **Agua contaminada**

- Para este experimento se utiliza 14 parcelas (n=14) que equivale a las 14 muestras homogéneas de agua contaminada simulada en el laboratorio, cada parcela contiene 100ml. Se realizó con dos repeticiones (r=2) por cada parcela.

#### **4.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de la información de campos**

- **Semilla de aguaje**

- Para el desarrollo del presente trabajo se ha visitado la ciudad de Soritor en Moyobamba, donde se ha recolectado aleatoriamente semillas de aguaje de diferentes puestos de venta de aguajina.

**FIGURA 4.1**

**FUENTES DE LA SEMILLA DE AGUAJE**

Puesto de venta de aguajina en Soritor	Aguaje utilizado para la preparación de aguajina
	

Fuente: Elaboración propia

- **Agua contaminada**

Todas las soluciones para la simulación de muestras contaminadas preparadas a diferentes concentraciones y volúmenes en laboratorio se realizaron por métodos volumétricos.

Para los análisis de concentración de Plomo y Cromo, éstas fueron realizadas en un Laboratorio acreditado Deltalab S.A.C., donde el método de ensayo usado SMEWW-APHA-AWWA-WER Part 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017. Nitric Acid Digestion / Direct Air Acetylene Flame Method.

#### **4.4. Procedimiento de recolección de datos**

El precursor usado para la elaboración del carbón activado fue la semilla de aguaje, la recolección de esta semilla se realizó en un lugar de gran producción de aguaje que se encuentra en la ceja se de selva, Moyobamba en las ciudades de Soritor y Rioja en los puestos que preparan un refresco conocido como aguajina.

El proceso de recolección de datos experimentales se llevó a cabo en las instalaciones de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao; asimismo los análisis de concentración de Plomo y Cromo con el Laboratorio Acreditado Deltalab S.A.C.

#### **Identificación y caracterización del precursor**

Se caracterizó la materia prima antes de empezar con el proceso de preparación a carbón activado, para poder conocer sus propiedades.

Para poder caracterizar la materia prima se utilizaron los siguientes métodos normalizados, cada uno por duplicado:

##### **a. Humedad:**

El material precursor fue fraccionado previamente con un tamaño menor a 20mm y se pesó 5 g. La muestra se colocó en la estufa a 110°C por un tiempo de 60min.

Inmediatamente después, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se introdujo en el desecador antes de ser pesado. El porcentaje de humedad se determinó mediante la siguiente fórmula. Los experimentos se realizaron por duplicado.

$$\text{Humedad (\%)} = \left[ \left( \frac{A - B}{A} \right) \right] \times 100$$

Donde:

A= peso del material precursor inicial, g,

B= peso del material precursor después, g.

**FIGURA 4.2**

**PROCEDIMIENTO PARA DETERMINACIÓN DE HÚMEDAD**

Material precursor fraccionado	Material precursor colocado en la estufa a 110 °C ± 5°C
	

Fuente: Elaboración propia

### **b. Material Volátil**

Para el análisis del contenido de material volátil se utilizó aproximadamente 4g de material precursor. La muestra fue colocada en una cápsula e introducida en un horno a 700°C durante 15min. El porcentaje de material volátil se calculó según la Norma ASTM D 3175 – 02, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Peso perdido (\%)} = \left[ \left( \frac{A - B}{A} \right) \right] \times 100$$

Donde:

A= peso de la muestra inicial, g

B= peso de la muestra luego de calcinar, g.

$$\text{Contenido de Material volátil (\%)} = C - D$$

Donde:

C= peso perdido, %,

D= humedad, %..

### **c. Cenizas**

Se utilizó aproximadamente 5g del material precursor fraccionado. El material precursor fue colocado en una cápsula de porcelana e introducido en una mufla a una temperatura de 700°C ± 5°C durante 60min. Finalizado el tiempo, la muestra fue retirada del horno y enfriada dentro de un desecador antes de ser pesada. De acuerdo con la norma de la American Society for Testing and Materials D 3174 – 04 (Norma ASTM D 3174 – 04), el porcentaje de ceniza se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Ceniza (\%)} = \left[ \left( \frac{A - B}{C} \right) \right] \times 100$$

Donde:

A= peso de la cápsula vacía, g

B= peso inicial del material precursor usado para el análisis, g.

C = peso inicial del material precursor usado para el análisis, g

**FIGURA 4.3**

**MATERIAL PRECURSOR COLOCADO A 700°C ± 5°C**



Fuente: Elaboración propia

#### **d. Carbón fijo**

Para el cálculo del carbón fijo se utilizó la siguiente ecuación.

$$CF = 100 - (HR + CENIZAS + MATERIALVOLATIL)$$

#### **Preparación del precursor semilla de aguaje**

Se preparó al precursor antes de empezar con el proceso de activación con la finalidad de eliminar toda impureza del mismo fruto y acondicionarlo al tamaño adecuado para que la impregnación con el agente activante sea eficiente. Para esto la preparación se realizó de la siguiente manera:

Los residuos lignocelulósicos de semilla de aguaje se sumergieron en una solución de NaOH 0,2M por un tiempo de tres horas para poder eliminar todos los restos impregnados del fruto. Luego se lavó las semillas con agua desionizada y se secó en la estufa a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por un tiempo de dos horas. Una vez seco se trituro las semillas en un molino de martillos hasta obtener un tamaño de partícula aproximadamente de 2.00 mm. Seguidamente se le agregó una solución NaOH 0,1M a las semillas trituradas para seguir eliminar gran parte del germen y el contenido de grasa presente, posteriormente se lavó con bastante agua desionizada; la semilla limpia fue nuevamente secado con la estufa a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por un tiempo de 3 horas. Luego fue enfriado en un desecador quedando listo para iniciar el proceso de activación.

**FIGURA 4.4**

**PREPARACIÓN DEL PRECURSOR SEMILLA DE AGUAJE**

Semilla de aguaje	Trituración de la semilla de aguaje
	
Semilla de aguaje de aproximadamente 2 mm	Semilla de aguaje sumergida en NaOH
	

Fuente. Elaboración propia

### **Preparación del carbón activado a partir de la semilla de aguaje**

El precursor limpio, se pesó y se impregno con  $H_3PO_4$  al 85% en la relación gramos de agente activante / gramos de precursor (0.75), es decir para 50 g. de precursor se impregno con una masa de 37.5g  $H_3PO_4$ , una vez mezclado el activante con el precursor se agregó 100mL de agua desionizada dejándose en contacto por un tiempo de 24 horas, posteriormente se llevó a la estufa por un tiempo de 3 horas a una temperatura de  $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$ .

Luego se calcino en mufla a las temperaturas de  $600^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$  por un tiempo de 1 hora, se enfrió en desecador, se lavó con agua desionizada hasta obtener un pH próximo a 5, seguidamente se secó en estufa a  $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$  por un tiempo de tres horas.

Finalmente, el carbón activado se llevó a un proceso de molienda con la ayuda de un mortero hasta obtener un grano de malla # 80 c, se almaceno en frasco de plástico, quedando listo para ser utilizado como adsorbente en la remoción de plomo y cromo en aguas contaminadas.

**FIGURA 4.5**

### **PREPARACIÓN DEL CARBON ACTIVADO A PARTIR DE LA SEMILLA DE AGUAJE**

Impregnacion de la semilla de aguaje con el agente activante	Secado del material impregnado
	

<p>Calcinamiento del material impregnado</p>	<p>Dsecado del carbon activado</p>
	
<p>Lavado del carbón activado</p>	<p>Molienda del carbón activado</p>
	

Fuente: Elaboración propia

### Preparación del agua contaminada con Cr y Pb

Se preparó dos muestras sintéticas simulando un agua contaminada con 2.5 ppm de Cr y Pb usando disoluciones a partir de soluciones stock preparadas utilizando Dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) y Nitrato de plomo ( $Pb(NO_3)_2$ ).

**FIGURA 4.6**

**PREPARACIÓN DE AGUA CONTAMINADA CON PLOMO Y CROMO**

Soluciones stock de plomo y cromo	Muestra sintética con Cr y Pb
 A photograph showing a laboratory bench with various glassware. On the left, a beaker contains an orange liquid. In the center, a 1000 ml volumetric flask is being filled with a clear liquid from a graduated cylinder. To the right, another beaker contains clear water. A white bottle with a blue cap is visible in the background.	 A photograph of a single beaker containing a yellowish-green liquid. The beaker has a small white label with handwritten text that appears to read 'Pb 500' and 'Cr 500'.

Fuente: Elaboración propia

**Experimento de adsorción de plomo y cromo en agua contaminada con diferentes cantidades de masa de CA**

Para el experimento de adsorción de los metales Pb y Cr se realizó en un sistema Batch, para esto se utilizó la prueba de jarras, se puso en contacto 500 ml de cada muestra sintética con diferentes cantidades de masa de carbón activado (0.25 g, 0.5 g, 0.75 g, 1 g, 1.25 g, 1.5 g) a temperatura ambiente (20°C), seguidamente se programó la prueba de jarras por un tiempo de 3 horas a 300 rpm, verificando que tenga un pH entre 4 y 5. Al terminar las 3 horas del proceso de adsorción las fases fueron separadas por filtración, posteriormente se analizó las concentraciones de Plomo y Cromo en las muestras remanentes.

**TABLA 4.2**

**CANTIDADES DE MASA DE CARBON ACTIVADO**

Masa de carbón activado (g)	Réplica 1	Réplica 2
0	M1	M2
0.25	CA_0.25_M1	CA_0.25_M2
0.5	CA_0.5_M1	CA_0.5_M2
0.75	CA_0.75_M1	CA_0.75_M2
1	CA_1.0_M1	CA_1.0_M2
1.25	CA_1.25_M1	CA_1.25_M2
1.5	CA_1.5_M1	CA_1.5_M2

Fuente: Elaboración propia

**FIGURA 4.7**

**CANTIDADES DE MASA DE CARBON ACTIVADO**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA 4.8**  
**PRUEBA DE JARRAS**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA 4.9**  
**SEPARACIÓN DE FASES POR FILTRACIÓN**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA 4.10**

**MUESTRAS DESPUÉS DE LA ADSORCIÓN**



Fuente: Elaboración propia

**Determinación del % de remoción del Pb y Cr.**

Para determinar el porcentaje de remoción se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Remoción} = \frac{(C_o - C_f)}{C_o} \times 100$$

Donde:

$C_o$  = Concentración inicial mg/L

$C_f$  = Concentración final mg/L.

**4.5. Procesamiento estadístico y análisis de datos**

El procesamiento estadístico se realizó con el software Minitab y programa Microsoft Excel, donde los datos se trabajaron mediante un análisis de varianza de dos factores (ANOVA) con dos replicas por grupo, se analizó la hipótesis por cada factor y por interacción. Sin

embargo, con el análisis de varianza, no se puede encontrar los mejores tratamientos para la remoción de plomo y cromo, para ello se necesita realizar un procedimiento adicional llamado prueba de Tukey, en la cual se calcula una diferencia crítica para realizar comparaciones entre los resultados medios.

## CAPITULO V:

### RESULTADOS

Luego de haber realizado las pruebas por duplicado de caracterización del precursor de semilla de aguaje (humedad, material volátil, cenizas y carbón fijo) y las pruebas experimentales de adsorción en el laboratorio de fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran a continuación:

#### 5.1. Resultados de la caracterización del precursor

- **Humedad:**

Los resultados del análisis de humedad del precursor semilla de aguaje son:

**TABLA 5.1**

#### RESULTADOS ANÁLISIS DE HUMEDAD DEL PRECURSOR

Análisis de Humedad	<i>Humedad</i>
	%
Análisis 1	8,691
Análisis 2	8,651

Fuente: Elaboración propia

- **Material Volátil**

Los resultados de análisis de material volátil precursor semilla de aguaje son:

**TABLA 5.2**

**RESULTADOS ANÁLISIS DE MATERIAL VOLÁTIL DEL PRECURSOR**

Análisis de Material Volátil	Contenido de Material Volátil
	%
Análisis 1	79,632
Análisis 2	79,562

Fuente: Elaboración propia

- **Cenizas**

Los resultados de análisis de cenizas del precursor semilla de aguaje son:

**TABLA 5.3**

**RESULTADOS ANÁLISIS DE CENIZAS DEL PRECURSOR**

Cenizas	Contenido de Material Volátil
	(%)
Análisis 1	1,797
Análisis 2	1,627

Fuente: Elaboración propia

- **Carbón fijo**

Los resultados de análisis de carbón fijo del precursor semilla de aguaje son:

**TABLA 5.4**

**RESULTADOS ANÁLISIS DE CARBÓN FIJO DEL PRECURSOR**

Carbón Fijo	Carbón fijo
	%
Análisis 1	9,881
Análisis 2	10,160

Fuente: Elaboración propia

**TABLA 5.5**

**ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL PRECURSOR SEMILLA DE AGUAJE**

Parámetros	N	Error estándar de la media	Media	Desv.Est.	Min.	Mediana	Max.
Carbón fijo	2	10,021	0,139	0,197	9,881	10,021	10,160
Cenizas	2	1,7120	0,085	0,120	1,627	1,7120	1,7970
Humedad	2	8,6710	0,020	0,028	8,651	8,6710	8,6910
Material Volátil	2	79,597	0,035	0,0495	79,562	79,597	79,632

Fuente: Elaboración propia

Como se hizo las pruebas de caracterización de precursor por duplicado se evalúa sus estadísticas descriptivas obteniendo los siguientes resultados por media muestral en cada parámetro:

**TABLA 5.6**  
**RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL PRECURSOR**  
**SEMILLA DE AGUAJE**

Parámetros	Resultados (%)
Carbón fijo	10,021
Cenizas	1,7120
Humedad	8,6710
Material Volátil	79,597

**Fuente: Elaboración propia**

### **5.2. Resultados del % de remoción de Pb y Cr.**

Para poder calcular el porcentaje de remoción de Pb y Cr primero se debe saber las concentraciones iniciales (sin tratamiento es decir masa de carbón activado cero) y las finales, este último que se obtienen después del proceso de adsorción con las diferentes masas de carbón activado.

Entonces antes de someter el agua contaminada al proceso de adsorción, se analizó la concentración inicial de Pb y Cr en cada muestra en un laboratorio externo acreditado Deltalab, donde se obtuvieron los siguientes resultados.

**TABLA 5.7**

**RESULTADOS CONCENTRACIÓN INICIAL DE PLOMO**

Masa de carbón activado (g)	Código Réplica 1	Concentración de Plomo (mg/L)	Concentración de Cromo (mg/L)
0	M1	2.47	2,57

Fuente: Resultados de Informe de Ensayo N° 1904008

**TABLA 5.8**

**RESULTADOS CONCENTRACIÓN INICIAL DE CROMO**

Masa de carbón activado (g)	Código Réplica 2	Concentración de Plomo (mg/L)	Concentración de Cromo (mg/L)
0	M2	2.39	2,32

Fuente: Resultados de Informe de Ensayo N° 1904008

Luego de haber realizado el proceso de adsorción con la prueba de jarras y la separación de fases en el laboratorio de fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, las muestras de agua tratada según la masa de carbón activado que se utilizó en cada experimento se mandaron a analizar a un laboratorio acreditado *Deltalab*, obteniendo los siguientes resultados de concentración de Pb y Cr, detallados en la siguiente tabla:

**TABLA 5.9****RESULTADOS CONCENTRACIÓN FINAL DE PLOMO Y CROMO  
EN RÉPLICA #1**

Masa de carbón activado (g)	Código Réplica 1	Concentración de Plomo (mg/L)	Concentración de Cromo (mg/L)
0.25	CA_0.25_M1	0,592	0,714
0.5	CA_0.5_M1	0,308	0,735
0.75	CA_0.75_M1	0,245	0,906
1	CA_1.0_M1	0,2	1,013
1.25	CA_1.25_M1	0,155	1,065
1.5	CA_1.5_M1	0,064	1,138

Fuente: Resultados de Informe de Ensayo N° 1904008

**TABLA 5.10****RESULTADOS CONCENTRACIÓN FINAL DE PLOMO Y CROMO  
EN RÉPLICA #2**

Masa de carbón activado (g)	Código Réplica 2	Concentración de Plomo $C_f$ (mg/L)	Concentración de Cromo $C_f$ (mg/L)
0.25	CA_0.25_M2	0,495	0,641
0.5	CA_0.5_M2	0,168	0,719
0.75	CA_0.75_M2	0,123	0,881
1	CA_1.0_M2	0,105	0,933
1.25	CA_1.25_M2	0,079	0,963
1.5	CA_1.5_M2	0,075	0,976

Fuente: Resultados de Informe de Ensayo N° 1904008

Ordenando los resultados de las concentraciones de los metales se construye las siguientes tablas:

**TABLA 5.11**

**RESULTADOS CONCENTRACIÓN INICIAL DE PLOMO Y CROMO**

Masa del carbón activado (g)	Concentración inicial del Plomo $C_o$ (mg/L)		Concentración inicial del Cromo $C_o$ (mg/L)	
	Réplica #1	Réplica #2	Réplica #1	Réplica #2
0	2.47	2.39	2,57	2,32

Fuente: Resultados de Informe de Ensayo N° 1904008

**TABLA 5.12**

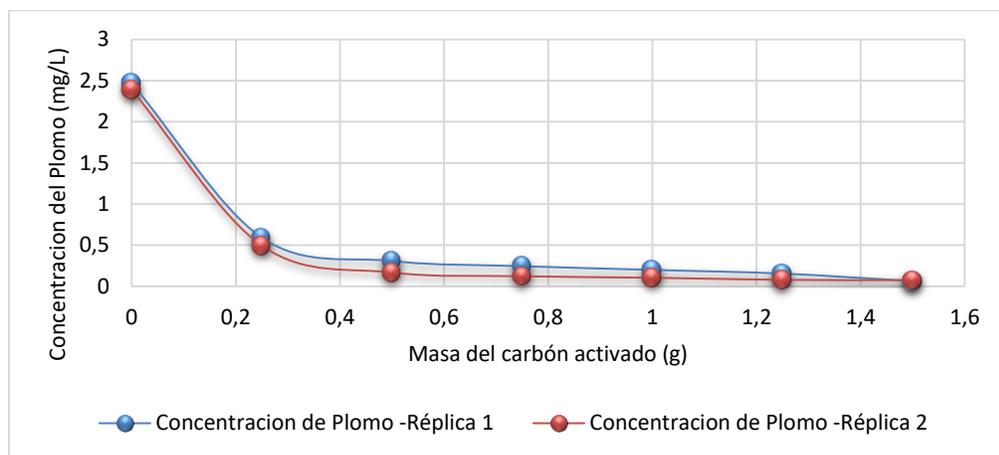
**RESULTADOS CONCENTRACIÓN FINAL DE PLOMO Y CROMO**

Masa de carbón activado (g)	Concentración final de Plomo $C_f$ (mg/L)		Concentración final de Cromo $C_f$ (mg/L)	
	Replica #1	Replica #2	Replica #1	Replica #2
0,25	0,592	0,495	0,641	0,641
0,5	0,308	0,168	0,719	0,719
0,75	0,245	0,123	0,881	0,881
1	0,2	0,105	0,933	0,933
1,25	0,155	0,079	0,963	0,963
1,5	0,064	0,075	0,976	0,976

Fuente: Resultados de Informe de Ensayo N° 1904008

**FIGURA 5.1**

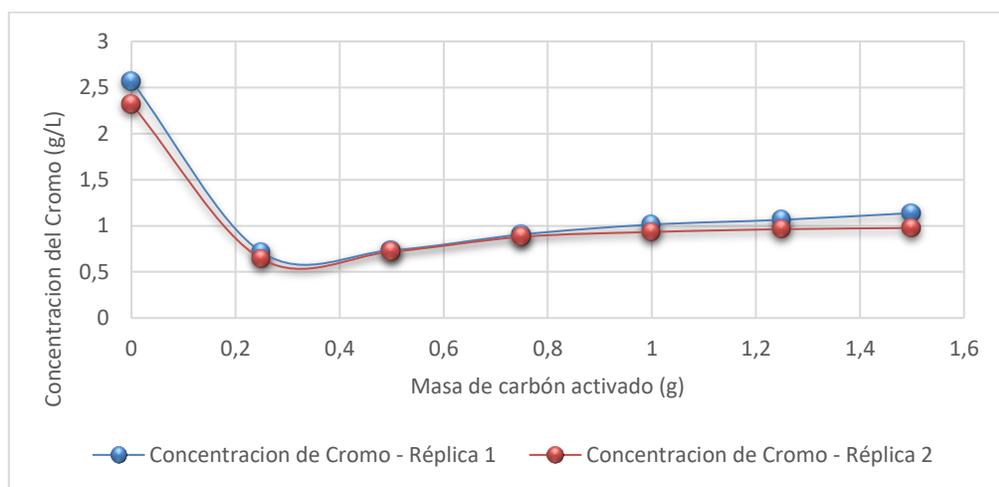
**COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO CON RESPECTO A LA MASA DE CARBÓN ACTIVADO**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA 5.2**

**COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CROMO CON RESPECTO A LA MASA DE CARBÓN ACTIVADO**



Fuente: Elaboración propia

Para establecer la tabla de estadística descriptiva, en el tratamiento para 0 g de carbón activado se consideró  $C_i = C_f$ .

**TABLA 5.13**

**ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE CONCENTRACIÓN FINAL DE Pb  
EN AGUA CONTAMINADA**

Masa de carbón activado (g)	N	Error estándar de la media	Media	Desv.Est.	Min.	Mediana	Max.
0	2	0,0400	2,4300	0,0566	2,3900	2,4300	2,4700
0,25	2	0,0485	0,5435	0,0686	0,4950	0,5435	0,5920
0,5	2	0,0700	0,2380	0,0990	0,1680	0,2380	0,3080
0,75	2	0,0610	0,1840	0,0863	0,1230	0,1840	0,2450
1	2	0,0475	0,1525	0,0672	0,1050	0,1525	0,2000
1,25	2	0,0380	0,1170	0,0537	0,0790	0,1170	0,1550
1,5	2	0,0055	0,0695	0,0566	2,3900	2,4300	2,4700

Fuente: Elaboración propia

**TABLA 5.14**

**ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE CONCENTRACIÓN FINAL DE Cr  
EN AGUA CONTAMINADA**

Masa de carbón activado (g)	N	Error estándar de la media	Media	Desv.Est.	Min.	Mediana	Max.
0	2	0,125	2,445	0,177	2,320	2,445	2,570
0,25	2	0,0365	0,6775	0,0516	0,6410	0,6775	0,7140
0,5	2	0,0080	0,72700	0,0113	0,7190	0,72700	0,73500
0,75	2	0,0125	0,8935	0,0177	0,8810	0,8935	0,9060
1	2	0,0400	0,9730	0,0566	0,9330	0,9730	1,0130
1,25	2	0,0510	1,0140	0,0721	0,9630	1,0140	1,0650
0	2	0,0810	1,0570	0,1146	0,9760	1,0570	1,1380

Fuente: Elaboración propia

Como se hizo el análisis por duplicado, asumiendo muestras sintéticas homogéneas se evalúa los resultados de concentración de plomo y cromo por media muestral obteniendo los siguientes valores:

**TABLA 5.15**

**CONCENTRACIONES FINAL MEDIAS DE PLOMO Y CROMO**

<b>Masa de carbón activado (g)</b>	<b>Concentración de Plomo <math>C_f</math> (mg/L)</b>	<b>Concentración de Cromo <math>C_f</math> (mg/L)</b>
0	2,4300	2,445
0,25	0,5435	0,6775
0,5	0,2380	0,72700
0,75	0,1840	0,8935
1	0,1525	0,9730
1,25	0,1170	1,0140
1,5	0,06950	1,0570

Fuente: Elaboración propia

Luego de obtener los resultados de concentración inicial y final de los metales se obtienen los resultados del porcentaje de remoción de Pb y Cr según la siguiente formula:

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

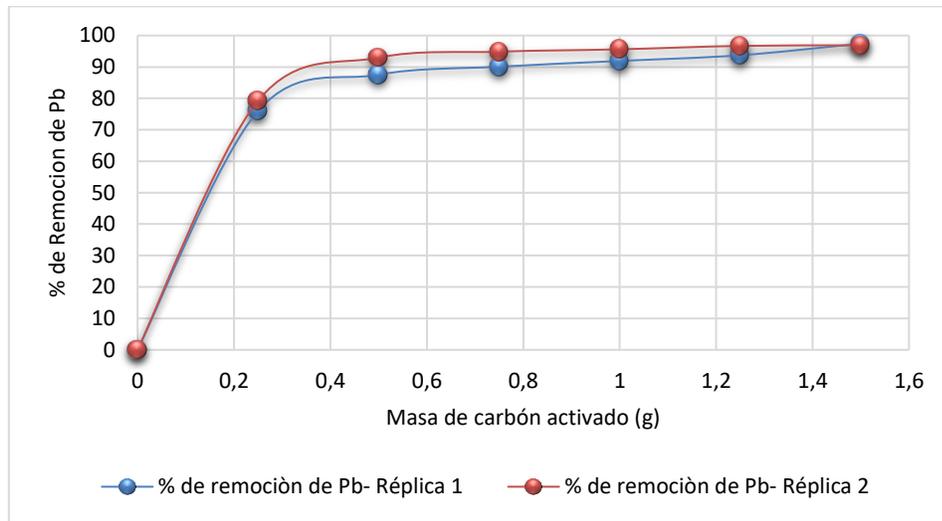
**TABLA 5.16****RESULTADOS DEL % DE REMOCIÓN DE PLOMO Y CROMO**

Masa de carbón activado (g)	% Porcentaje de Remoción de Plomo		% Porcentaje de Remoción de Cromo	
	Replica #1	Replica #2	Replica #1	Replica #2
0	0	0	0	0
0,25	76.032	79.289	72,218	72,371
0,5	87.530	92.971	71,401	69,009
0,75	90.081	94.854	64,747	62,026
1	91.903	95.607	60,584	59,784
1,25	93.725	96.695	58,560	58,491
1,5	97.409	96.862	55,720	57,931

**Fuente: Elaboración propia**

**FIGURA 5.3**

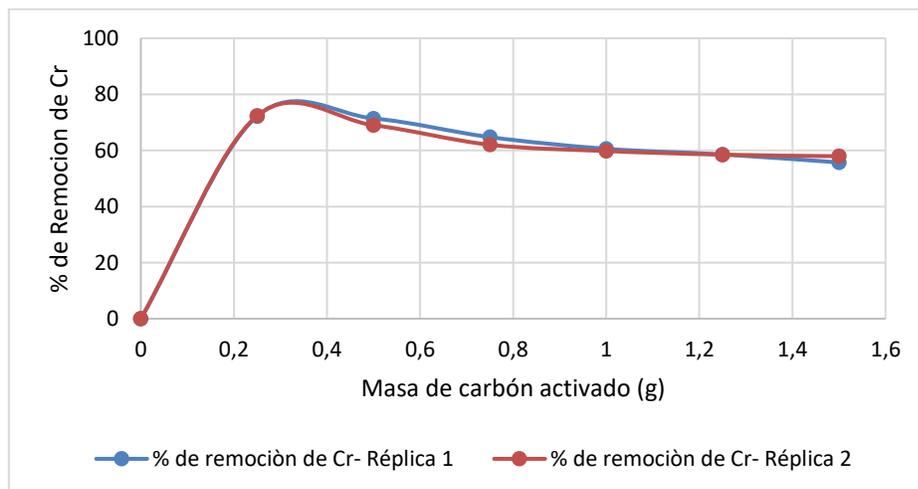
**COMPORTAMIENTO DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE Pb CON RESPECTO A LA MASA DEL CARBÓN ACTIVADO**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA 5.4**

**COMPORTAMIENTO DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE Cr CON RESPECTO A LA MASA DEL CARBÓN ACTIVADO**



Fuente: Elaboración propia

**TABLA 5.17**

**ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE PORCENTAJE DE REMOCIÓN  
DE Pb EN AGUA CONTAMINADA**

Masa de carbón activado (d)	N	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Min.	Mediana	Max.
0	2	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,25	2	77,66	1,63	2,30	76,03	77,66	79,29
0,5	2	90,25	2,72	3,85	87,53	90,25	92,97
0,75	2	92,47	2,39	3,38	90,08	92,47	94,85
1	2	93,75	1,85	2,62	91,90	93,75	95,61
1,25	2	95,21	1,48	2,10	93,72	95,21	96,69
1,5	2	97,136	0,274	0,387	96,862	97,136	97,409

Fuente: Elaboración propia

**TABLA 5.18**

**ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE PORCENTAJE DE REMOCIÓN  
DE Cr EN AGUA CONTAMINADA**

Masa de carbón activado (d)	N	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Min.	Mediana	Max.
0	2	0,000	0,00	0,0000	0,0000	0,000	0,0000
0,25	2	72,294	0,0763	0,108	72,218	72,294	72,371
0,5	2	70,20	1,20	1,69	69,01	70,20	71,40
0,75	2	63,39	1,36	1,92	62,03	63,39	64,75
1	2	60,184	0,40	0,565	59,784	60,184	60,584
1,25	2	58,526	0,0343	0,0485	58,491	58,526	58,560
1,5	2	56,83	1,11	1,56	55,72	56,83	57,93

Fuente: Elaboración propia

Como se hizo el análisis por duplicado, asumiendo muestras sintéticas homogéneas se evalúa los resultados por media muestral obteniendo los siguientes valores de % de remoción:

**TABLA 5.19****% DE REMOCIÓN PARA PLOMO Y CROMO POR MEDIA MUESTRAL**

<b>Masa de Carbón activado</b>	<b>% Remoción media del Plomo</b>	<b>% Remoción media del Cromo</b>
0	0,000	0,000
0,25	77.661	72,294
0,5	90.251	70,205
0,75	92.467	63,386
1	93.755	60,184
1,25	95.210	58,526
1,5	97.135	56,825

**Fuente: Elaboración propia**

## **CAPITULO VI:**

### **DISCUSION DE RESULTADOS**

En este capítulo se analizará los resultados de la caracterización de precursor y el porcentaje de remoción del precursor, con las cuales contrastaremos nuestra hipótesis formulada que es **“El carbón activado obtenido de la semilla de aguaje adsorberá plomo y cromo en agua contaminada”**. También se contrastará estadísticamente la hipótesis con los resultados y por último se contrastará los resultados con otros estudios similares.

#### **6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados**

##### **6.1.1. Caracterización del precursor semilla de aguaje**

Para la producción de un carbón activado se utiliza un material orgánico o lignocelulosico que contenga un alto contenido de carbón fijo, un alto contenido de material volátil y que tenga un bajo contenido de cenizas. Para nuestra investigación se seleccionó el precursor semilla de aguaje la cual se caracterizó obteniendo los resultados promedios mostrados en la Tabla 5.6, donde se observa que la cantidad de carbón fijo es 10,021 %, de material volátil es 79,597% y de cenizas es 1,712% resultados que son semejantes a los valores de otros materiales lignocelulósicos que también se utilizan para la elaboración de carbón activado como se muestra en la Tabla 6.1 donde se han demostrado que éstas presentan buenas propiedades para la activación. Lo que nos indica que el precursor de semilla de aguaje que se usó para esta investigación es adecuado para la elaboración de carbón activado.

**TABLA 6.1**

**CONTRASTACIÓN DE CARACTERIZACIÓN DE LA SEMILLA DE AGUAJE CON OTROS RESULTADOS SIMILARES**

<b>Parámetros</b>	<b>Semilla de aguaje</b>	<b>Semillas de Aceituna (Valencia, 2012)</b>	<b>Cascara de coco (Luna, Gonzales, Gordon, &amp; Martín, 2007)</b>	<b>Semilla de Níspero (Delgadillo, 2009)</b>
Carbón fijo	10,021	<b>5.47</b>	<b>21.5</b>	<b>15.28</b>
Cenizas	1,7120	<b>0.73</b>	<b>1.3</b>	<b>0.46</b>
Humedad	8,6710	<b>12.9</b>	<b>8.5</b>	<b>2.93</b>
Material Volátil	79,597	<b>80.9</b>	<b>68.70</b>	<b>81.33</b>

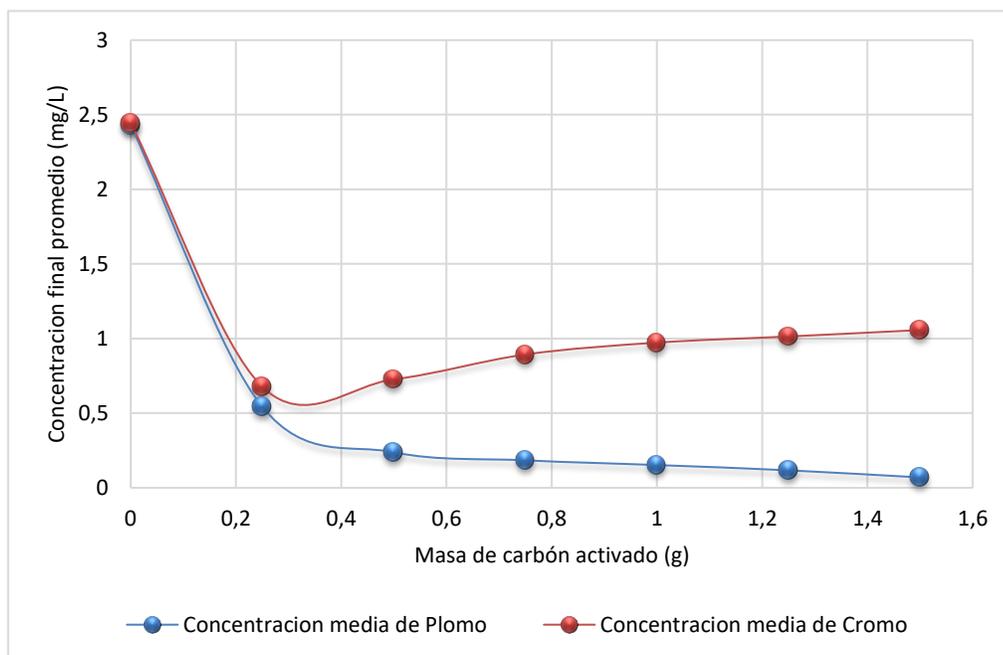
Fuente: Elaboración propia

**6.1.2. Porcentaje de remoción de plomo y cromo**

Para poder analizar el porcentaje de remoción de Pb y Cr, primero analizaremos los resultados promedio de las concentraciones finales, como se realizó el experimento por duplicado, podemos observar que según la estadística descriptiva de la concentración final, se tiene una desviación estándar menor a 0.2 en todos los datos analizados, esto nos indica que nuestros resultados tiene una mínima dispersión de datos con respecto a su media, lo que hace que nuestros resultados tenga mayor homogeneidad. Las concentraciones medias de los metales se representan en la siguiente figura:

**FIGURA 6.1**

**RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN FINAL MEDIA DE PB Y CR**



**Fuente: Elaboración propia**

En la figura 6.1 podemos observar que la concentración del plomo disminuye según se va aumentando la masa de carbón activado, cuando la masa de este adsorbente es cero, es decir, que la muestra no ha tenido ningún tratamiento, la concentración del plomo es 2.43 mg/L y cuando a la muestra se le aplica el tratamiento con una masa de carbón activado 1.5 g se logra alcanzar la concentración de 0.0695 mg/L, lo establecemos como la concentración mínima, dentro de nuestro estudio con los diferentes tratamientos que vienen a ser las diferentes masas de carbón activado.

Con respecto a la concentración del cromo, sucede lo contrario a la tendencia de disminución de la concentración del plomo, se puede observar que la concentración del cromo ha disminuido hasta 0.6775

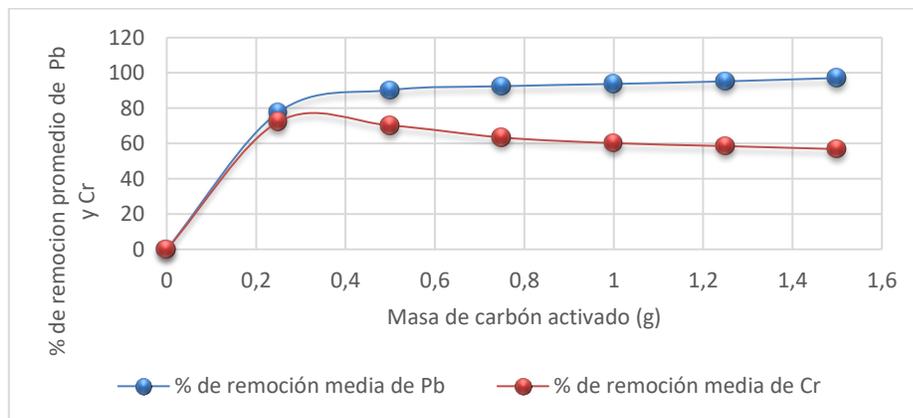
mg/L cuando se tiene una masa de 0.25 g, pero luego en cuanto se va aumentando la masa del carbón activado, la concentración de cromo empieza a aumentar, llegando hasta 1.05 mg/L cuando se le ha aplicado una masa de carbón activado de 1.5 g. Sin embargo, en ambos casos las concentraciones de plomo y cromo han disminuido con respecto a la concentración inicial.

A partir de los datos de concentraciones de plomo y cromo, se calculó los porcentajes de remoción de Pb y Cr

Según los resultados de la figura 6.2 observamos que el porcentaje de remoción del plomo va ascendiendo según se va incrementando la masa del carbón activado, llegando a adsorber un 97.14% para una masa de carbón activado de 1.5 g, siendo este la masa óptima para la remoción del plomo. Para la remoción del cromo se puede observar que su porcentaje de remoción aumenta hasta 72% para una masa de carbón activado de 0.25 g, siendo este la masa óptima para la remoción de cromo, puesto que luego empieza a disminuir su porcentaje de remoción cuando se va incrementando la masa del carbón activado.

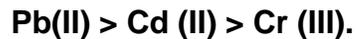
**FIGURA 6.2**

**PORCENTAJE DE REMOCIÓN PROMEDIO DE Cr Y Pb**



**Fuente: Elaboración propia**

Según el estudio *Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje*, el orden de adsorción de metales sobre el carbón activado es el siguiente:



Esto concuerda con el tamaño relativo de los respectivos iones solvatados, es decir que el ion en la solución está complejoado por moléculas del solvente. El Cr por su mayor carga y menor radio, posee una mayor capacidad de hidratación y, por ende, un mayor radio solvatado, lo que dificulta su retención en la superficie de carbón activado y explica su menor adsorción en relación con el plomo. Esto significa que el carbón activado cuando empieza el proceso de adsorción en una muestra donde están los dos metales, los primeros iones que adsorberá son los iones de Pb y luego en la superficie del carbón activado que va quedando se va adsorbiendo el metal cromo.

### **6.1.3. Prueba de Tukey para calcular la masa óptima para la remoción de Plomo y Cromo**

Para poder escoger el tratamiento óptimo, es decir, la masa optima de carbón activado para la remoción de Plomo y Cromo teniendo como referencia los 7 tratamientos analizados, se realizó la prueba de comparaciones múltiples, prueba de Tukey.

Donde:

Hipotesis Nula

$H_0: \mu_i = \mu_j$  para  $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$  y  $j = 1, 2$

Hipotesis Alternativa

$H_1: \mu_i \neq \mu_j$  para  $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$  y  $j = 1, 2$

**TABLA 6.2****PRUEBA DE TUKEY**

Tratamiento		N	Media	Agrupación	
3	0.5g CA	2	80,2280	A	
4	0.75g CA	2	77,9265	A	
7	1.5g CA	2	76,9800	A	
5	1g CA	2	76,9695	A	
6	1.25g CA	2	76,8680	A	
2	0.25g CA	2	74,9775	A	
1	0g CA	2	0,000		B

**Fuente: Propia**

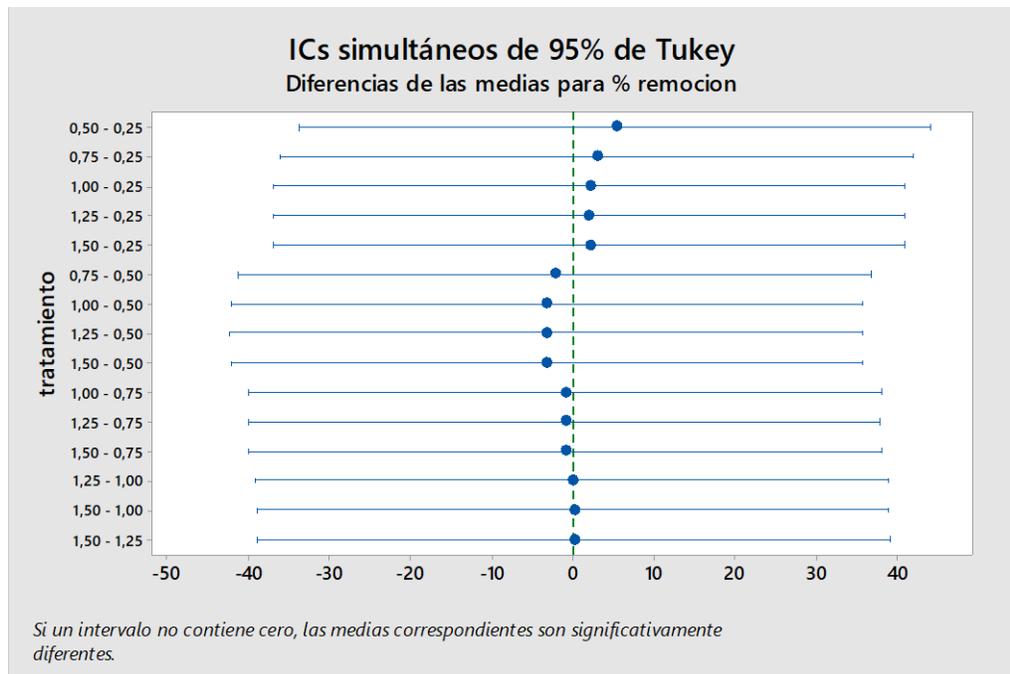
*\*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Se puede observar en la prueba de Tukey con todos los tratamientos que la media que no comparte una letra es cuando se usa 0g de carbón activado, es decir cuando no se le ha agregado el adsorbente a la muestra contaminada por eso es significativamente diferente, sin embargo, como nosotros queremos saber cuál de todas las masas es la más óptima para remover plomo y cromo, dentro de las medias que comparten la misma letra, la de mayor media es el tratamiento N° 3, con 0.5g de carbón activado. Se puede observar en la figura 6.3 Prueba de Tukey, que los intervalos que no contiene cero y están más alejados del cero, las medias son significativamente diferentes y esto ocurre para los tratamientos N° 2 y N°3, es decir para 0.25g y 0.5g. Sin embargo, en la

tabla 6.2 de Tukey podemos ver se obtiene una media de porcentaje de remoción de metales Pb y Cr de 80.22 que un tratamiento con 0.5 g de carbón activado, masa de adsorbente que se considerará la óptima para esta investigación.

**FIGURA 6.3**

**PRUEBA DE TUKEY**



Fuente: Elaboración propia

**6.2. Contrastación estadística de la hipótesis con los resultados**

Para el procesamiento estadísticos se realizó análisis de varianza de dos factores (ANOVA) con dos replicas por grupo, analizando hipótesis por cada factor y por interacción, para esto se utilizó la función de análisis de Excel y la función de análisis varianza de dos factores con varias muestras por grupo ya que se hicieron dos replicas, con este

análisis se determina si los diferentes tratamientos, bloques e interacción muestran diferencias significativas, para el contraste de las hipótesis planteadas se analizará el valor F. que, si cumple con la condición de ser mayor o igual que el F crítico entonces la hipótesis nula será eventualmente rechazada.

A continuación, los resultados del análisis de varianza en Excel a un nivel de significancia del 0.05:

**TABLA 6.3**

**ANÁLISIS DE VARIANZA UN NIVEL DE SIGNIFICANCIA DEL 0.05**

<b>RESUMEN</b>	<b>Pb</b>	<b>Cr</b>	<b>Total</b>
<b>T1 - 0g de CA</b>			
Cuenta	2	2	4
Suma	0	0	0
Promedio	0	0	0
Varianza	0	0	0
<b>T2 - 0.25g de CA</b>			
Cuenta	2	2	4
Suma	155,321	144,589	299,91
Promedio	77,6605	72,2945	74,9775
Varianza	5,3040245	0,0117045	11,369895
<b>T3 - 0.5g de CA</b>			
Cuenta	2	2	4
Suma	180,501	140,41	320,911
Promedio	90,2505	70,205	80,22775
Varianza	14,8022405	2,860832	139,8283809
<b>T4 - 0.75g de CA</b>			
Cuenta	2	2	4
Suma	184,935	126,773	311,708

Promedio	92,4675	63,3865	77,927
Varianza	11,3907645	3,7019205	286,9324153
<b>T5 – 1g de CA</b>			
Cuenta	2	2	4
Suma	187,51	120,368	307,878
Promedio	93,755	60,184	76,9695
Varianza	6,859808	0,32	378,0639497
<b>T6 – 1.25g de CA</b>			
Cuenta	2	2	4
Suma	190,42	117,051	307,471
Promedio	95,21	58,5255	76,86775
Varianza	4,41045	0,0023805	450,0551236
<b>T7 – 1.25g de CA</b>			
Cuenta	2	2	4
Suma	194,271	113,651	307,922
Promedio	97,1355	56,8255	76,9805
Varianza	0,1496045	2,4442605	542,496655
<b>Total</b>			
Cuenta	14	14	
Suma	1092,958	762,842	
Promedio	78,06842857	54,48871429	
Varianza	1134,691649	564,7848079	

**Fuente:** Elaboración propia

**TABLA 6.4**  
**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE VARIANZA**

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamiento	20558,975	6	3426,495	917,963	2,41387E-17	2,847
Bloque	3892,020	1	3892,020	1042,678	1,50993E-14	4,600
Interacción	1481,960	6	246,993	66,169	1,80254E-09	2,847
Repetición	3242,257	1	1762,842	102,169	1,80254E-12	3,874
<b>Total</b>	<b>29175,212</b>	<b>14</b>				

**Fuente:** Elaboración propia

Contrastando estadísticamente nuestra hipótesis general: “El carbón activado obtenido de la semilla de aguaje adsorberá plomo y cromo en agua contaminada”, dentro de nuestro diseño experimental de bloques aleatorizados, tenemos las siguientes contrastaciones:

### 6.2.1 Contrastación de hipótesis para el tratamiento:

Las hipótesis que queremos probar son las siguientes:

**Hipótesis Nula:** El carbón activado de semilla de aguaje no adsorben los metales plomo y cromo en agua contaminada.

$H_0: \alpha_i = 0$  para  $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$

**Hipótesis Alternativa:** El carbón activado de semilla de aguaje adsorben los metales plomo y cromo en agua contaminada.

$H_1: \alpha_i \neq 0$  para  $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$

Se rechazará la hipótesis nula para los tratamientos si el  $F_{\text{tratamiento}}$  es igual o excede al  $F_{\text{critico}}$ .

$$\begin{aligned} F_{\text{tratamiento}} &\geq F_{\text{critico}}. \\ 917,963 &\geq 2,847 \end{aligned}$$

Como se cumple que el  $F_{\text{tratamiento}}$  es mayor que  $F_{\text{critico}}$ , se rechaza la hipótesis nula, esto quiere decir que se acepta la hipótesis alternativa en otras palabras, las diferencias entre las medias obtenidas para los 7 tratamientos son significativas y el carbón activado de semilla de aguaje adsorben los metales plomo y cromo en agua contaminada.

### **6.2.2 Contrastación de hipótesis para el bloque:**

Hipótesis Nula

$$H_0: \beta_j = 0 \text{ para } j = 1, 2$$

Hipótesis Alternativa

$$H_1: \beta_j \neq 0 \text{ para } j = 1, 2$$

Se rechazará la hipótesis nula para los tratamientos si el  $F_{\text{bloque}}$  es igual o excede al  $F_{\text{critico}}$ .

$$\begin{aligned} F_{\text{bloque}} &\geq F_{\text{critico}}. \\ 1042,678 &\geq 4,600 \end{aligned}$$

Como se cumple que el  $F_{\text{bloque}}$  es mayor que  $F_{\text{critico}}$ , se rechaza la hipótesis nula, esto quiere decir que se acepta la hipótesis alternativa en otras palabras, las diferencias entre las medias obtenidas para los 2 bloques son significativas.

### **6.2.3 Contrastación de hipótesis para la interacción:**

Hipótesis Nula

$$H_0: (\alpha\beta)_{ij} = 0 \text{ para } i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \text{ y } j = 1, 2$$

Hipótesis Alternativa

$H_1 : (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$  para  $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$  y  $j = 1, 2$

Se rechazará la hipótesis nula para los tratamientos si el  $F_{interaccion}$  es igual o excede al  $F_{critico}$ .

$$\begin{aligned} F_{interaccion} &\geq F_{critico}. \\ 66,169 &\geq 2,847 \end{aligned}$$

Como se cumple que el  $F_{interaccion}$  es mayor que  $F_{critico}$ , se rechaza la hipótesis nula, esto quiere decir que se acepta la hipótesis alternativa en otras palabras, es decir existe una interacción entre los tratamientos y los bloques.

### 6.3. Contrastación de resultados con estudios similares

El precursor lignocelulósico que se usó para esta investigación fue el de la semilla de aguaje, así como este precursor existen investigaciones de la elaboración de carbón activado a partir de diferentes precursores y para adsorber diferentes tipos de metales, demostrando sus diferentes capacidades de adsorción y sus porcentajes de remoción. La capacidad de adsorción en cada precursor dependerá mucho del activante que se use y de la muestra contaminada que se analice para el experimento, en este caso vamos a comparar nuestros resultados de % de remoción de metales con los siguientes estudios.

En el 2014 se publicó la investigación “**Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje**” donde se obtuvo carbón activado de la semilla de aguaje a partir de activación térmica, en esta investigación se analizó la capacidad de adsorción pero a partir de isothermas graficadas con diferentes concentraciones iniciales del metal contaminante empleando

Modelo de Langmuir y Modelo de Freundlich, en todos los casos se obtuvo que se adsorbió cromo y plomo.

Otra investigación como ***Adsorption capacity of activated carbon on total chromium from tannery waste publicada en el 2013***, donde se utilizó como precursor a los desechos generados al extraer el jugo de caña de azúcar, la cascara de legumbre del algarrobo para la remoción de cromo total en aguas residuales de una tenería (taller donde se curten y trabajan pieles) donde se obtuvo los siguientes porcentajes de remoción: remociones de 71,44% con carbón activado del Bagazo , y de 60,08 % de remoción con carbón activado de algarrobo.

En la tesis ***Adsorción de Cr (VI) utilizando carbón activado a partir de cáscara de naranja, publicada en el 2012***, dentro de sus resultados obtuvieron un porcentaje de remoción de Cr (VI) hasta un 98%, donde el precursor cascara de naranja también fue activado con  $H_3PO_4$ .

En el 2017 un estudio similar fue presentado en la tesis ***Adsorción de metales pesados (Pb y As) con carbón activado a partir de semillas de eucalipto*** donde la metodología utilizada para la elaboración de carbón activado fue por activación química usando como precursor, semillas de eucalipto y como agentes activantes ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) para la adsorción de plomo y cloruro férrico ( $FeCl_3$ ) para la adsorción de arsénico, donde los ensayos de adsorción se realizaron utilizando 2 g de carbón activado que se pusieron en contacto con 500 ml de solución acuosa de plomo y arsénico removiendo el 98,7 % Pb(II) y el 70,3% de As(V).

## **CAPITULO VII:**

### **CONCLUSIONES**

1. Se demostró que el carbón activado obtenido a partir de la semilla de aguaje adsorbe plomo y cromo en aguas contaminadas, concluyendo que nuestro carbón tiene mayor afinidad con el plomo presente en una muestra contaminada con estos dos metales, esto se debe a las características del radio solvatado de cada metal, la cual causa que los iones de plomo sean los primeros en ser adsorbidos y por ende se reflejará en un mayor porcentaje de remoción en la muestra experimentada. El carbón activado obtenido resultó ser adecuado para nuestro estudio, debido a las propiedades como su bajo contenido de cenizas (1.712 %), alto contenido de volátiles (79.597 %) y carbón fijo (10.021%).
2. Se determinó que la masa óptima de carbón activado para adsorción de plomo y cromo en aguas contaminadas es de 0.5 g, con la cual se obtiene un porcentaje promedio de remoción 80.22%.
3. Se determinó que la masa óptima de carbón activado para adsorción de plomo en aguas contaminadas es de 1.5 g, con la cual se obtenía un porcentaje de remoción de 97%.
4. Se determinó que la masa óptima de carbón activado para adsorción de cromo en aguas contaminadas es de 0.25 g, con la cual se obtenía un porcentaje de remoción de 72%.

## **CAPITULO VIII:**

### **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda un posterior análisis con cantidades menores del carbón activado elaborado, en esta investigación usamos tratamientos que fueron con 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25 y 1.5 g. por cada 500ml de muestra de agua contaminada.
2. Se recomienda simular muestras contaminadas con plomo y cromo por separado, para obtener la masa óptima en el caso de aguas que solo estén contaminadas por uno de estos dos metales.
3. Se recomienda un estudio del diseño para el tratamiento a grandes masas con el producto elaborado en aguas contaminadas con plomo y cromo, producto de industrias de pintura, por ejemplo.
4. Se recomienda una caracterización el carbón activado elaborado, así como un análisis de los gases producidos en su elaboración.

## CAPITULO IX:

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ CASTILLO, A., SALGADO DELGADO, R., GARCÍA HERNÁNDEZ, E., DOMÍNGUEZ DOMÍNGUEZ, M., GRANANDOS BAEZA, J., AGUIRRE CRUZ, A., MENDOZA MARTÍNEZ, A.. **Aprovechamiento Integral de los Materiales Lignocelulósicos**, en Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen 13(4): 140-150. Agosto 2012
- ARMANDO ROMERO G., E. G. **Estimado de descargas máximas en la microcuenca de Huaycoloro (Huachipa, Lima)**. Disponible en [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v13\\_n25/pdf/a15v13n25.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v13_n25/pdf/a15v13n25.pdf). articulo web. Consultada el 10 de agosto del 2017.
- ASSUREIRA ESPINOZA, E. **Potencial Energético de la Biomasa Residual en el Peru**. Disponible en <http://conferencia2013.consortio.edu.pe/wp-content/uploads/2014/09/3.-Assureira.pdf> Consultado el 18 de setiembre del 2017.
- BARRETO PIO, C. **Obtención de Carbón Activado a partir de la pepa de la Aceituna para Adsorción de metales Pesados (Pb, As) en efluentes líquidos**. Callao. Universidad Nacional del Callao.2013.
- CARBALLO, L. M. **Introduccion a la Catalisis Heterogenea**. Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 2002.
- CAVIEDES, D. I., MUÑOZ, R. A., PERDOMO, A., RODRÍGUEZ, D., & SANDOVAL, I. J. **Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales**, en Revista Ingeniería y Región Volumen 13(1): 73-90. Mayo 2015

- COLINA, E. J. **Remoción de Pb (II) de soluciones mediante Carbón Activado**. Tesis Magister. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. 2012
- CONTRERAS, K. **El agua un recurso para preservar**. Merida. Universidad de los andes. 2008
- DAZA, F. **Contaminación por Plomo**. Disponible en <http://www.smu.org.uy/sindicales/resoluciones/informes/plomo.pdf>. articulo web. Consultada el 03 de agosto del 2017.
- DELGADILLO, G. G. **Adsorción de fenol con carbones activados preparados a partir de pepas de níspero de palo por activación química**, en Revista de la Sociedad Química del Perú Volumen 75. Marzo 2009.
- DUMAN, G., ONAL, Y., OKUTUCU, C., ONENC, S., & YANIK, J. **Production of Activated Carbon from Pine Cone and Evaluation of Its Physical, Chemical, and Adsorption Properties**, en Energy & Fuels. Vol 23: 2197 -2204. Enero 2009
- FERRER, A. **Intoxicación por metales**. Obtenido de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1137-66272003000200008](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272003000200008). Consultado el 05 de Julio del 2017.
- FIGUEIREDO, J. **Modification of the surface chemistry of activated carbons**. Portugal, en Carbon. Vol 37: 1379-1389. Diciembre 1999
- GARZON SANTAMARIA, J. A., & GONZALEZ LOPEZ, L. A. **Adsorción de Cr (VI) utilizando Carbón Activado a partir de cáscara de naranja**. Tesis Magister. Cartagena. 2012
- GONZALES C. A., TORRES R. G., **Manual para el cultivo de Aguaje**, Iquitos, 2010
- GUARDA, C. F., & ROBLES GOMERO , J. T. **Determinación de Plomo en suelos debido a la contaminación por fábricas aledañas al asentamiento humano cultura y progreso del distrito de Ñaña -**

- Chaclacayo.** Tesis Titulo Profesional. Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2009
- IIAP. **El Aguaje**, en Aguaje La maravillosa palmera de la Amazonía. Pág: 14 a 17. Abril 2006
- LAVADO, C., SUN KOU, M., BENDEZU, S. **Adsorción de plomo de efluentes industriales usando carbones activados con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>**. En Revista de la Sociedad Química del Perú, Vol. 76: 165 a 178. Junio 2010
- LENNTECH.**Cromo.** Disponible en <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm>. Articulo web. Consultado el 05 de agosto del 2017
- LUNA, D., GONZALES, A., GORDON, M., & MARTÍN, N. **Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco**. En ContactoS, Vol 64: 39 a 48. Febrero 2007
- MASH, H., & RODRIGUEZ - REINOSO, F. **Activated Carbon**. Gran Bretaña. Editorial Elsevier. Primera edicion. 2016
- MONTOYA, N. P., AGUILAR CASAS, P., & CORDOVEZ WANDURRAGA, C. **Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana**. en Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular Vol. 8, No. 1: 77-88. Abril 2010
- MORA, H. G., & CHINEN, R. T. **Estudio preliminar de carbón activado; situación en el Perú**. En Departamento Academico Industrias Forestales. Pág: 12-15. Agosto 2004
- MUÑOZ, M. J. **Contaminación del agua con Cromo**. Disponible en <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2015/12/09/132418> articulo web. Consultado el 31 de julio del 2017
- Definición conceptual: U.D **Libro Electronico - Ciencias de la Tierra y del Medio ambiente**. Disponible en

<http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/09ProdQui/120MetTox.htm>. Consultado el 04 de agosto del 2017

NORIT ELECTRONIC VERSION TECHNICAL BULLETIN. **Activated Carbon**. Disponible en <http://www.norit.com/carbon-academy/what-is-adsorption/> articulo web. Consultada el 07 de agosto del 2017

OBREGÓN, D. C. **Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de cadmio utilizando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje y de aceituna**. Tesis de Licenciatura. Lima. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2014

PENEDO MEDINA, M., MANALS CUTIÑO, E., VENDRELL CALZADILLA, F., & SALAS TORT, D. **Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco**, en *Revista Tecnológica de Química*. Vol 35 N°1. Abril 2015

RAMIREZ, M. S. **Bioadsorción de Cobre, Cadmio y Manganeso con Cáscara de Naranja de la Laguna Colquicocha**. Tesis Grado Ingeniero. Callao. Universidad Nacional Del Callao. 2016

RECOBERT, M. P. **Evaluación de nuevos precursores y del proceso de activación con dióxido de carbono**. Tesis Doctoral. Alicante. Universidad de Alicante. 2015

ROBERTO ROJAS RUIZ, C. F. **Industrialización primaria del Aguaje (Mauritia Flexuosa L. F.) en Iquitos (Perú)**. en *Folia Amazónica* Vol. 12 (1-2): 107-121. 2001

ROIG MARINO, B. **Evaluación de las tecnologías de tratamiento de aguas subterráneas contaminadas con Cromo**. Proyecto. Universidad Politécnica de Catalunya. Junio 2006

SALINAS, E. **El río Huaycoloro volvió a resonar**. Disponible en <http://larepublica.pe/imprensa/sociedad/845654-el-huaycoloro-volvio-resonar> articulo web. Consultada el 24 de julio del 2017.

- SALUD-DIGESA, M. D. **Quebrada Huaycoloro**. Disponible en [http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/rios/2008/RIO\\_HUAYCOLORO.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/rios/2008/RIO_HUAYCOLORO.pdf) articulo web. Consultada el 22 de Julio del 2017
- SUN KOU, M., OBREGÓN VALENCIA, D., PINEDO FLORES, Á., PAREDES DOIG, A., & AYLAS OREJON, J. **Adsorción de metales pesados empleando Carbones Activados preparados a partir de Semillas de Aguaje**, en *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 80 (núm. 4): 225 a 236. Diciembre 2014
- TEJADA, C., VILLABONA, A., RUIZ, E. **Study for removal of Pb (II), Ni (II) and Cr (VI) in solutions using support chemically modified**, en *Revista Prospect* Vol 12 N°2: 7-17. Diciembre 2014.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Alternativas tecnológicas para la Remediación de Suelos contaminados con As, Cd, Cr, Hg y Pb**, en *Engineering Bulletin* EPA/540/S-97/50 Agosto 1997
- VALDERRAMA, J. O. **Derivados no Convencionales del Gas de Síntesis**, en *Informacion Tecnologica*. Vol 7 (N°5): 62. Noviembre 1994.
- VÁSQUEZ-OCMÍN, P. G. **Diferenciación química de tres morfotipos de Mauritia Flexuosa L. F. de la Amazonía Peruana**, en *Revista de la Sociedad Química del Perú* Vol 75 N°3 : 320-328. Setiembre 2009
- ZAMORA, G. N. **Obtención de carbón activado a partir de semillas, de dos palmeras de la Amazonía Peruana, Shapaja (Atta/ea phalerta) y Aguaje (Mauritia flexuosa)**. Tesis Titulo Profesional. Lima Universidad Nacional Agraria la Molina. 2010

## **ANEXOS**

## **Anexo 1**

### Tablas del Marco Teórico

**TABLA 2.1**

**MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS EN LA PREPARACIÓN DE  
CARBONES ACTIVADOS**

<b>Residuos industria agroalimentaria</b>	
Huesos de frutas	Aceituna, aguacate, albaricoque, cereza, ciruela, dátil, mango, melocotón
Cascaras de frutos secos	Almendra, avellana, coco, nueces
Cascaras blandas	Aguacate, granada, naranja, plátano, yuca, maíz, sandia
Semillas	Naranja, guayaba, palma, colza
Cascarilla de semillas	Arroz, trigo, avena, cacahuete, café
Pasta de procesado	Linaza, mosto del vinagre, pulpa de manzana, aceite, café
Fibras	Coco, palma, plátano, yute
<b>Residuos sector agrícola y de la madera</b>	
Tallos y hojas	Paja de cereales (trigo), girasol, algodón, cáñamo, esparto, bambú, bagazo de caña, maíz, tabaco, vid, kenaf, yute, té
Madera	Cortezas de árboles y/o serrín (eucalipto, abeto, pino, encina, olivo, acacias, palma)
<b>Residuos Industriales y Municipales</b>	
Residuos de materiales procedentes de compuestos orgánicos	Plásticos (PVC, PET), neumáticos, breas, papel, cartón, residuos de la industria de la celulosa, del encurtido de pieles, industria textil.
Residuos Inorgánicos	Lodos de depuradoras, lodos industrias siderúrgicas, cenizas volantes, carbón mineral.

Fuente: (Recobert, 2015)

**TABLA 2.2**

**FISORCIÓN Y QUIMISORCIÓN**

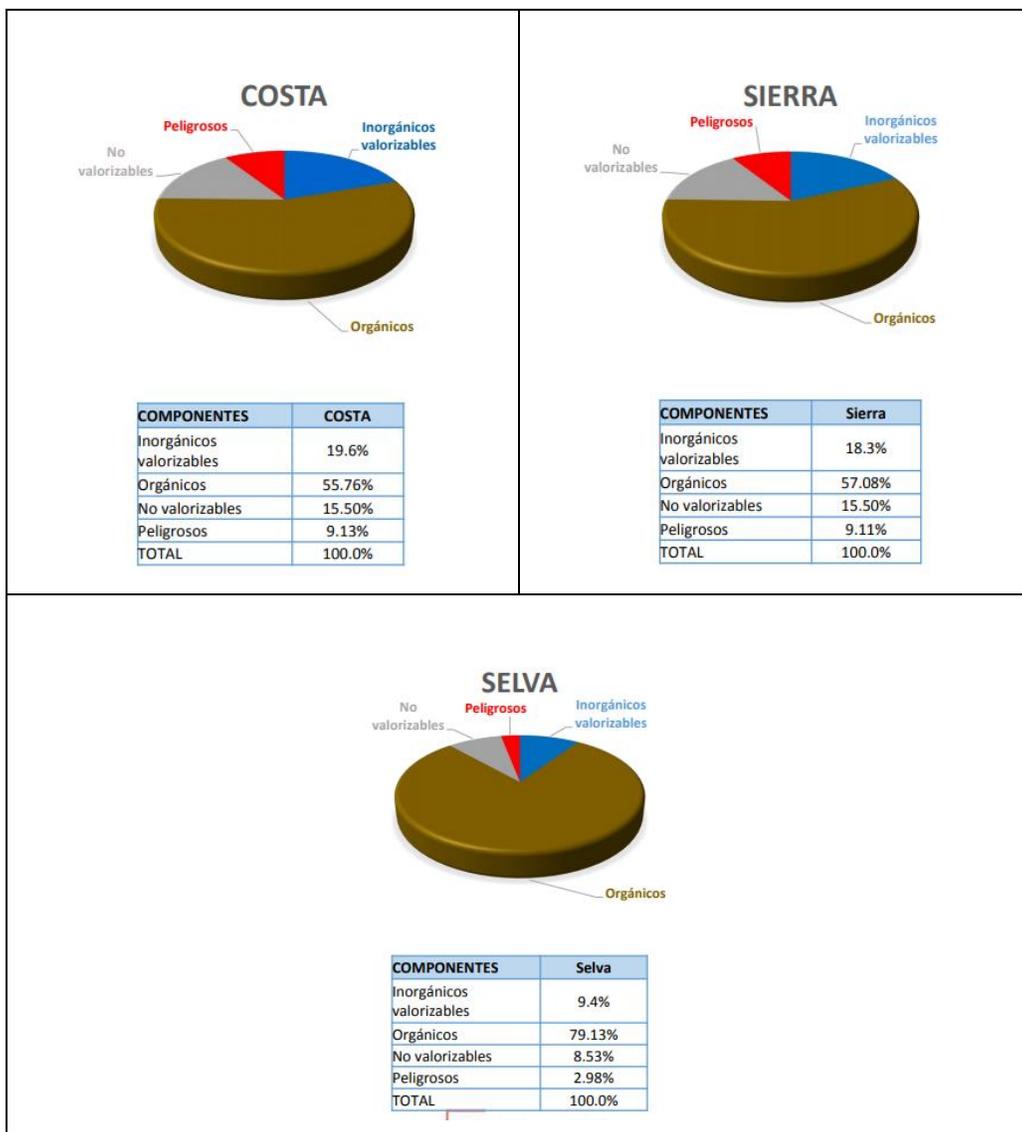
	<b>ADSORCION FISICA</b>	<b>QUIMISORCION</b>
<b>ADSORBENTE</b>	Todos los solidos	Algunos solidos
<b>ADSORBATO</b>	Todos los gases por debajo del punto critico	Algunos gases químicamente activos
<b>INTERVALO DE TEMPERATURA</b>	Temperatura baja	Generalmente temperaturas altas
<b>CALOR DE ADSORCION</b>	Bajo, Del orden de ( $\Delta H_{liqu}$ ), Calor de condensación	Del orden de la entalpia de reacción, alto
<b>VELOCIDAD Y ENERGIA DE ACTIVACIÓN</b>	Muy rápida, energía baja de activación	No activado, energía baja
<b>CUBRIMIENTO</b>	Multicapas	Monocapa o menor
<b>REVERSIBILIDAD</b>	Alta rev4ersibilidad	Puede ser reversible
<b>IMPORTANCIA</b>	Para la determinación de área superficial total y distribución del tamaño de poros	Para la determinación de concentración superficial, velocidades de adsorción y desorción, estimación de centros activos y explicación de la cinética de las reacciones superficiales

Fuente: (Suárez, 2002)

**Anexo 2**  
Figuras del Marco Teórico

**FIGURA 2.1**

**SITUACIÓN ACTUAL DE LA COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES**



Fuente: (MINAM, 2018)

**FIGURA 2.2**

**REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA TÍPICA DE LA MICROESTRUCTURA DEL CARBÓN ACTIVADO.**



**Fuente: (Álvarez Merino, Carrasco Marín, & Maldonado)**

**FIGURA 2.3**

**PRINCIPALES GRUPOS FUNCIONALES PRESENTES EN LA SUPERFICIE DE UN CARBÓN ACTIVADO**

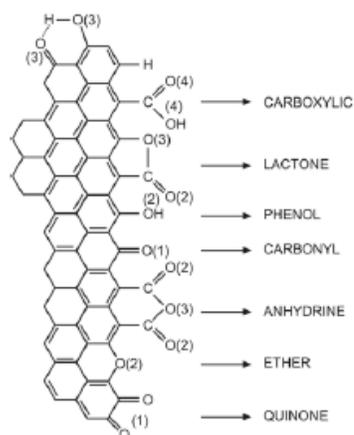
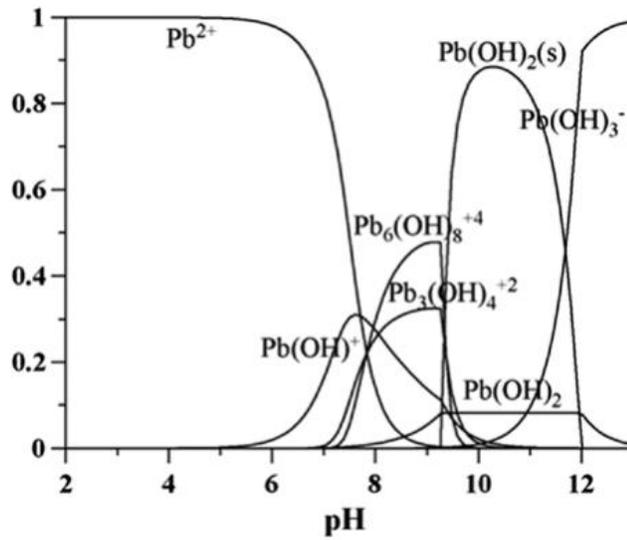


FIGURA 2.4

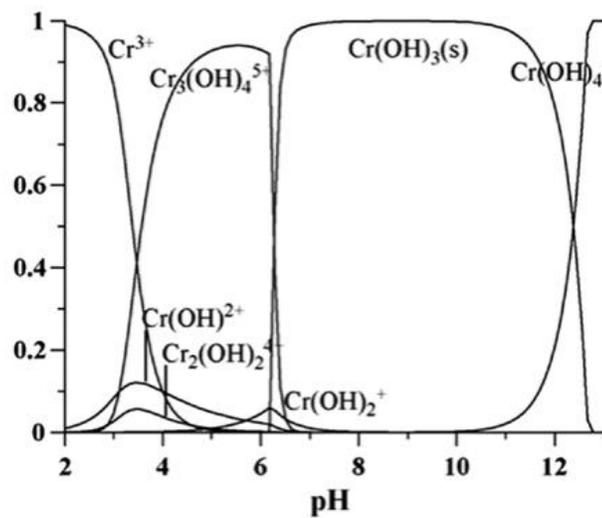
ESPECIACIÓN DEL PLOMO CON EL PH



Fuente: (C. Tejada, 2014)

FIGURA 2.5

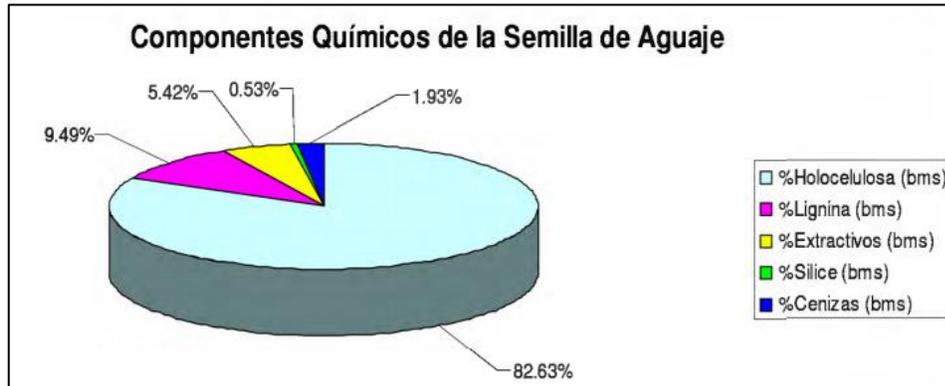
ESPECIACIÓN DEL CROMO CON EL PH



Fuente: (C. Tejada, 2014)

**FIGURA 2.6**

**COMPONENTES QUÍMICOS DE LA SEMILLA DE AGUAJE**



### **Anexo 3**

Informe de Ensayo N° 1904008 del Laboratorio Acreditado DELTALAB  
S.A.C.

INFORME DE ENSAYO N° 1904008

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Cromo, Plomo: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part. 3030E y 3111B, 23rd Ed. 2017. Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method.

Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.

Lima, 10 de abril del 2019.



DELTA LAB S.A.C.  
WILDER FONSECA  
JEFE DE LABORATORIO DE FÍSICO QUÍMICA



DELTA LAB S.A.C.  
RAQUEL ROSALES TORRES  
SUB GERENTE DE LA CALIDAD  
CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE-077

Registro N° LE - 077

Pág. 1/2

INFORME DE ENSAYO N° 1904008

Cliente : ROSALES FERNANDEZ DANAY JOSSELY  
 Domicilio legal : Av. Juan Pablo II N° 306, Bellavista – Callao – Lima.  
 Producto : Agua de Proceso  
 Referencia del cliente : Tesis "Adsorción con carbón activado obtenido de la semilla de aguaje para la remoción de Pb y Cr en aguas contaminadas."  
 Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Av. Juan Pablo II N° 306, Bellavista – Callao – Lima.  
 Referencia del plan de muestreo : No Aplica  
 Procedimiento de muestreo : No Aplica  
 Fecha de recepción de las muestras : 2019/04/06  
 Fecha de inicio del ensayo : 2019/04/06  
 Fecha de término del ensayo : 2019/04/10

Método de Referencia: APHA 3111 B      Ensayo: Plomo total (Pb)      Tipo de muestra: Agua de Proceso

Código de Laboratorio	Estación de muestreo	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
1904008-1	M2	16:00	2019/04/05	0,01	0,03	2,470	mg/L
1904008-2	CA-0,25-M2	16:00	2019/04/05	0,01	0,03	0,495	mg/L
1904008-3	CA-0,5-M2	16:00	2019/04/05	0,01	0,03	0,168	mg/L
1904008-4	CA-0,75-M2	16:00	2019/04/05	0,01	0,03	0,123	mg/L
1904008-5	CA-1-M2	16:00	2019/04/05	0,01	0,03	0,105	mg/L
1904008-6	CA-1,25-M2	16:00	2019/04/05	0,01	0,03	0,079	mg/L
1904008-7	CA-1,5-M2	16:00	2019/04/05	0,01	0,03	0,075	mg/L
1904008-8	M1	12:00	2019/04/05	0,01	0,03	2,570	mg/L
1904008-9	CA-0,25-M1	12:00	2019/04/05	0,01	0,03	0,592	mg/L
1904008-10	CA-0,5-M1	12:00	2019/04/05	0,01	0,03	0,308	mg/L
1904008-11	CA-0,75-M1	12:00	2019/04/05	0,01	0,03	0,245	mg/L
1904008-12	CA-1-M1	12:00	2019/04/05	0,01	0,03	0,200	mg/L
1904008-13	CA-1,25-M1	12:00	2019/04/05	0,01	0,03	0,155	mg/L
1904008-14	CA-1,5-M1	12:00	2019/04/05	0,01	0,03	0,064	mg/L

Método de Referencia: APHA 3111 B      Ensayo: Cromo total (Cr)      Tipo de muestra: Agua de Proceso

Código de Laboratorio	Estación de muestreo	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
1904008-1	M2	16:00	2019/04/05	0,005	0,021	2,390	mg/L
1904008-2	CA-0,25-M2	16:00	2019/04/05	0,005	0,021	0,641	mg/L
1904008-3	CA-0,5-M2	16:00	2019/04/05	0,005	0,021	0,719	mg/L
1904008-4	CA-0,75-M2	16:00	2019/04/05	0,005	0,021	0,881	mg/L
1904008-5	CA-1-M2	16:00	2019/04/05	0,005	0,021	0,933	mg/L
1904008-6	CA-1,25-M2	16:00	2019/04/05	0,005	0,021	0,963	mg/L
1904008-7	CA-1,5-M2	16:00	2019/04/05	0,005	0,021	0,976	mg/L
1904008-8	M1	12:00	2019/04/05	0,005	0,021	2,320	mg/L
1904008-9	CA-0,25-M1	12:00	2019/04/05	0,005	0,021	0,735	mg/L
1904008-10	CA-0,5-M1	12:00	2019/04/05	0,005	0,021	0,714	mg/L
1904008-11	CA-0,75-M1	12:00	2019/04/05	0,005	0,021	0,906	mg/L
1904008-12	CA-1-M1	12:00	2019/04/05	0,005	0,021	1,013	mg/L
1904008-13	CA-1,25-M1	12:00	2019/04/05	0,005	0,021	1,065	mg/L
1904008-14	CA-1,5-M1	12:00	2019/04/05	0,005	0,021	1,138	mg/L

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com