



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**REMOCIÓN DE CROMO III Y PLOMO II EN SOLUCIÓN  
ACUOSA, UTILIZANDO CARBÓN ACTIVO OBTENIDO DE LAS  
SEMILLAS DE GUAYABA**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: JEYSON ADRIÁN LANDY ÁLVAREZ**

**DIRECTOR: Ing. CARLOS ALCIBAR MEDINA SERRANO**

Riobamba – Ecuador

2022

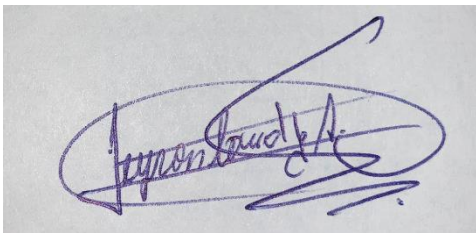
**©2022, Jeyson Adrián Landy Álvarez**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, JEYSON ADRIÁN LANDY ÁLVAREZ, el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 31 de mayo del 2022

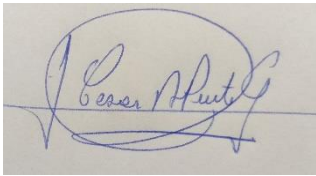


A handwritten signature in blue ink, enclosed within a large, stylized oval shape. The signature appears to read 'Jeyson Landy A.' followed by a flourish.

**Jeyson Adrián Landy Álvarez**

**C.I.: 060500401-9**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **REMOCIÓN DE CROMO III Y PLOMO II EN SOLUCIÓN ACUOSA, UTILIZANDO CARBÓN ACTIVO OBTENIDO DE LAS SEMILLAS DE GUAYABA**, realizado por el señor **JEYSON ADRIÁN LANDY ÁLVAREZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

|  | <b>FIRMA</b>   | <b>FECHA</b> |
|--|--|--------------|
| Ing. Cesar Arturo Puente Guijarro, PhD.<br><b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>                  |   | 2022-05-31   |
| Ing. Carlos Alcibar Medina Serrano<br><b>DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b> |  | 2022-05-31   |
| Ing. Luis Santiago Carrera Almendáriz<br><b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>                        |  | 2022-05-31   |

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo dedico primero a Dios por darme la fortaleza y la sabiduría para llegar a lograr cada una de mis metas, con mucho amor y cariño a mis padres Morayma y Joel por ser el pilar fundamental en mi vida brindándome todo su apoyo incondicional, por guiarme por el camino correcto e inculcarme valores que me ayudaron a mi formación como estudiante y como persona. A mis hermanos por ser siempre mi apoyo y mi ejemplo a seguir en los momentos más difíciles en este largo camino de la universidad y de la vida. También se lo dedicado a mis Ángeles del cielo mis abuelitos que me enseñaron a luchar siempre y a ser valiente, desde allá arriba sé que están orgullosos.

*Jeyson*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco, a mi familia, mis padres y mis hermanos por el apoyo incondicional, económico y emocional que me brindaron durante toda mi etapa académica, ayudándome a cumplir todas mis metas y sueños planteados desde muy pequeño, con sus consejos, su cariño y su sabiduría que cada uno supo trasmitirme.

Agradezco a mis amigos por los momentos compartidos, por su amistad y su apoyo incondicional durante el camino para la realización de este sueño.

Agradezco a los docentes por las enseñanzas impartidas en las aulas de clases que me servirán para mi vida como profesional.

*Jeyson*

## TABLA DE CONTENIDOS

|                         |      |
|-------------------------|------|
| ÍNDICE DE TABLAS.....   | ix   |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | x    |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....  | xi   |
| RESUMEN .....           | xii  |
| ABSTRACT.....           | xiii |
| INTRODUCCIÓN .....      | 1    |

### CAPÍTULO I

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>                      | <b>4</b>  |
| <b>1.1. Antecedentes de la investigación .....</b>            | <b>4</b>  |
| <b>1.2. Marco teórico .....</b>                               | <b>5</b>  |
| <b>1.2.1. Carbón Activo .....</b>                             | <b>5</b>  |
| <b>1.2.2. Propiedades del carbón activado .....</b>           | <b>6</b>  |
| <b>1.2.3. Método de fabricación .....</b>                     | <b>7</b>  |
| <b>1.2.3.1. Activación física.....</b>                        | <b>7</b>  |
| <b>1.2.3.2. Activación Química.....</b>                       | <b>7</b>  |
| <b>1.2.4. Aplicaciones del carbón activado.....</b>           | <b>8</b>  |
| <b>1.2.4.1. Usos en fase gaseosa .....</b>                    | <b>8</b>  |
| <b>1.2.4.2. Usos en fase líquida.....</b>                     | <b>8</b>  |
| <b>1.2.5. Modelos de isoterma de adsorción .....</b>          | <b>9</b>  |
| <b>1.2.5.1. Modelo de adsorción de Langmuir .....</b>         | <b>9</b>  |
| <b>1.2.5.2. Modelo de adsorción Freundlich .....</b>          | <b>10</b> |
| <b>1.2.6. Modelos de cinética de adsorción .....</b>          | <b>10</b> |
| <b>1.2.6.1. Modelo de Pseudo Primer Orden.....</b>            | <b>10</b> |
| <b>1.2.6.2. Modelo Pseudo de Segundo Orden .....</b>          | <b>11</b> |
| <b>1.2.7. El plomo (Pb) .....</b>                             | <b>11</b> |
| <b>1.2.7.1. Métodos para la Remoción del Plomo (Pb) .....</b> | <b>11</b> |
| <b>1.2.7.2. Aplicaciones del plomo .....</b>                  | <b>12</b> |
| <b>1.2.7.3. Contaminación por plomo .....</b>                 | <b>12</b> |
| <b>1.2.8. El Cromo (Cr) .....</b>                             | <b>13</b> |
| <b>1.2.8.1. Aplicación y contaminación del Cromo .....</b>    | <b>13</b> |
| <b>1.2.9. Remoción del Cromo (Cr).....</b>                    | <b>14</b> |

|         |                              |    |
|---------|------------------------------|----|
| 1.2.10. | <i>Colorimetría</i>          | 14 |
| 1.2.11. | <i>Ley de Lambert- Beer</i>  | 14 |
| 1.2.12. | <i>La Guayaba</i>            | 15 |
| 1.2.13. | <i>Semilla de la guayaba</i> | 15 |

## CAPÍTULO II

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 2.       | <b>MARCO METODOLÓGICO</b>  | 16 |
| 2.1.     | <b>Objetivos</b>   | 16 |
| 2.1.1.   | <i>General</i>   | 16 |
| 2.1.2.   | <i>Específicos</i>   | 16 |
| 2.2.     | <b>Hipótesis General y especificación de variables</b>   | 16 |
| 2.2.1.   | <i>Hipótesis General</i>   | 16 |
| 2.2.2.   | <i>Hipótesis Específicas</i>   | 16 |
| 2.3.     | <b>Identificación de Variables</b>   | 17 |
| 2.4.     | <b>Operacionalización de Variables</b>   | 17 |
| 2.5.     | <b>Matriz de Consistencia</b>  | 18 |
| 2.6.     | <b>Tipo y Diseño de Investigación</b>  | 20 |
| 2.6.1.   | <i>Tipo de investigación</i>   | 20 |
| 2.6.1.1. | <i>Método cuantitativo</i>   | 20 |
| 2.7.     | <b>Diseño experimental de la investigación</b>   | 20 |
| 2.7.1.   | <i>Materiales y métodos</i>  | 20 |
| 2.7.1.1. | <i>Estudio de dosificación del adsorbente para plomo II</i>  | 21 |
| 2.7.1.2. | <i>Estudio cinético del adsorbente para plomo II</i>   | 21 |
| 2.7.1.3. | <i>Variación de la temperatura para la determinación de las Isotermas de Freundlich y Langmuir en Plomo II</i> | 21 |
| 2.7.1.4. | <i>Análisis del pH para el Plomo II</i>  | 21 |
| 2.7.1.5. | <i>Proceso de oxidación de Cromo III a Cromo IV</i>  | 22 |
| 2.7.1.6. | <i>Estudio de dosificación del adsorbente para Cromo III</i>   | 22 |
| 2.7.1.7. | <i>Estudio cinético del adsorbente para Cromo III</i>  | 22 |
| 2.7.1.8. | <i>Variación de la temperatura para la determinación de las Isotermas de Freundlich y Langmuir en Plomo II</i> | 23 |
| 2.7.1.9. | <i>Análisis del pH para el Cromo III</i>   | 23 |
| 2.8.     | <b>Unidad de Análisis</b>  | 23 |
| 2.9.     | <b>Población de Estudio</b>  | 23 |
| 2.10.    | <b>Tamaño de Muestra</b>   | 24 |



|       |                                       |    |
|-------|---------------------------------------|----|
| 2.11. | Selección de muestra.....             | 24 |
| 2.12. | Técnicas de Recolección de Datos..... | 24 |

### CAPÍTULO III

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.     | MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....                                | 25 |
| 3.1.   | Dosificación del adsorbente.....  | 25 |
| 3.2.   | Tiempo de agitación o de contacto.....  | 27 |
| 3.3.   | Cinética de adsorción.....  | 28 |
| 3.4.   | Temperatura de adsorción.....   | 31 |
| 3.4.1. | <i>Isoterma de Langmuir</i> .....   | 32 |
| 3.4.2. | <i>Isoterma de Freundlich</i> .....   | 33 |
| 3.5.   | Efecto del pH.....  | 34 |
| 3.5.1. | <i>Comprobación de los parámetros óptimos con una muestra de agua contaminada</i> | 36 |
| 3.6.   | Discusión de resultados.....  | 37 |

|  |                   |    |
|--|-------------------|----|
|  | CONCLUSIONES..... | 39 |
|--|-------------------|----|

|  |                      |    |
|--|----------------------|----|
|  | RECOMENDACIONES..... | 40 |
|--|----------------------|----|

### BIBLIOGRAFÍA

### ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| <b>Tabla 1-2.</b> | Identificación de variables.....   | 17 |
| <b>Tabla 2-2.</b> | Operacionalización de las variables que intervienen en el proceso de remoción de Plomo II y Cromo III..... | 17 |
| <b>Tabla 3-2.</b> | Matriz de Consistencia .....   | 18 |
| <b>Tabla 1-3:</b> | Dosificación de carbón activado para el Plomo II .....   | 25 |
| <b>Tabla 2-3.</b> | Dosificación de carbón activado para el Cromo III .....  | 26 |
| <b>Tabla 3-3.</b> | Selección del mejor tiempo de trabajo.....   | 27 |
| <b>Tabla 4-3.</b> | Parámetros de las isothermas de adsorción del Cromo III .....  | 34 |
| <b>Tabla 5-3.</b> | Parámetros de las isothermas de adsorción del Plomo II .....   | 34 |
| <b>Tabla 6-3.</b> | Niveles de correlación para el estudio del modelo.....   | 34 |
| <b>Tabla 7-3.</b> | Resultados del efecto de pH para Cromo III.....  | 35 |
| <b>Tabla 8-3.</b> | Resultados del efecto de pH para Plomo II.....   | 35 |
| <b>Tabla 9-3.</b> | Comprobación de los parámetros óptimos de adsorbente .....   | 36 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|                      |   |    |
|----------------------|---|----|
| <b>Gráfico 1-3:</b>  | Selección de la dosificación idónea para la remoción de plomo II.....   | 26 |
| <b>Gráfico 2-3:</b>  | Selección de la dosificación idónea para la remoción de Cromo III ..... | 26 |
| <b>Gráfico 3-3:</b>  | Tiempo de reacción para el Plomo II .....                               | 27 |
| <b>Gráfico 4-3:</b>  | Tiempo de reacción para el Cromo III .....                              | 28 |
| <b>Gráfico 5-3:</b>  | Pseudo Primer Orden cromo III .....                                     | 29 |
| <b>Gráfico 6-3:</b>  | Pseudo segundo orden del cromo III.....                                 | 29 |
| <b>Gráfico 7-3:</b>  | Pseudo Primer Orden plomo II .....                                      | 30 |
| <b>Gráfico 8-3:</b>  | Pseudo Segundo Orden plomo II .....                                     | 30 |
| <b>Gráfico 9-3:</b>  | Selección de la temperatura para el plomo II .....                      | 31 |
| <b>Gráfico 10-3:</b> | Selección de la temperatura para el cromo III.....                      | 31 |
| <b>Gráfico 11-3:</b> | Isoterma de Langmuir para plomo II.....                                 | 32 |
| <b>Gráfico 12-3:</b> | Isoterma de Langmuir para cromo III .....                               | 32 |
| <b>Gráfico 13-3:</b> | Isoterma de Freundlich para el plomo II .....                           | 33 |
| <b>Gráfico 14-3:</b> | Isoterma de Freundlich para cromo III.....                              | 33 |
| <b>Gráfico 15-3:</b> | Selección del pH para el cromo .....                                    | 35 |
| <b>Gráfico 16-3:</b> | Selección del pH para el plomo .....                                    | 35 |
| <b>Gráfico 17-3:</b> | Eliminación de plomo en una muestra real .....                          | 36 |
| <b>Gráfico 18-3:</b> | Eliminación de plomo en una muestra real .....                          | 37 |

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** SULFATO BÁSICO DE CROMO

**ANEXO B:** AGITACIÓN Y FILTRADO DE CARBÓN ACTIVADO PARA LA REMOCIÓN DE CROMO III

**ANEXO C:** OXIDACIÓN DE CROMO III A CROMO VI

**ANEXO D:** AGITACIÓN Y FILTRADO PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO II

**ANEXO E:** ADICIÓN DE CIANURO DE POTASIO E HIDROXILAMINA CLORHIDRATO AL PLOMO II

## RESUMEN

El presente trabajo se centró en la aplicación de carbón activado como material adsorbente, el cual, fue empleado en la remoción de cromo III y plomo II en solución acuosa, utilizando carbón activado, obtenido de las semillas de guayaba (*Psidium guajava L.*). Para lo cual, se identificaron las condiciones óptimas, donde el carbón activado va a desarrollar una mayor adsorción. En primer lugar, se determinó la dosificación del adsorbente, que fue de 0,25 g para el plomo II y 0,75 g para el cromo III. Por consiguiente, se realizó el estudio de la temperatura de equilibrio que fue de 23°C en un tiempo de equilibrio de 120 minutos y por último el pH, donde se obtuvo que el ideal es uno básico de 9. Adicionalmente se estableció el orden de reacción tanto para el plomo como para el cromo, calculando el coeficiente de correlación lineal ( $R^2$ ), se determinó que el primero sigue una cinética de primer orden ( $R^2=0,9021$ ) y el segundo metal siguió una cinética de 2do orden. Por último, se estableció las isotermas que sigue cada contaminante, dándonos como resultado que la remoción de plomo y cromo siguen el modelo de Freunlich. Estos resultados permitieron analizarlos en una muestra de agua contaminada, donde se logró remover en un 89,87% el plomo y en un 81,89% el cromo. Llegando a la conclusión de que el carbón activado que se obtuvo tiene un elevado rendimiento y que es aceptable para la remoción de estos metales pesados. Se recomienda realizar el estudio de adsorción con diferentes tipos de metales pesados, para así poder determinar la tendencia que se obtuvo en el presente trabajo.

**Palabras clave:** <CARBÓN ACTIVADO>, <ADSORCIÓN>, <CINÉTICA>, <GUAYABA (*Psidium guajava L.*)>, <METALES PESADOS>.



1325-DBRA-UTP-2022



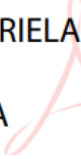
Firmado electrónicamente por:  
**LEONARDO  
FABIO MEDINA  
NUSTE**

## ABSTRACT

The present work was focused on the application of activated carbon as an adsorbent material, which was used in the removal of chromium III and lead II in aqueous solution, using activated carbon obtained from guava seeds (*Psidium guajava L*). For this purpose, the optimum conditions were identified, where the activated carbon will develop a higher adsorption. Firstly, the dosage of the adsorbent was determined, which was 0.25 g for lead II and 0.75 g for chromium III. Consequently, the equilibrium temperature was determined to be 23°C at an equilibrium time of 120 minutes and finally the pH, where it was obtained that the ideal is a basic pH of 9. Additionally, the reaction order was established for both lead and chromium, calculating the linear correlation coefficient ( $R^2$ ); it was determined that the former follows a first order kinetics ( $R^2=0.9021$ ) and the latter metal followed a 2nd order kinetics. Finally, the isotherms of each pollutant were established, resulting in the removal of lead and chromium following the Freundlich model. These results were analyzed in a contaminated water sample, where 89.87% of lead and 81.89% of chromium were removed. It was concluded that the activated carbon obtained has a high performance and is acceptable for the removal of these heavy metals. It is recommended to carry out the adsorption study with different types of heavy metals, in order to determine the trend obtained in the present work.

**Keywords:** <ACTIVATED COAL>, <ADSORPTION>, <KINETICS>, <GUAYABA (*Psidium guajava L*)>, <HEAVY METALS>.

ANA GABRIELA  
REINOSO  
ESPINOSA



Firmado digitalmente  
por ANA GABRIELA  
REINOSO ESPINOSA  
Fecha: 2022.06.28  
00:05:14 -05'00'

## INTRODUCCIÓN

Los metales pesados son componentes que abundan en la tierra como el cromo III y plomo II, estos metales mencionados los podemos encontrar en la naturaleza en forma de minerales y a nivel industrial tienen una gran variedad de aplicaciones. Estos elementos tienden a ser peligrosos en altas concentraciones, generando riesgo y afectación a la salud debido al mal manejo de los límites permisibles.

El cromo III y plomo II son utilizados en diferentes industrias como parte de sus procesos para la obtención de productos. En las provincias de Chimborazo y Tungurahua existen diferentes industrias que utilizan estos metales pesados, sin embargo, el desconocimiento sobre el control y tratamiento adecuado de estos compuestos químicos pueden ocasionar dificultades en la salud de personas, animales y también el daño al ambiente.

Las curtiembres son una de las principales fuentes industriales que utilizan el cromo en sus procesos, este es utilizado en el curtido en forma de sales de cromo, magnesio y aluminio. Existen algunas empresas que cumplen con el tratamiento de aguas residuales hay algunas que solo realizan el tratamiento primario que consiste en la separación de sólidos. De la misma forma, estas aguas se descargan al medio ambiente con todos estos contaminantes que afectan a la naturaleza y la población, en consecuencia, las aguas residuales son depositadas en las fuentes acuáticas y a su vez, el uso en diferentes actividades.

La presencia del cromo III es perjudicial en las plantas, debido a los efectos que puede provocar según el rango de tolerancia de cada especie, así como, en los mamíferos las concentraciones mayores a 5ppm, se lo considera perjudicial según la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

El plomo al igual que el cromo, si no se establece un control sobre los desechos causarían un sin número de problemas, tanto para la naturaleza como para el ser humano, ya que, el plomo tiene variedad de usos en las diferentes industrias e incluso algunos artefactos como las baterías de los carros. Por lo general, la intoxicación de plomo y cromo es accidental, debido a que existen productos con altas concentraciones de estos metales y es practicable su remoción.

La presente investigación se enfoca en la remoción de cromo III y plomo II en solución acuosa, utilizando un adsorbente de carbón activo a base de las semillas de guayaba, la misma que podrá servir como una vía para la identificación de estos metales.

Las semillas de la guayaba contienen 80% de fibra, 11% aceite, 9% proteína y 1.5% cenizas, además de tener contar con proporciones relativamente buenas de lignocelulosa presente en la fibra, lo cual resulta muy beneficioso para obtener un carbón activo de mayor calidad, mismo que interviene como material adsorbente en la remoción del plomo II y cromo III de la solución acuosa.

El carbón activado es una forma sólida del carbono, contiene una microestructura no gráfica desorganizada que le da una forma abierta superficial. La forma de obtención de este material es por métodos físicos o químicos, ya que, la estructura que tiene el carbón activo es de una representación porosa, la cual le proporciona una característica de adsorbente, esta propiedad tiene un alto uso en diferentes industrias como: alimentaria, química, minera y farmacéutica.

Al carbón activado se le proporciona diversos usos como catalizador y purificador, cuenta con propiedades eléctricas que son aprovechadas en electrodos de baterías y dispositivos de almacenamiento de energía. Se infiere que para la obtención de carbón activo se lo puede conseguir a partir de material lignocelulósico, por esta razón, es aplicado en la industria química. La lignocelulosa es un polímero que se encuentra en grandes cantidades en la naturaleza, siendo el principal componente de las paredes celulares vegetales. Las semillas de la guayaba cuentan con cantidades relativamente buenas de lignocelulosa por lo que la obtención de carbón activo a partir de las semillas puede ser beneficioso.



## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Antecedentes de la investigación

Los materiales de adsorción tienen una gran importancia en el desarrollo de operaciones y procesos como en la industria química, en el sector académico y en los laboratorios. A estos materiales de adsorción se los puede dar múltiples aplicaciones los cuales se los observa en diferentes procesos de catálisis heterogénea como: en las reacciones de craqueo de petróleos, en los convertidores catalíticos de automóviles, catálisis ambiental, eliminación de contaminantes. Tuvieron aplicaciones en procesos de separación de mezclas, lo cual, reporto una amplia variedad de trabajos en cromatografía (Carriazo et al., 2010, p.225).

Diferentes estudios comprobaron la utilidad del carbón activo, ya que, en la actualidad se ha generado interés por investigar los beneficios de su uso, tal es el caso, que este material de adsorción fue uno de los más importantes para la retención de cromo hexavalente, este compuesto lo obtuvieron en aguas residuales. Sin embargo, se debe considerar que es altamente peligrosos para el medio ambiente. En referencia a lo mencionado, el carbón activado desarrollado se lo aplicó en diferentes modelos cinéticos y exponiéndolo a diferentes valores de pH, obteniendo como resultado una eficiencia de reducción del cromo hexavalente del 97%, el cual también puede ser puesto a prueba en otros metales nocivos (Sharma y Kumar-Mishra, 2019, pp.540-551).

Los carbones activados obtenidos a partir de material lignocelulósico son muy utilizados en la industria química, ya que, tienen bajos costos y se lo puede obtener en la naturaleza. Además, brindan una porosidad variada, esto dependiendo de las condiciones en las que se lo prepare como la temperatura y el tiempo de activación (Carriazo et al., 2010, p.226).

Por otro lado, el cromo trivalente se encuentra en la mayoría de los casos en grades proporciones en las aguas residuales de las curtiembres, en esta investigación aplicaron tres tipos de carbones activados para la remoción del metal. En cuanto, para la elaboración del carbón activado realizaron a base de residuos generados en las industrias azucareras, obteniendo una eficiencia para la remoción del metal de 98,86%. Mientras que los otros dos fueron carbones activados granulares comerciales, los cuales, obtuvieron una eficiencia de eliminación del 98,6 y 93% respectivamente. Estos resultados reflejaron que se puede obtener carbones activados de material lignocelulósico de buena calidad, beneficioso con el ambiente y económicamente favorable (Fahim y Khalil, 2006, pp.303-309).

En lo que respecta para la adsorción de este tipo de metal, así como diferentes metales pesados, para el proceso de adsorción consideraron el valor de pH en una fase acuosa, en la que alcanzaron

valores óptimos de 5 a 8 para metales pesados como: el plomo (II), cromo (III), cobre (II) y níquel (II), en estos elementos situaron como prueba la adsorción de cromo (VI) utilizaron carbón activado elaborado a partir de madera con KOH y un carbón activado comercial, logrando valores referenciales de adsorción máxima de pH más bajos (3), indicando que el carbón activado a base de madera tiene mayor capacidad de remoción del metal (Khezami y Capart, 2005, p.224).

Por consiguiente, los carbones activados se los puede obtener de diferentes fuentes, una de ellas son los neumáticos de desechos pulverizados, en este proceso se experimentó bajo los parámetros de adsorción, como resultado consiguieron un buen rendimiento en la remoción de plomo II con un valor de 322,5 mg/g, cuando cotejaron con un carbón activado comercial que tuvo una capacidad de remoción del metal de 42,5 mg/g, identificaron que es favorable (Shahrokhi y Park , 2021, p.264).

La adsorción de metales pesados como el cromo III y plomo II son muy significativos en la reducción de la contaminación industrial, por lo que se ha evidenciado el trabajo con materiales adsorbentes para su remoción, en razón de ello elaboraron el carbón activado a partir de residuos de la cáscara de naranja, alcanzando un rendimiento promedio del 32% relativamente. Además, el carbón activado lo experimentaron en la remoción de plomo II, tomando en cuenta la disolución y pH de la muestra de plomo, lograron remover un 98,85% del plomo (Ruiz, 2018, p.10).

El carbón activado a nivel industrial tiene importantes aplicaciones, es factible obtenerlo de materiales económicos y a su vez tienen buen rendimiento, por ejemplo, la elaboración de carbón activado del endocarpio de cocos nucifera, analizaron este carbón activado con metales pesados entre ellos el plomo y el cromo, obteniendo valores de rendimiento diferentes para cada metal, el plomo logró un 26%, mientras que, el cromo fue de 37%. Y a su vez identificaron las condiciones en las que se encontraban cada metal como: temperatura, concentración y pH fueron fundamentales para la remoción de los metales y el rendimiento del carbón activado (Serrano y Novillo, 2019, p.52).

## **1.2. Marco teórico**

### ***1.2.1. Carbón Activo***

El carbono activado hace referencia a carbones que tienen un alto grado de porosidad a partir de materiales ricos en carbono, los cuales tienen diversas formas para que se produzca una activación química o física. Además, es utilizado en tratamientos ambientales, remoción de contaminantes, etc., al obtener carbones activados de materiales lignocelulósicos presenta una gran gama gracias a su versatilidad. Por otro lado, se lo puede adquirir a bajo costo, ya que es un recurso natural abundante (Moreno et al., 2021, pp.88-114; Carriazo et al., 2010, pp.224-229).

El carbón activado se lo considera como un adsorbente muy versátil, porque el tamaño y distribución de sus poros que están en la estructura carbonosa le confiere ciertas cualidades para la utilización en la purificación en fase gaseosa y líquida, esta capacidad de remoción que tiene los carbones activados está influenciada por la superficie activa, puesto que, tiene un alto grado de porosidad, varios investigadores determinan que la capacidad de remoción de los adsorbentes no está determinada por sus propiedades texturales, fundamentalmente los grupos químicos que se encuentran en la superficie tiene un papel distintivo, esto debido a que tiene relación específica con el adsorbato (Hernández et al., 2017, pp.26-38).

Es importante considerar que, en algunos procedimientos de oxidación son empleados para introducir grupos oxigenados sobre la superficie del carbón, pueden ser por vía gaseosa ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2O$ ) o también, se puede utilizar soluciones acuosas ( $H_2O_2$ ,  $(NH_4)_2S_2O_8$ ,  $HClO_4$  o  $HNO_3$ ). Inclusive se han desarrollado una variedad de modelos fenomenológicos, los cuales se los utiliza a dos para interpretar el proceso de adsorción en las moléculas (adsorbato) que, de cierta forma, se pueden encontrar en fase gaseosa o también en una fase líquida sobre de un sólido; entre los modelos más sencillos y conocidos para el estudio de la adsorción de moléculas sobre un líquido microporoso es el de Langmuir que fue propuesto en 1915 y 1918 (Carriazo et al., 2010, pp.224-229). Por otra parte, las propiedades del carbón activo están regidas a su textura y química superficial, este depende del precursor como el método que se lo emplee para su activación, tal es el caso que, existe el método físico o también se lo denomina activación térmica, la cual se va a producir en dos etapas continuas que son: carbonización del precursor y activación del char. La carbonización se da a temperaturas de  $800\text{ }^\circ\text{C}$  en la atmósfera inerte esto se lo hace para así poder eliminar sustancias volátiles, mientras que, la activación del char se la hace por gasificación controlada, en los que se va a suministrar un agente oxidante que por lo general es vapor de agua y  $CO_2$  a temperaturas que oscilan entre  $800$  y  $1100\text{ }^\circ\text{C}$  (Bonilla et al., 2017, p.29-36).

### ***1.2.2. Propiedades del carbón activado***

En la actualidad el carbón activado tiene un sin número de aplicaciones, tales como: remover color, sabor y olor. Lo que quiere decir, que lo podemos encontrar en diferentes productos como en filtros de refrigeradores y peceras, de hecho, a nivel industrial se lo utiliza en modernas plantas de tratamiento de aguas residuales o a su vez, en sistemas de elaboración de antibióticos. El carbón activado tiene dos características fundamentales en las que radica su importancia, en efecto tiene una elevada capacidad de remoción de sustancias y una baja selectividad de retención. En efecto, la elevada capacidad de eliminación de sustancias se debe a que en su estructura posee microporos, estos a su vez le confieren la elevada superficie y capacidad de retención, además,

consta de mesoporos y macroporos, que le ayudan en la retención de moléculas de mayor tamaño, como colorantes o coloides (Carriazo et al., 2010, pp.224-229).

### ***1.2.3. Método de fabricación***

En lo que refiere para la fabricación de carbón activado, se identifica dos etapas: carbonización de la materia prima, posteriormente seguir con el método de activación, se basa en activación química o física; la activación química otorga una mayor utilidad en la actualidad, por su baja temperatura de activación y posee un mayor rendimiento a comparación de la activación física.

#### ***1.2.3.1. Activación física***

El proceso de activación física se lo lleva a cabo en dos etapas, la carbonización, en esta etapa se elimina hidrógeno y oxígeno, con la finalidad de dar una estructura porosa rudimentaria, los poros deben ser pequeños y estrechos. La segunda etapa consiste en un proceso de gasificación del carbonizado, se somete a una atmósfera oxidante para eliminar los restos volátiles y átomos de carbono, ayudando así, a que los poros incrementen su volumen y la superficie específica; la temperatura cumple un papel importante en la activación física, al trabajar con temperaturas mayores a 1100 °C la reacción es controlada por la difusión, por lo que, disminuye el tamaño y el interior no se activa. Al trabajar con temperaturas que estén por debajo de los 900 °C la reacción se vuelve de mayor lentitud y no es económicamente favorable (Padrón et al., 2013, pp.10-20).

#### ***1.2.3.2. Activación Química***

La activación química tiene la particularidad que solo se la puede aplicar en materiales orgánicos blandos, siempre y cuando en su estructura estén formados por moléculas de celulosa. Sin embargo, al material se adiciona un agente químico, el cual se calienta a temperaturas que oscilan entre los 500 y 700 °C; los agentes químicos son utilizados porque ayudan a reducir la formación de material volátil y alquitranes, causando que el rendimiento del carbón vaya en aumento. Adicional, al término de este proceso el material resultante se lava para eliminar el agente activante. Dicho de esta manera, los agentes activantes que se consiguen al utilizar en estos procesos son: ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido clorhídrico, cloruro de cinc, ácido nítrico, entre otros (Padrón et al., 2013, pp.10-20).

En tal sentido, la mayor desventaja que se le puede otorgar al método químico, es el de mayor contaminante que el método físico o de vapor, por consecuencia, depende también en su mayoría del agente activante que se emplee en el proceso. Mientras que la mayor ventaja que este otorga,

como producto un mayor ahorro de energía igualmente un mayor rendimiento (Padrón et al., 2013, pp.10-20).

#### ***1.2.4. Aplicaciones del carbón activado***

El uso del carbón activado se remonta a muchos años atrás, antes del uso que en la actualidad le damos, el carbón activado ya se utilizaba carbonizados de madera y carbón mineral. En 1773 el químico sueco K.W Scheele fue el primero en observar la adsorción de gases en carbonizados, posteriormente se realizaron estudios sistemáticos en fase líquida, poco después al carbón activado se le dio uso como decolorante en la industria azucarera en Inglaterra. En la I Guerra mundial el uso del carbón activado fue en crecimiento, la fabricación de gases nocivos de los alemanes, hizo que los aliados elaboren mascararas con filtros de carbón activado para la retención de los gases. Sin embargo, en la actualidad el uso del carbón activado es muy común, este puede ser utilizado tanto con gases como para líquidos (Álvarez et al., 2014, p.19).

##### ***1.2.4.1. Usos en fase gaseosa***

El carbón activado en fase gaseosa, se lo puede emplear en la recuperación de disolventes, en las industrias de adhesivos, pinturas, petroquímicas, bencenos, éteres, etc. En cuanto a la purificación de los gases, su utilidad se encuentra entre los principales usos: eliminación de sulfuro de hidrogeno, recuperación de vapores de gasolina, sistemas de aire acondicionado, se encuentran en los filtros de los cigarrillos, mascarillas, adsorbentes en centrales nucleares y en el control de emisión de gases en coches (Álvarez et al., 2014, p.20).

##### ***1.2.4.2. Usos en fase líquida***

En lo que corresponde a la fase líquida, el uso es común en procesos químicos, así como en la decoloración, purificación de líquidos orgánicos y eliminación de cianuros. En el mismo sentido, cuando se refiere al tratamiento de aguas se utiliza el carbón activado en el método de aguas subterráneas, aguas industriales, aguas potables, aguas municipales. Por otro lado, en el amplio campo de las farmacéuticas el modo de uso es para la recuperación de vitaminas, antibióticos y esteroides (Giraldo et al., 2008, pp.7-16).

### 1.2.5. Modelos de isoterma de adsorción

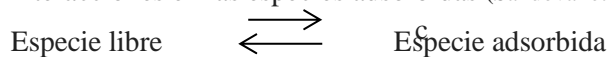
#### 1.2.5.1. Modelo de adsorción de Langmuir

Langmuir propuso 3 postulados para poder describir la adsorción o concentración del anfifilo en la superficie:

- Formación de una monocapa de moléculas adsorbidas.
- Todos los sitios de la superficie tienen la misma probabilidad de ser ocupados.
- No hay interacción entre moléculas adsorbidas.

En las propiedades de la interface como en una región bidimensional y homogénea se la reconoce en el primer y segundo postulado se rechaza la condensación y se indica que en la superficie existe una gran cantidad muy limitada de espacios con la misma probabilidad de ser ocupados.

En el tercer postulado establece que los cambios en las propiedades superficiales que se encuentran asociados a la adsorción de cada molécula están constantes por lo que no va haber interacciones en las especies adsorbidas (Sandoval et al., 2015, pp.307-313).



La concentración de soluto adsorbido se la representa por mol/cm<sup>2</sup> dado que la superficie es finita, la concentración que tiene las moléculas en esta región va a tener un límite máximo la concentración superficial a saturación, el inverso de esta concentración se la va a representar en el área mínima que ocupa el tensoactivo en la superficie A. La fracción de  $\theta$  va a corresponder al grado de recubrimiento que tenga la superficie (Sandoval et al., 2015, pp.307-313).

El modelo de Langmuir se lo expresa de la siguiente forma:

$$R_L = \frac{K_L C}{1 + K_L C} \quad \text{Ec 1-2}$$

Donde:

$R_L$  = Constante de Langmuir ( $l \cdot mg^{-1}$ )

$C$  = Concentración en el Equilibrio de adsorción ( $mg \cdot l^{-1}$ )

El valor de  $R_L$  indica la naturaleza de adsorción:

Desfavorable:  $R_L > 1$

Lineal:  $R_L = Z$

Favorable:  $0 < R_L < 1$

Irreversible:  $R_L = 0$

### 1.2.5.2. Modelo de adsorción Freundlich

En el modelo de adsorción de Freundlich, se considera que la superficie del adsorbente es energéticamente heterogénea, debido a que está compuesta por grupos de sitios de adsorción de energías características. En la isoterma de Freundlich a su vez precisa que no está conformada por interacciones laterales entre las moléculas adsorbidas, por ello solo se puede adsorber una monocapa, la cual está representada por la siguiente ecuación (Lazo et al., 2008, pp.3-19).

$$q = k_f \cdot C^{1/n} \quad \text{Ec 2-2}$$

donde:

$k_f$  = constante de capacidad de adsorción

$n$  = constante de adsorción

Ecuación linealizada:

$$\log(q) = \log(k_f) + \frac{1}{n} \log(C) \quad \text{Ec 3-2}$$

Los valores obtenidos de  $k_f$  y  $1/n$  pueden ser obtenidos del intercepto y por su parte, la pendiente será el resultado de graficar  $\log(q)$  vs.  $\log(c)$  (Lazo et al., 2008, pp.3-19).

### 1.2.6. Modelos de cinética de adsorción

Existe una diversa variedad de modelos cinéticos, los cuales, sirven para analizar los resultados experimentales obtenidos, en un proceso de adsorción.

#### 1.2.6.1. Modelo de Pseudo Primer Orden

El modelo cinético pseudo de primer orden, nos indica que la variación en la tasa de adsorción deberá ser proporcional a la primera potencia de concentración para una adsorción superficial. El modelo lineal se lo expresa en la siguiente formula (Moreno et al., 2011, pp.88-114).

$$\log(Q_e - Q_t) = \log(Q_e) - \frac{k_1}{2,303} t \quad \text{Ec 4-2}$$

donde:

$Q_e$  y  $Q_t$  = Capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g)

$t$  = Tiempo

$k_1$  = Constante de adsorción ( $\text{min}^{-1}$ )

Si no existe linealidad al modelo, es aducido a la limitante de la difusión entre poros, a partir de la pendiente y el intercepto, es en donde se puede deducir los valores de  $k_1$  y comprobar los datos de  $Q_e$  experimentales contra datos teóricos (Moreno et al., 2011, pp.88-114).

### 1.2.6.2. Modelo Pseudo de Segundo Orden

Este modelo cinético, relaciona la sorción química entre el adsorbato y adsorbente, y depende de la capacidad de sorción del sólido. El modelo lineal se representa en la siguiente ecuación:

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad \text{Ec 5-2}$$

Donde:

qt= Cantidad de metal adsorbido en un tiempo específico t (mg/g)

t= Tiempo (min)

$Q_e$  = Capacidad de adsorción en equilibrio (mg/g)

$K^2$ = Constante de la ecuación (g/mg-min)

Para poder deducir las constantes cinéticas de segundo orden, se necesita graficar (t/qt) vs. (t). El resultado de esta grafica nos dará una línea recta, para que, a partir de su pendiente y su intercepto, se pueda deducir su concentración de equilibrio teórica, así como, la constante de la ecuación. El valor obtenido de  $Q_e$  teórico se debe comparar con el valor experimental de la medición, al darnos resultados muy cercanos, el modelo obedece al modelo de adsorción cinético pseudo de segundo orden (Moreno et al., 2011, pp.88-114).

### 1.2.7. El plomo (Pb)

El plomo se ha extraído desde la corteza terrestre y es utilizado por las personas desde hace más de 5000 años, los depósitos naturales más conocidos de este metal se encuentran ubicados en Canadá, USA, México, Perú, Europa, Asia y Australia. El plomo es uno de los metales más conocidos desde la antigüedad, ya que tiene un uso muy diverso en las diferentes áreas no solo industrial sino en la vida cotidiana.

El plomo es fácil de extraer, es conveniente trabajar con el maleable, debido a que se funde con facilidad todas estas características le hacen un metal fácil de utilizar. Además, el plomo es un metal que tiene la capacidad de biomagnificarse en el medio ambiente; la Organización Mundial de la Salud ha declarado que el plomo es uno de los diez metales o productos químicos causantes de graves problemas de salud, prácticamente es considerado como un anfótero ya que tiene la capacidad de formar sales de plomo de los ácidos (Oré et al., 2015, pp.122-134).

#### 1.2.7.1. Métodos para la Remoción del plomo (Pb)

El plomo es un metal tóxico que se encuentra disperso en corrientes de agua, por tal motivo, debe ser removido para proteger la salud pública y de esta manera, poder garantizar su uso seguro. En



la actualidad se conoce algunos métodos para el tratamiento de las aguas residuales entre los cuales constan los siguientes:

- Precipitación
- Osmosis inversa
- Reacciones de oxidación avanzada
- Intercambio iónico
- Adsorción

Existe la bioadsorción como un proceso que no afecta al medio ambiente, para así lograr separar los iones de plomo (II), es necesario considerar, que la bioadsorción está estimada como uno de los métodos más eficaces, para bajar la concentración de contaminantes, ya sean estos orgánicos, iones metálicos y colorantes disueltos (Bonilla et al., 2017, pp.29-36).

#### *1.2.7.2. Aplicaciones del plomo*

El plomo a lo largo de la historia ha tenido una gran variedad de aplicaciones, ya que es fácil encontrarlo en una gran variedad de productos. De la misma forma, en la ingeniería hidráulica el plomo es indispensable, pues, es el material del que se elaboran las tuberías que son las encargadas de transportar el agua. Además, en la industria encontramos tuberías de suministro o desagüe, ensambles de fistula, filtros o coladores, sumideros y termos.

No obstante, el plomo se lo utiliza en el manejo de grandes cantidades de agua y líquidos, así mismo en el almacenamiento en cisternas todo gracias a los beneficios que brinda al momento de tener contacto con los líquidos, ya que tiene la propiedad de resistencia a la corrosión del agua.

De modo idéntico, este metal también tiene uso militar puesto que, se lo emplea en la fabricación de proyectiles o glandes; en otra de las aplicaciones del plomo fue en la escultura y arquitectura, este metal forma parte de muchas esculturas, así como, en la arquitectura, se lo utilizo en el ensamblaje de elementos constructivos, tales como: sillares, columnas y piezas correspondientes a la escultura decorativa (Acero y Cano, 2007, pp.541-554).

#### *1.2.7.3. Contaminación por plomo*

El plomo es considera como uno de los metales pesados que tiene mayor impacto en la contaminación ambiental, se lo puede encontrar de forma natural en el suelo, aire, agua y alimentos de origen vegetal, inclusive se logra identificar en las aguas residuales que se desecha de las industrias, provocando así una contaminación acuática como ambiental.

El agua de mar presenta concentraciones de plomo que varían de 0,003 a 0,20 mgL<sup>-1</sup>, esto provoca una exposición a las especies marinas, algo semejante ocurre en cultivos localizados

cerca de fábricas industriales, se identifican concentraciones que oscilan los 360 mg plomo  $kg^{-1}$ , a diferencia de los campos que se encuentran lejos de fábricas industriales los niveles de plomo rondan de 8-20 mg plomo  $kg^{-1}$  (Salas et al., 2019, pp.1-16).

### **1.2.8. El Cromo (Cr)**

El cromo es inodoro e insípido, estas son características principales, probablemente se lo puede encontrar en rocas, suelo y también en los animales. No cabe duda, que el cromo presenta diferentes estados de oxidación, notablemente el cromo trivalente y hexavalente son los de mayor abundancia en la naturaleza. Específicamente, el cromo (II) es considerado como un nutriente muy esencial para el organismo humano, ya que interviene en la conservación de los lípidos, la insulina también tiene inferencia en el metabolismo de la glucosa, así mismo lo podemos encontrar en vegetales, frutas y carnes, sin embargo, la falta de este elemento puede ocasionar la diabetes.

Se puede inferir que, el manejo inadecuado genera la capacidad de oxidarse y formar radicales libres, causando efectos cancerígenos, puesto que, al mantener la inhalación prolongada causa problemas respiratorios como el asma, bronquitis, neumonía, alergias, dificultades en la piel entre otros (Pellegrini et al., 2018, pp.1-7).

#### **1.2.8.1. Aplicación y contaminación del Cromo**

El cromo es un elemento que se encuentra en rocas, plantas, animales, humanos y gases volcánicos. Cabe destacar que, el cromo más común es el trivalente en este estado de oxidación el cromo tiene aplicaciones de gran relevancia, así es el caso para promover la acción de la insulina, no obstante, en otros campos se lo utiliza para la producción de acero inoxidable, colorantes textiles, conservación de madera y cuero. En cuanto el cromo hexavalente, tiene usos como pigmentos de cromato en tintes, pinturas, tintas y plásticos (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala, 2010).

La problemática que el cromo presenta es al tener una exposición alta, puede causar afectaciones en la salud, como en las personas que trabajan en soldaduras o en acero inoxidable, aquellos que manejan productos que contienen cromato, pues en la práctica laboral los individuos tienen a inhalar cromo hexavalente atentando a su salud y causando cáncer o enfermedades respiratorias. Es necesario regularizar el uso del cromo con parámetros que rigen la exposición a este metal, el límite permisible que las empresas deben cumplir es de  $5 \mu g/ m^3$  esto para un período de ocho horas (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala, 2010).

### **1.2.9. Remoción del Cromo (Cr)**

Existen varios métodos para poder lograr una disminución de la concentración de cromo en aguas residuales tales como:

- Precipitación Química
- Precipitación electroquímica
- Intercambio Iónico
- Extracción con solventes
- Osmosis inversa
- Adsorción

El método más eficiente que se ha podido determinar es el de adsorción, ya que es una forma de remover económicamente accesible y eficaz. Adicional, el carbón activado es un adsorbente que se caracteriza por tener una alta superficie específica, y porosidad desarrollada, además, se presenta grupos funcionales en su superficie, lo que le proporciona una gran capacidad de adsorción de los contaminantes, metales pesados y compuestos orgánicos (Pellegrini et al., 2018, p.1).

### **1.2.10. Colorimetría**

La colorimetría es una técnica de medida que se basa en la absorción de radiación en la zona visible con sustancias coloreadas, pues brinda información cualitativa y cuantitativa sobre sustancias que se encuentran en disolución. Es decir, se manejan los sistemas que cuantifican el color y se basan en tres variables que poseen aspectos colorimétricos:

**Luminosidad:** mide la intensidad de radiación, esto hace referencia cuando se habla de un color tiene mucho brillo o poco brillo, se simboliza con L y su unidad de medida es (Cd/m<sup>2</sup>).

**Longitud de onda:** es la longitud de radiación monocromática, se refiere a la matriz o el tono del color. Se simboliza con  $\lambda$  y su unidad de medida es (nm) o (mm) se lo representa también en Angstrom.

**Pureza:** la magnitud que se encuentra la dilución de un color en blanco, esta contiene un índice de variable entre 0 y 1, se simboliza con P.

### **1.2.11. Ley de Lambert- Beer**

La ley de Lambert- Beer relaciona la fracción de luz incidente absorbida en una solución, dirigida a una longitud de onda la cual se encuentra vinculada con el paso óptico y con la concentración de la especie absorbente, por lo consiguiente, corresponde la absorbancia de luz monocromática y la concentración de un cromóforo en solución (Aparicio, 2017, pp.18-23).

$$A = \log I/I_0 = \epsilon \cdot c \cdot l$$

donde:

A= Absorbancia (adimensional)

$\epsilon$  = Coeficiente de extinción molar ( $M^{-1} \cdot cm^{-1}$ )

La aplicación de esta ley es en el uso del colorímetro, en ella se determina su concentración de una variedad de moléculas que absorbe luz. Fundamentalmente, la ley se cumple en soluciones diluidas en las que los valores de  $c$  altos,  $\epsilon$  tiene una variación en la concentración por los fenómenos de dispersión de la luz, cambios del medio, etc., (Aparicio, 2017, pp.18-23).

### ***1.2.12. La Guayaba***

La guayaba o *Psidium guajava* L., se la denomina como uno de los frutos más conocidos en varias partes del mundo, en lo que respecta a la producción mundial de guayabas esta oscila cerca de 1.2 millones de toneladas, los países que más aportan a esta industria son: México produce el 25% y el resto lo aportan otros países como Colombia, Egipto y Brasil. El cultivo de la guayaba tiene un período de vida relativamente corto, ya que se lo cosecha con un color verde amarillento y alrededor los ocho días tiende a dañarse; el fruto tiene una forma ovalada, es carnoso con semillas que están impregnadas en la pulpa con un diámetro de 4 a 8 cm y con un peso que esta entre los 50 y 500 g, el pH es de 4,1- 5,4 y una densidad de 1,88 g/cm<sup>3</sup>, el tipo de fruto es de color blanco, crema o rosa y el tiempo de producción desde la floración hasta que llega la cosecha esta entre los 100-150 días (Yam et al., 2010, p. 74-82).

### ***1.2.13. Semilla de la guayaba***

La semilla de la guayaba tiene un 16% de aceite, 61,4% de fibra cruda y 7,6% de proteína por lo que se le considera que es una buena fuente de aceite comestible, las semillas de la guayaba tienen diferentes utilidades, como en la elaboración de ingredientes alimentarios como el monoacilglicerol y diacilglicerol. Se ha verificado, que al contener estas diversas propiedades la semilla de la guayaba es muy útil para la elaboración de aceite de guayaba, de esta manera proporciona una alta cantidad de ácido palmítico y el ácido esteárico, mismos que podrían ser utilizados para la elaboración de jabones, lubricantes y suavizantes. Además, contiene un alto porcentaje de fibra cruda lo que contribuye a obtener un carbón activado (Kapoor et al., 2020, pp.1-8).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Objetivos

##### 2.1.1. *General*

Remover el Cromo III y Plomo II en solución acuosa, utilizando carbón activo obtenido de las semillas de Guayaba.

##### 2.1.2. *Específicos*

- Identificar las condiciones óptimas de pH, dosis de bioadsorbente y tiempo de contacto para lograr una máxima capacidad de adsorción de los metales en solución acuosa.
- Realizar los estudios cinéticos e isothermas de adsorción de cromo y plomo bajo las condiciones óptima.
- Aplicar las condiciones óptimas desarrolladas en el laboratorio en una muestra del efluente de la etapa de curtido.

#### 2.2. Hipótesis General y especificación de variables

##### 2.2.1. *Hipótesis General*

El carbón activado obtenido a base de las semillas de Guayaba, servirá como adsorbente para la remoción de cromo III y plomo II.

##### 2.2.2. *Hipótesis Específicas*

**H1:** El pH tendrá una influencia para la remoción de los metales pesados utilizando adsorbentes.

**H2:** La temperatura desempeñará un rol importante, en la eficacia del material adsorbente, determinando una de las condiciones óptimas para su efectividad.

**H3:** La dosificación que se aplicará en las muestras problema, tendrá una gran relevancia en los resultados obtenidos para la remoción de estos metales.

### 2.3. Identificación de Variables

**Tabla 1-2.** Identificación de variables

| Variable dependiente           | Variable independiente |
|--------------------------------|------------------------|
| Eficiencia del adsorbente      | pH                     |
|                                | Concentración solución |
| Concentración del contaminante | Dosis adsorbente       |
|                                | Temperatura            |

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.

### 2.4. Operacionalización de Variables

**Tabla 2-2.** Operacionalización de las variables que intervienen en el proceso de remoción de plomo II y cromo III

| Variable                     | Tipo variable | Definición operacional  | Indicadores            |
|------------------------------|---------------|---|------------------------|
| pH                           | Independiente | Es la medida de acidez o alcalinidad, que nos indica la cantidad de iones de hidrogeno que están presentes en una solución. | Acido, Básico o neutro |
| Concentración de la solución | Independiente | Es la magnitud que mide la cantidad de soluto o solvente que se encuentra en una solución.                                  | Molaridad              |
| Diseño del adsorbente        | Independiente | Es una porción significativa del material a utilizar.   | Peso                   |
| Temperatura                  | Independiente | Es la cantidad de calor que se encuentra o que posee un cuerpo, objeto o un ser vivo.                                       | Termómetro             |

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.

## 2.5. Matriz de Consistencia

**Tabla 3-2.** Matriz de Consistencia

| APECTOS GENERALES   |  |   |
|---|--|---|
| Problema General  | Objetivo General   | Hipótesis General   |
| <p>El cromo III y plomo II son metales pesados, causantes de un gran porcentaje de contaminación y problemas ambientales, la dificultad está presente en los desechos de ciertas industrias, que trabajan con esta clase de metales y no ejecuta una correcta eliminación. En la industria de las curtiembres el cromo es uno de los materiales principales para su proceso, así como, el plomo de igual manera que el cromo si no se tiene un control en su desecho puede causar un sin número de problemas tanto para la naturaleza como para el ser humano. Es por ello que, se plantea su remoción trabajando con carbón activo proveniente de las semillas de guayaba para su posterior eliminación.</p> | <p>Remover el Cromo III y Plomo II en solución acuosa, utilizando carbón activo obtenido de las semillas de Guayaba.</p> | <p>El carbón activado obtenido a base de las semillas de Guayaba, servirá como adsorbente para la remoción de cromo III y plomo II.</p> |

| ASPECTOS ESPECIFICOS  |  |  |                                    |   |
|---|--|--|------------------------------------|---|
| Problemas específicos   | Objetivos específicos  | Hipótesis específicas  | Variables de hipótesis específicas | Técnicas de recolección de datos  |
| El pH es sumamente importante para determinar estos metales, ya que es factible determinar su alcalinidad o su acidez, que de la misma forma serán analizados para saber las cantidades que se deberán utilizar y bajo qué condiciones ideales podría tener un mejor rendimiento el carbón activado.<br>Conociendo que, al tener un pH básico este presenta mayor retención de los metales como el plomo. | Identificar las condiciones óptimas de pH, dosis de adsorbente y tiempo de contacto para lograr una máxima capacidad de adsorción de los metales en solución acuosa. | El pH tendrá una influencia para la remoción de los metales pesados utilizando adsorbentes.  | pH                                 | pHmetro   |
| Los isothermas de adsorción se deberán analizar según el pH y las temperaturas a las que se trabaje se podrá tener valores que nos indicaran si son óptimas para la remoción del cromo y del plomo.   | Realizar los estudios cinéticos e isothermas de adsorción de cromo y plomo bajo las condiciones óptima.  | La temperatura desempeñara un rol importante, en la eficacia del material adsorbente, determinando una de las condiciones óptimas para su efectividad. | Temperatura                        | Termómetro:<br>Cálculo de isoterma por el modelo de Langmuir y Freundlich |
| Poder determinar las condiciones ideales a las que el carbón activo pueda tener un gran efecto para la remoción de los metales en la solución.  | Aplicar las condiciones óptimas desarrolladas en el laboratorio en una muestra del efluente de la etapa de curtido.  | La dosificación que se aplicará en las muestras problema, tendrá una gran relevancia en los resultados obtenidos para la remoción de estos metales     | Concentración                      | Molaridad   |

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.



## **2.6. Tipo y Diseño de Investigación**

### **2.6.1. Tipo de investigación**

La investigación propuesta es de tipo exploratoria, esta contara con el análisis e investigación experimental en el que se interpretaran los datos obtenidos, analizando así los objetivos e hipótesis planteados, los cuales podrían ser utilizados como aporte para la ingeniería en el estudio de la remoción de metales pesados por adsorción (Miler, 2011, pp.621-624).

#### **2.6.1.1. Método cuantitativo**

Mediante el método cuantitativo se podrá analizar parámetros cinéticos e isothermas de adsorción el cual consiste en cuantificar la relación entre la cantidad adsorbida por la superficie y la concentración del líquido.

La investigación propuesta se la realiza mediante la experimentación con el plomo II y cromo III para ello, se emplearán variables como el pH, la dosis de carbón activo, concentración y posteriormente, realizar los estudios cinéticos e isothermas.

## **2.7. Diseño experimental de la investigación**

El diseño experimental de la investigación, abarca un conjunto de técnicas de análisis para la elaboración de modelos estadísticos. El cual, consiste planear un experimento que nos permitirá obtener datos adecuados que facilitaran el análisis e interpretación de resultados y obtener conclusiones válidas.

Para estudiar la influencia de las variables, se desarrolló un diseño factorial de cuatro niveles: pH, temperatura, dosis del adsorbente y agua contaminada.

### **2.7.1. Materiales y métodos**

El presente trabajo de investigación utiliza materiales y reactivos que están disponibles en los laboratorios de la Facultad de Ciencias que se encuentra en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El diseño experimental de la investigación, se desarrolló en base al objetivo de remover el cromo III y el plomo II de una solución acuosa, por tal motivo, el material adsorbente seleccionado es el carbón activo obtenido de las semillas de Guayaba. Para la remoción de plomo II y cromo III se determinarán diferentes parámetros los cuales son: dosificación, cinética, isothermas y pH.

#### *2.7.1.1. Estudio de dosificación del adsorbente para plomo II*

Se trabajo con una solución estándar a 20 ppm de Nitrato de plomo ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ), además, se utilizó diferentes cantidades de carbón activado de 0,25g; 0,50g y 0,75g en 3 muestras de 100 ml de la solución inicial.

Posteriormente, se agita las muestras en un Shaker por un tiempo de 12 horas, al término de este, se filtran las muestras y se las analiza en un espectrofotómetro para trabajar con la dosis de mejor resultado.

#### *2.7.1.2. Estudio cinético del adsorbente para plomo II*

Se trabajó con una solución estándar a 20 ppm de Nitrato de plomo ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ), se agregó 0,25g de adsorbente, que fue, la cantidad que mejor resultado arrojó en la dosificación, por consiguiente, se agita por un tiempo de 6 horas en un Shaker, la primera hora se extraen alícuotas de 2 ml cada 10 minutos, al término de la primera hora se sustrae muestras de 2 ml cada 30 minutos, hasta completar el tiempo establecido. Cada alícuota extraída se filtra inmediatamente y se afora a 50 ml. Posterior a esto, cada muestra se la analiza en un espectrofotómetro para determinar el tiempo de contacto del carbón activado con la muestra.

#### *2.7.1.3. Variación de la temperatura para la determinación de las Isotermas de Freundlich y Langmuir en plomo II*

En el proceso, se manejó con una solución de Nitrato de plomo ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ), en una concentración de 20 ppm, se agregó 0,25g de carbón activado en 4 muestras de 100 ml, se introduce en un Shaker, a diferentes temperaturas de 30°C, 40°C, 50°C y 60°C, por un tiempo de 2 horas de agitación, que fue el tiempo de mejor resultado nos dio en la cinética de adsorción; se filtran las muestras, con papel filtro para posterior a esto, analizarlas en un espectrofotómetro y determinar los datos para el cálculo de las isotermas de Freundlich y Langmuir.

#### *2.7.1.4. Análisis del pH para el Plomo II*

Se trabajó con una solución estándar a 20 ppm de nitrato de plomo ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ), se toman muestras de 100 ml y se las ajusta a pH 3 , pH 7 y pH 9 , utilizando hidróxido de amonio. Además, se agrega 0,25g de carbón activado, para la agitación en un shaker, se lo programa a una temperatura de 30°C por un tiempo de 2 horas. Finalizado el tiempo de agitación se filtraron las muestras para analizarlas en un espectrofotómetro y determinar el pH de adsorción.

#### 2.7.1.5. *Proceso de oxidación de Cromo III a Cromo VI*

Se preparó una muestra de 1000 ppm de Sulfato básico Cromo  $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$ , en el que se aplicó dos gotas de naranja de metilo para que la solución tome un color justo básico, posteriormente, se añadió  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 + 1, gota a gota hasta que se vuelva ácida más 1 ml adicional, se añadió pedacitos de plato poroso y caliente a ebullición. Además, se adicionaron dos gotas de solución de  $\text{KMnO}_4$  para obtener un color rojo oscuro.

En el caso de que el color se torne pálido se puede añadir  $\text{KMnO}_4$  hasta mantener un color rojo oscuro, a su vez se dejó hervir por 2 minutos más y se añade 1 ml de solución de  $\text{NaN}_3$  y continuamos con una suave ebullición. De la misma forma se prolonga la ebullición un minuto más hasta que el color desaparezca por completo. Se dejó enfriar y luego se añadió 0,25ml de  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , así mismo se utilizó  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,2N y un pH-metro para ajustar la solución a  $\text{pH } 1,0 \pm 0,3$ . Adicional se añade, 2 ml de solución difenilcarbazida y se dejó reposar de 5 a 10 minutos para el total desarrollo de color.

#### 2.7.1.6. *Estudio de dosificación del adsorbente para Cromo III*

Para el estudio, se aplicó con una solución estándar a 1000 ppm de, Sulfato básico Cromo  $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$  empleando diferentes cantidades de carbón activado de 0,25g; 0,50g y 0,75g en 3 muestras de 100 ml de la solución inicial. Posteriormente, se agita las muestras en un Shaker por un tiempo de 12 horas, al término de este, se filtran las soluciones con carbón activado. Las 3 muestras se realizan el proceso de oxidación de cromo III a cromo VI y se las analiza en un espectrofotómetro de infrarrojo, para trabajar con la dosis de mejor resultado.

#### 2.7.1.7. *Estudio cinético del adsorbente para Cromo III*

En el estudio cinético, se trabajó con una solución estándar a 20 ppm de Sulfato básico Cromo  $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$ , en el que se agregó 0,75g de adsorbente, misma cantidad que mejoró el resultado en la dosificación, subsiguientemente se agito por un tiempo de 6 horas en un Shaker.

La primera hora se extraen alícuotas de 2 ml cada 10 minutos, al término de la primera hora se sustrae muestras de 2 ml cada 30 minutos, hasta completar el tiempo establecido en cada alícuota extraída se filtra inmediatamente y se afora a 50 ml. Posterior a esto, cada muestra se realiza el proceso de oxidación de cromo III a cromo VI y se las analiza en un espectrofotómetro de infrarrojo para determinar el tiempo de contacto del carbón activado con la muestra.

#### *2.7.1.8. Variación de la temperatura para la determinación de las Isotermas de Freundlich y Langmuir en plomo II*

Se trabajó con una solución de Sulfato básico Cromo  $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$ , en una concentración de 1000 ppm, se agregó 0,75g de carbón activado en 4 muestras de 100 ml, se introduce en un shaker, a diferentes temperaturas de 30°C, 40°C, 50°C y 60°C, respectivamente, por un lapso de 2 horas de agitación, que fue el tiempo de mejor resultado en la cinética de adsorción, a continuación se filtran las muestras por medio de papel filtro para posterior a esto, realizar el proceso de oxidación de cromo III a cromo IV y analizarlas en un espectrofotómetro de infrarrojo para determinar los datos para el cálculo de las isotermas de Freundlich y Langmuir.

#### *2.7.1.9. Análisis del pH para el Cromo III*

En el análisis se empleó una solución estándar a 1000 ppm de Sulfato básico Cromo  $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$ , se tomaron muestras de 100 ml y se las ajusto a pH 3 ácido, pH 7 neutro y pH 9 básico, utilizando hidróxido de amonio. Además, se agrega 0,75g de carbón activado, para la agitación en un shaker, se lo programa a una temperatura de 30°C por un tiempo de 2 horas. Finalizado el período de agitación, se procede a la filtración de las muestras y se realiza el proceso de oxidación de cromo III y cromo VI para analizarlas en un espectrofotómetro de infrarrojo y determinar el pH de adsorción.

### **2.8. Unidad de Análisis**

La unidad de análisis del presente trabajo de investigación a tratar es el agua, en el cual se analizarán muestras sintéticas, en diferentes ensayos los cuales nos arrojarán resultados, que posteriormente se los comparará con muestras de aguas provenientes de industrias.

Una vez obtenido estos resultados se realizará la validación del modelo cinético mediante cálculos de parámetros cinéticos.

### **2.9. Población de Estudio**

La población de estudio a la que se hace hincapié, es las aguas residuales las cuales tienen un alto porcentaje de metales pesados los cuales hace mucho daño al medio ambiente.

### **2.10. Tamaño de Muestra**

En la identificación para determinar el tamaño de la muestra, se tomarán ejemplares sintéticos de 100 ml de estos metales a una concentración de 1000ppm para el cromo III y 20 ppm para el plomo II, las cuales serán analizadas por espectrofotómetro.

### **2.11. Selección de muestra**

El presente trabajo se determinará la adsorción de cromo III y plomo II mediante muestras sintéticas.

### **2.12. Técnicas de Recolección de Datos**

En lo que respecta a la recolección de datos será mediante fuentes bibliográficas, sitios webs, además de registros sobre el proceso que permitirá analizar las muestras para identificar los resultados.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En concordancia con el apartado anterior, se determinarán los valores óptimos de cada parámetro expuesto. Cabe recalcar que, para todas las pruebas las concentraciones iniciales de plomo II y cromo III son de 20 y 1000 ppm respectivamente. Adicionalmente, para la selección del mejor valor en cada parámetro se seleccionará el porcentaje de adsorción. Para ello, se empleará la siguiente fórmula:

$$\% \text{ adsorción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad \text{Ec. 1-3}$$

Dónde:

$C_i$ = Concentración inicial de contaminante en mg/L

$C_f$ = Concentración final de contaminante mg/L

Ejemplo:

$$\% \text{ adsorción} = \frac{1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 736,923 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \times 100$$

$$\% \text{ adsorción} = 26,307\%$$

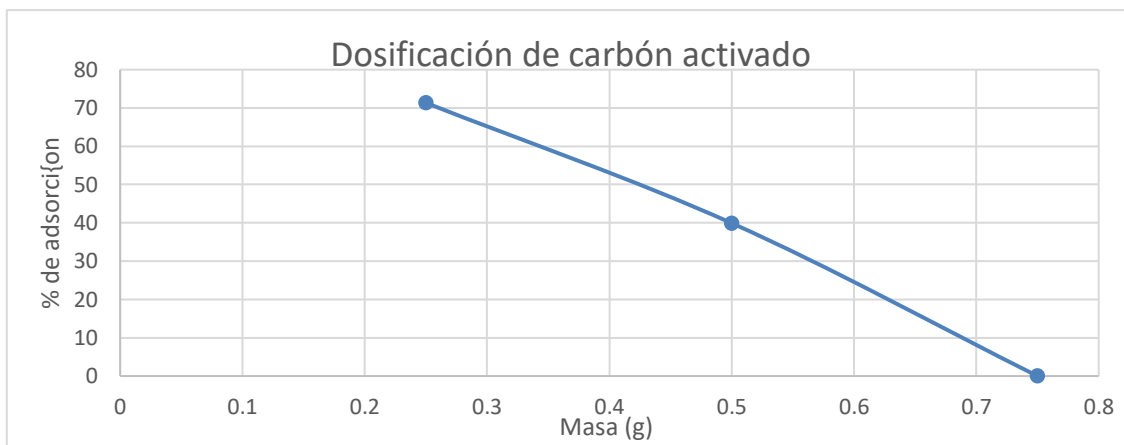
#### 3.1. Dosificación del adsorbente

La dosificación del adsorbente (carbón activado), es una técnica importante en el desarrollo de la experimentación en la remoción de cromo III y plomo II, para la posterior determinación de la eficiencia del adsorbente.

**Tabla 1-3:** Dosificación de carbón activado para el plomo II

| Masa de adsorbente | % de adsorción |
|--------------------|----------------|
| 0,25 g             | 71,33          |
| 0,50 g             | 39,92          |
| 0,75 g             | 0              |

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.



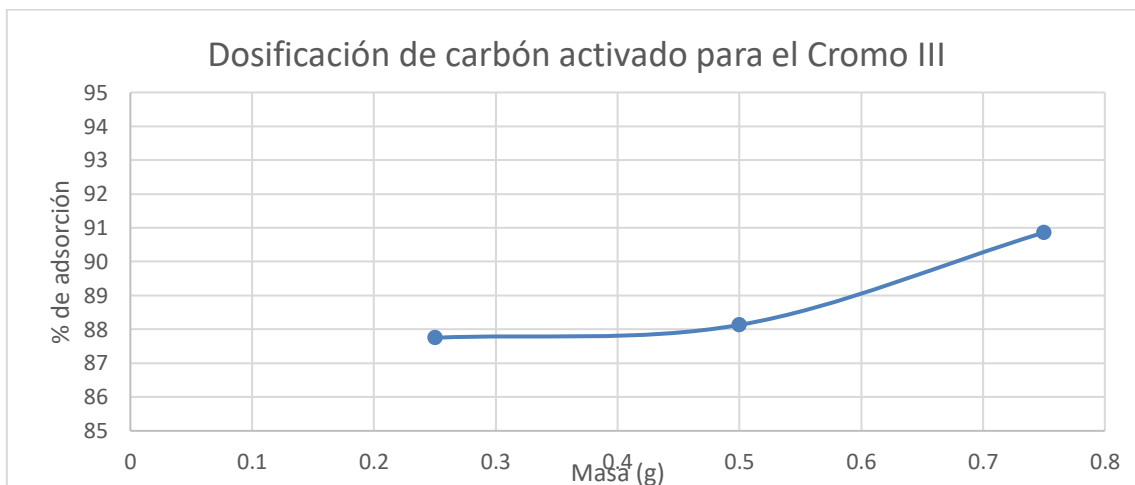
**Gráfico 1-3:** Selección de la dosificación idónea para la remoción de plomo II

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.

**Tabla 2-3.** Dosificación de carbón activado para el cromo III

| Masa de adsorbente | % de adsorción |
|--------------------|----------------|
| 0.25 g             | 87,75          |
| 0.50 g             | 88,1336        |
| 0.75 g             | 90,86          |

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.



**Gráfico 2-3:** Selección de la dosificación idónea para la remoción de Cromo III

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.

El carbón activado se lo empleó en la remoción de cromo III y plomo II respectivamente, para lo cual se determinó la cantidad de carbón activado adecuado, que tendría un mejor rendimiento. Se usó 3 diferentes dosis del adsorbente que fueron de 0,25g, 0,50g y 0,75g para los dos tipos de metales, empleando un tiempo de 12 horas de agitación en un agitador horizontal a 170 rpm. En

el cual obtuvimos que, para el cromo III con una concentración de 1000 ppm la dosis que mejor rendimiento obtuvo fue la de 0,75g que daba un % de remoción del 90,86%.

Para el plomo II se realizó el mismo procedimiento con las tres diferentes dosis de adsorbente, pero con una concentración de 20 ppm, aquí la que mejor resultado nos generó fue la de 0,25g con un % de adsorción del 71,33%

El resultado obtenido en la dosificación nos indica que podría relacionarse con la presencia de poros que se encuentran más activos que otros en la superficie del carbón activado, también se puede determinar que los iones metálicos están en competencia por tratar de ocupar un lugar de adsorción cuando se trabaja con una dosis baja (Sarı, Tuzen, & Soylak, 2007), según lo que nos indica el autor podemos determinar que la dosificación es un proceso muy importante, ya que muestra la capacidad que tiene el carbón activado para adsorber estos metales dependiendo de las condiciones que estén presentes.

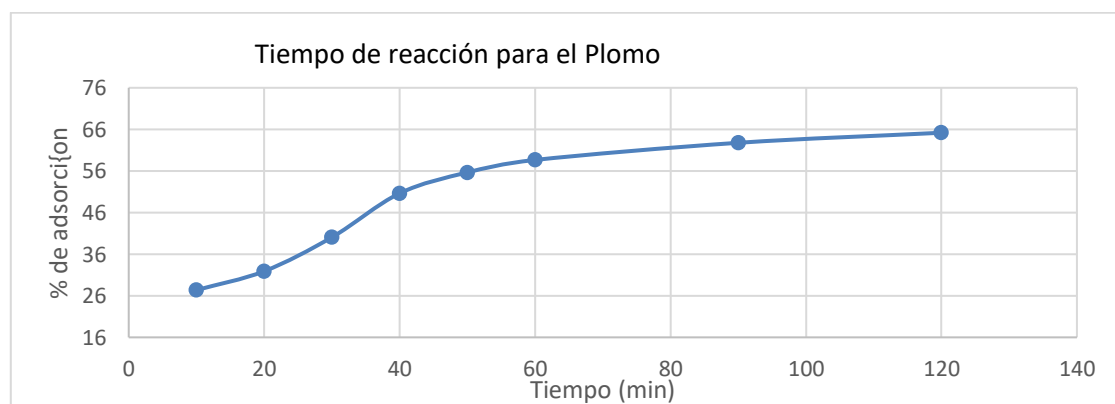
### 3.2. Tiempo de agitación o de contacto

El tiempo de agitación es un parámetro que se debe tomar siempre en cuenta para la realización de adsorción con metales, mediante este nos indica el período que el adsorbente tiene una mejor eficiencia al momento de remover el metal de la solución acuosa.

**Tabla 3-3.** Selección del mejor tiempo de trabajo

| Plomo II     |                | Cromo III    |                |
|--------------|----------------|--------------|----------------|
| Tiempo (min) | % de adsorción | Tiempo (min) | % de adsorción |
| 0            | 0              | 0            | 0              |
| 120          | 65,2           | 120          | 65,247         |

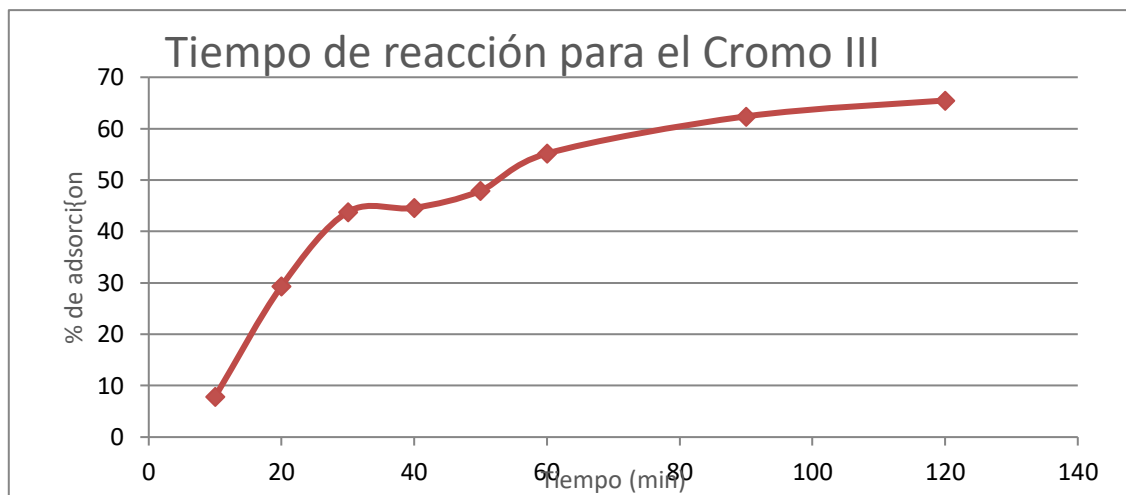
Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.



**Gráfico 3-3:** Tiempo de reacción para el Plomo II

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.





**Gráfico 4-3:** Tiempo de reacción para el Cromo III

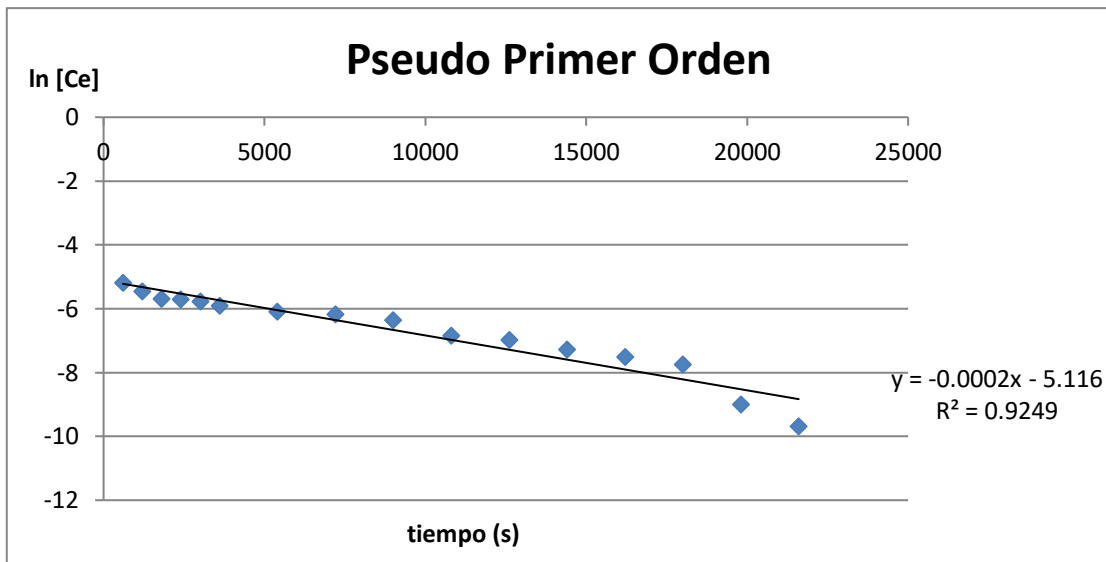
Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.

El tiempo de equilibrio se lo determinó en un lapso de 6 horas, en el cual se tomaron muestras de 2 ml cada 10 minutos durante la primera hora y luego cada 30 minutos hasta completar el tiempo establecido. Como podemos observar en las figuras 3-3 y 4-3 durante los primeros 120 minutos obtenemos valores no muy alejados entre sí, donde el % de adsorción (mg/L) tanto para el Cr (III), como para el Pb (II) mantienen valores cercanos desde los 10 primeros minutos hasta llegar a las 2 horas, pasado este tiempo la cantidad de iones absorbida va variando de forma muy espontánea con valores muy diferentes.

Posteriormente, se evidencia que el aumento de tiempo en los dos metales no tiene una gran relevancia, por lo que, el tiempo elegido como el óptimo para este carbón activado es de 120 minutos, y a su vez nos da un porcentaje de adsorción para el plomo de 65,2% y de 65,24% para el cromo.

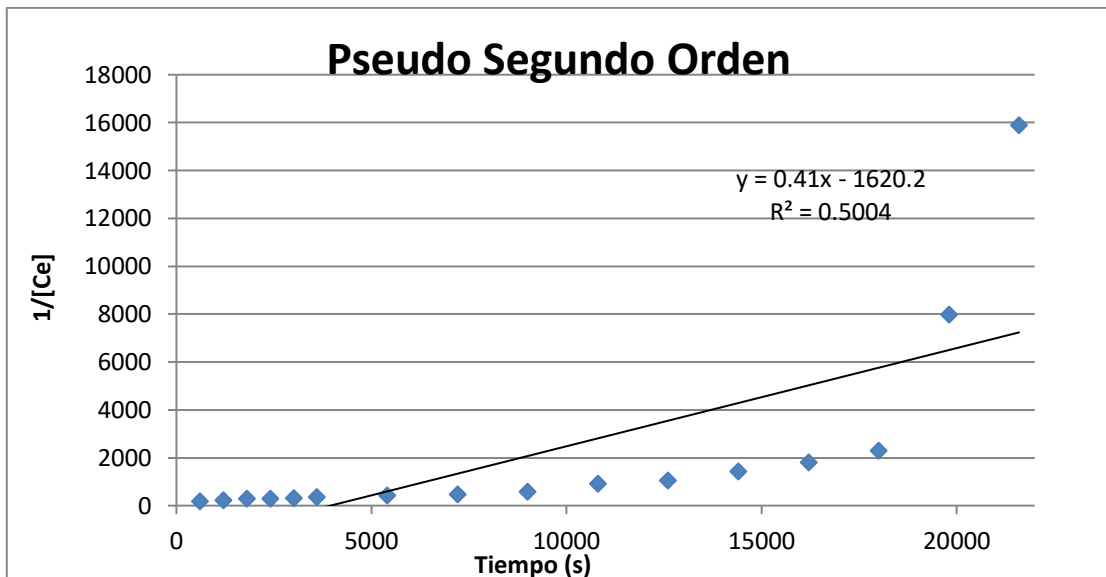
### 3.3. Cinética de adsorción

Fundamentalmente, para lograr realizar la investigación de adsorción y los posibles controles de velocidad, así como los procesos de reacción química y de transporte de masa, se empleó modelos cinéticos y a su vez los valores se los obtuvo mediante regresión lineal.



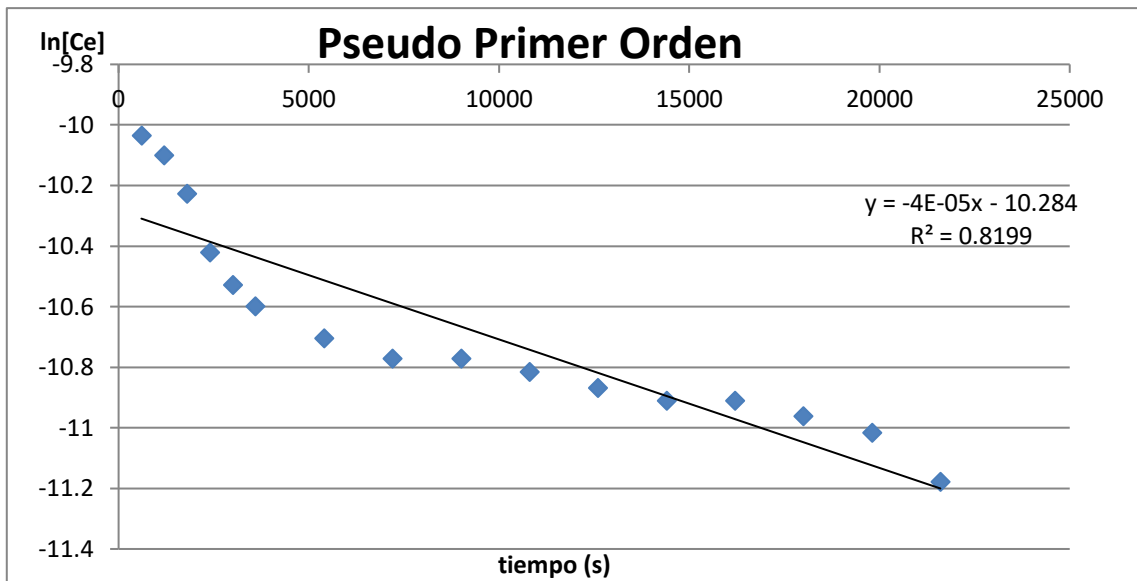
**Gráfico 5-3:** Pseudo Primer Orden cromo III

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.



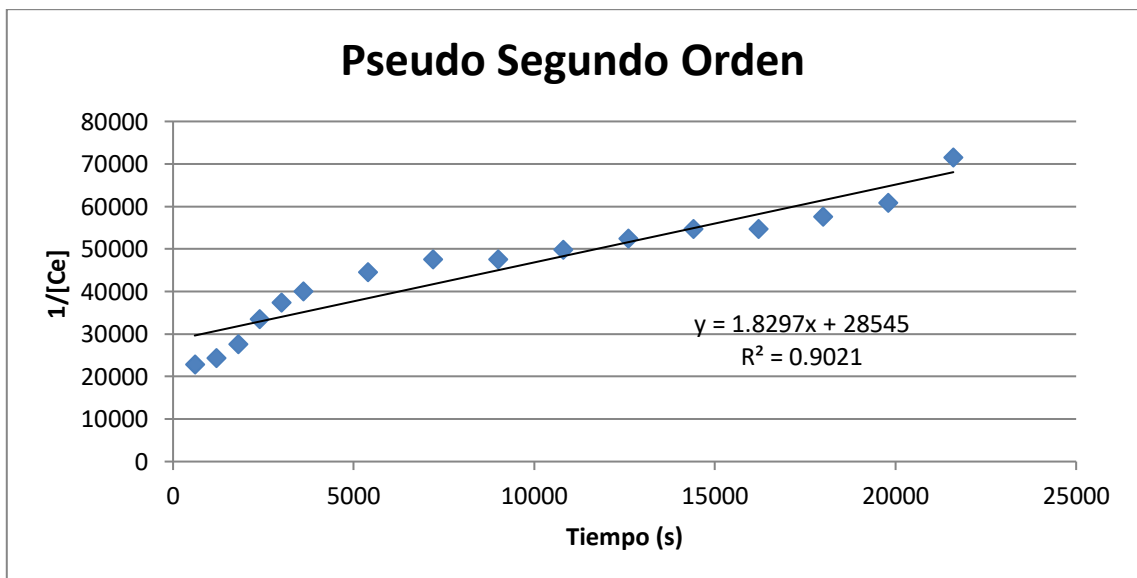
**Gráfico 6-3:** Pseudo segundo orden del cromo III

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.



**Gráfico 7-3:** Pseudo Primer Orden plomo II

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.



**Gráfico 8-3:** Pseudo Segundo Orden plomo II

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.

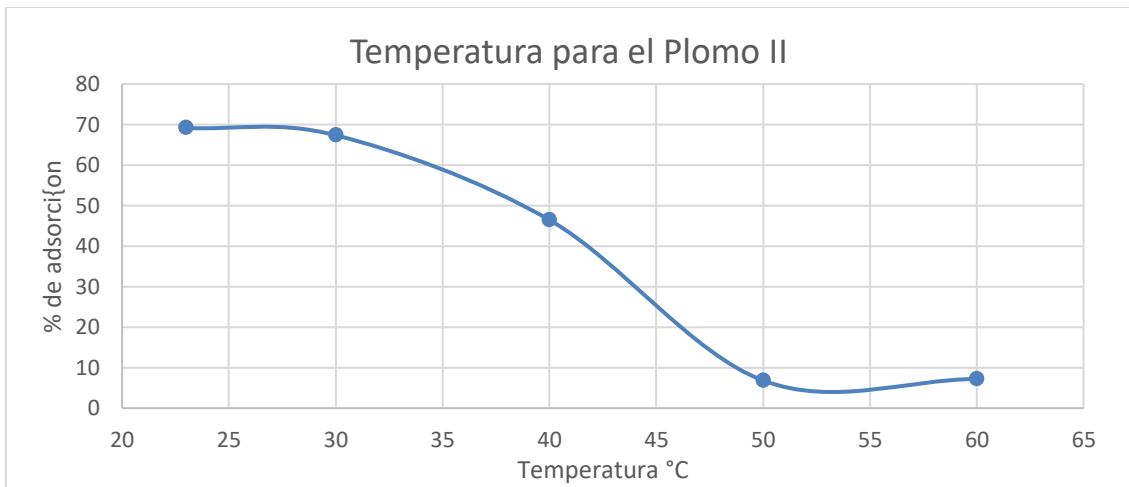
Los ajustes de pseudo primer y segundo orden nos dan valores diferenciados para el cromo III y el plomo II, en el caso del cromo III tenemos que los coeficientes de correlación lineal ( $R^2$ ) son de 0,92 y 0,50 respectivamente mientras que para el plomo II fueron de 0,81 y 0,90.

La adsorción de iones de Cr (III) se describe mejor con un modelo cinético pseudo primer orden a diferencia del Pb (II) que se ajusta a un modelo cinético pseudo segundo orden.

### 3.4. Temperatura de adsorción

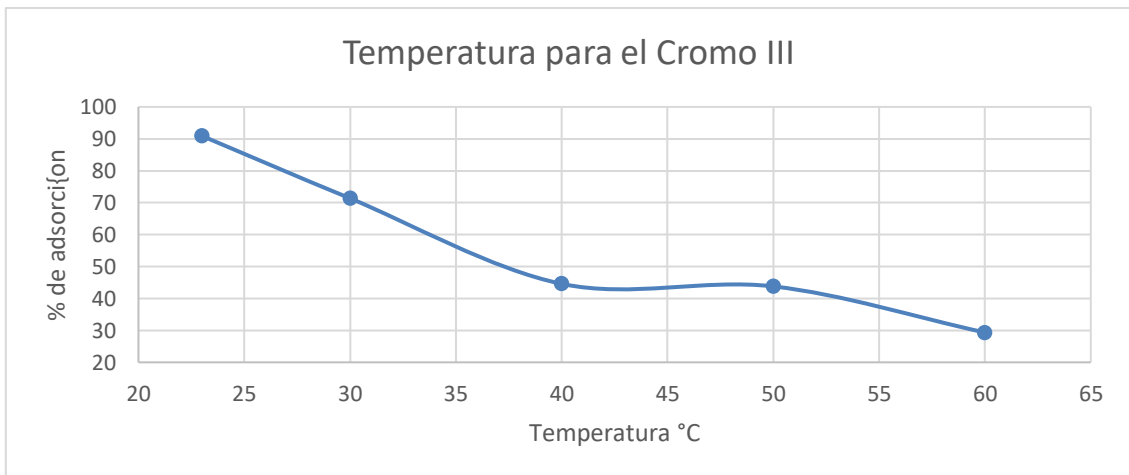
La temperatura en los procesos de adsorción corre un papel importante, ya que cada adsorbente actúa de mejor manera a ciertas condiciones, para el presente caso se hicieron pruebas a 4 temperaturas, estas fueron: 25°C, 40°C, 50°C, 60°C.

Las muestras fueron analizadas en un tiempo de 120 minutos, a las concentraciones ya establecidas 1000 ppm para cromo III y 20 ppm para plomo II, con una dosificación de carbón activado de 0,75g y 0,25g respectivamente.



**Gráfico 9-3:** Selección de la temperatura para el plomo II

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.



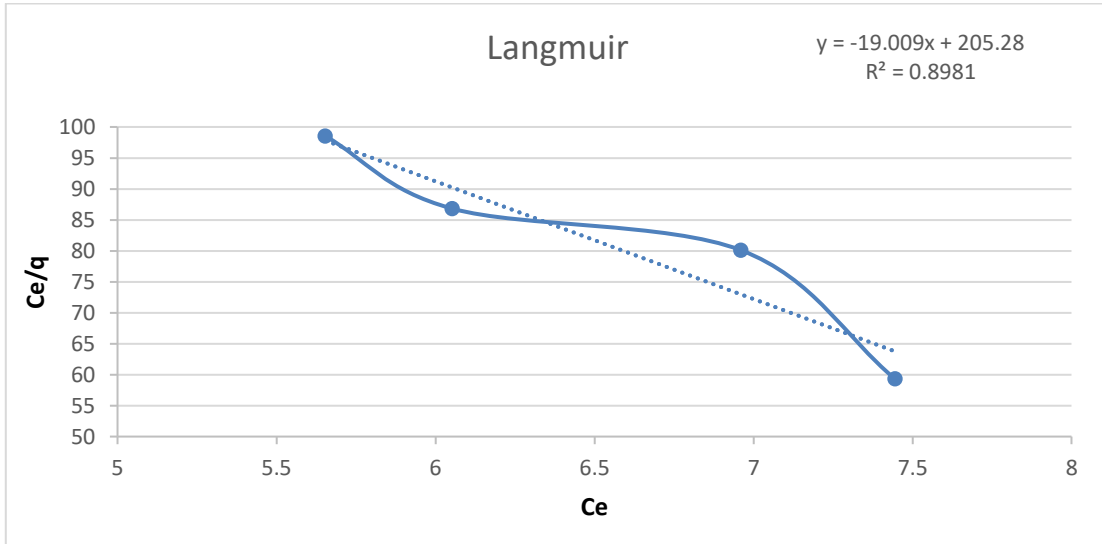
**Gráfico 10-3:** Selección de la temperatura para el cromo III

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.

Podemos notar que la adsorción es inversamente proporcional a la temperatura, en los gráficos 9-3 y 10-3 se observa un mejor rendimiento a valores bajos, a diferencia de las temperaturas altas

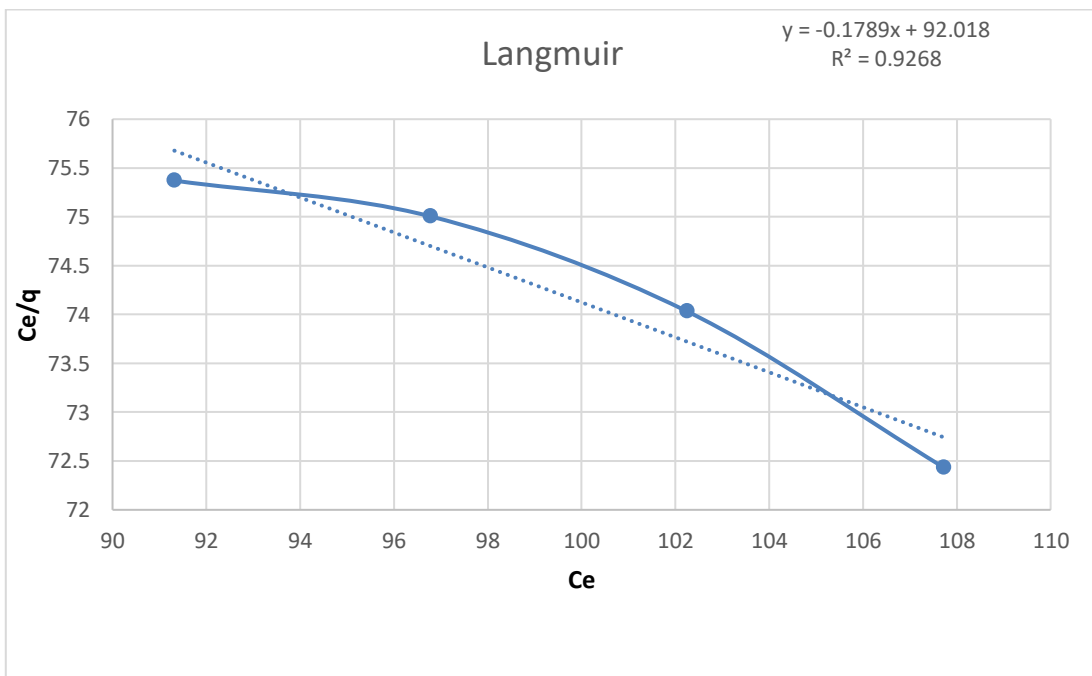
donde la funcionabilidad del adsorbente se reduce considerablemente, por lo que determinamos que nuestro carbón activado tiene un mejor rendimiento a la temperatura de 23 °C.

### 3.4.1. Isoterma de Langmuir



**Gráfico 11-3:** Isoterma de Langmuir para plomo II

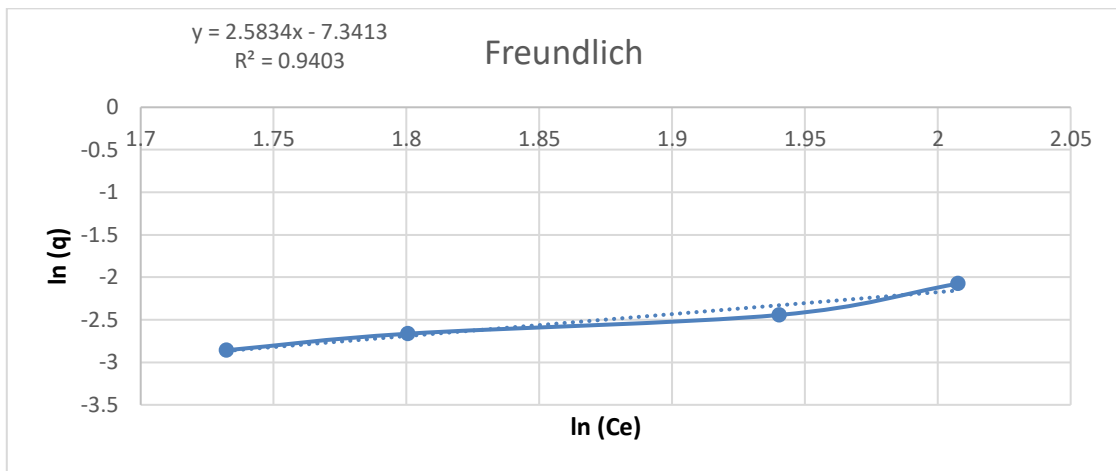
Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.



**Gráfico 12-3:** Isoterma de Langmuir para cromo III

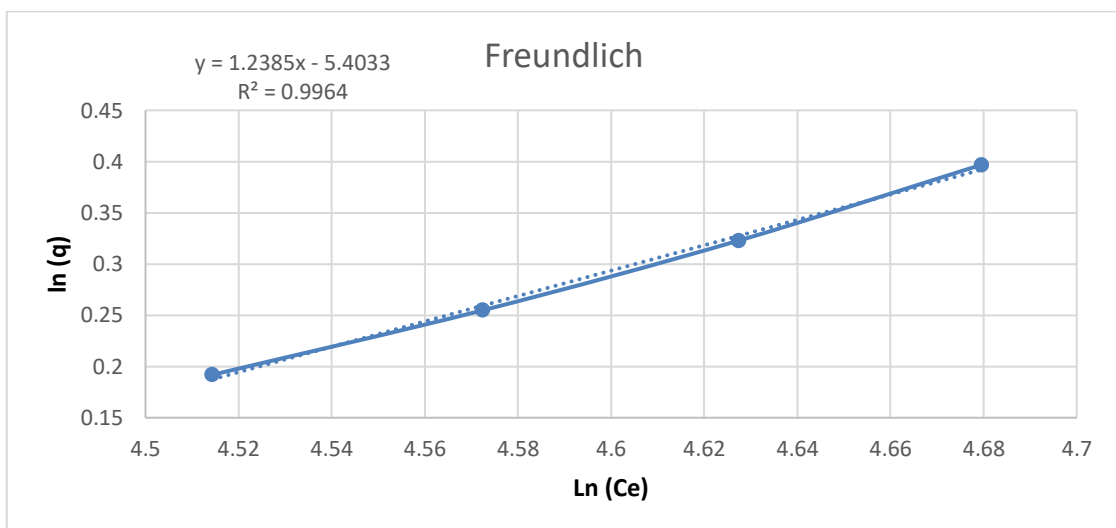
Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.

### 3.4.2. Isoterma de Freundlich



**Gráfico 13-3:** Isoterma de Freundlich para el plomo II

**Realizado por:** Landy, Jeyson, 2022.



**Gráfico 14-3:** Isoterma de Freundlich para cromo III

**Realizado por:** Landy, Jeyson, 2022.

En los gráficos 11-3 y 12-3 se muestra la representación de los datos experimentales de la isoterma de Langmuir para el plomo II y el cromo III, respectivamente, mientras que los gráficos 13-3 y 14-3 representan los datos de la isoterma de Freundlich para los mismos contaminantes, como se observa en los gráficos, el carbón activado que se usó tendrá mayor afinidad a un solo tipo de isoterma, ya sea de Langmuir o de Freundlich, para saber cuál se escoge para cada tipo se determina en coeficiente de correlación lineal  $R^2$ .

**Tabla 4.3.** Parámetros de las isotermas de adsorción del Cromo III

| <b>Langmuir</b> |         | <b>Freundlich</b> |         |
|-----------------|---------|-------------------|---------|
| k               | -0,0019 | n                 | 0,81    |
| b               | -5,5897 | $K_f$             | 0,00451 |
| $R^2$           | 0,9268  | $R^2$             | 0,99    |

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.

**Tabla 5-3.** Parámetros de las isotermas de adsorción del plomo II

| <b>Langmuir</b> |        | <b>Freundlich</b> |           |
|-----------------|--------|-------------------|-----------|
| k               | -0,092 | n                 | 0,39      |
| b               | -0,053 | $K_f$             | 0,2303321 |
| $R^2$           | 0,89   | $R^2$             | 0,94      |

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.

Considerando los coeficientes de correlación  $R^2 = 0,94$  para el plomo II de la isoterma de Freundlich y el coeficiente  $R^2 = 0,99$  de la isoterma de Freundlich para el cromo III, se puede decir que los modelos planteados son buenos tomando en cuenta que:

**Tabla 6-3.** Niveles de correlación para el estudio del modelo

|                   |                        |
|-------------------|------------------------|
| $0 < R^2 < 0,6$   | El modelo es pobre     |
| $0,6 < R^2 < 0,9$ | El modelo es bueno     |
| $0,9 < R^2 < 1$   | El modelo es muy bueno |

Fuente: (Moyano y Veloz, 2016, p.115).

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.

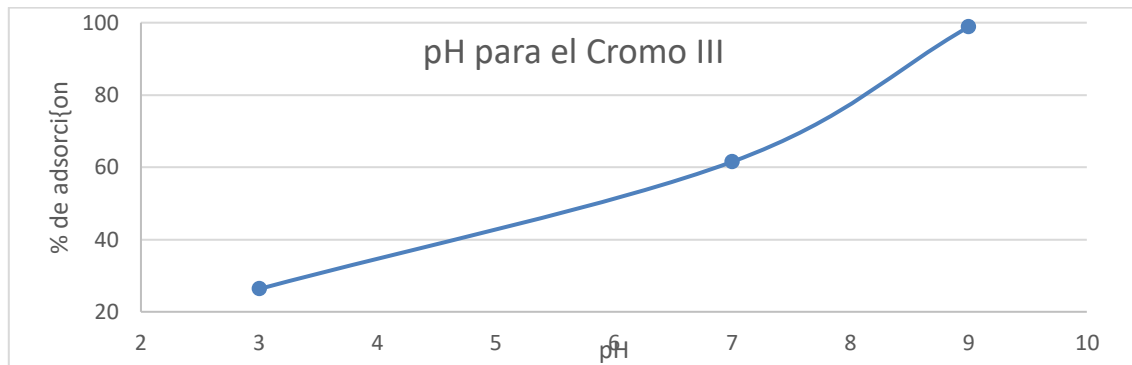
### 3.5. Efecto del pH

Se analizó esta variable con la finalidad de determinar qué tan influyente es el pH de la solución en el proceso de adsorción, para realizar este proceso se tomaron las mejores condiciones determinadas en los métodos anteriores y se las implementó en tres diferentes escenarios, en medio ácido (pH=3), medio neutro (pH=7) y medio básico (pH=9). Para ajustar las diferentes muestras al pH deseado se utilizó hidróxido de amonio concentrado.

**Tabla 7-3.** Resultados del efecto de pH para cromo III

| Valor del pH | % de adsorción |
|--------------|----------------|
| 3            | 26,3077        |
| 7            | 61,498         |
| 9            | 98,8193        |

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.



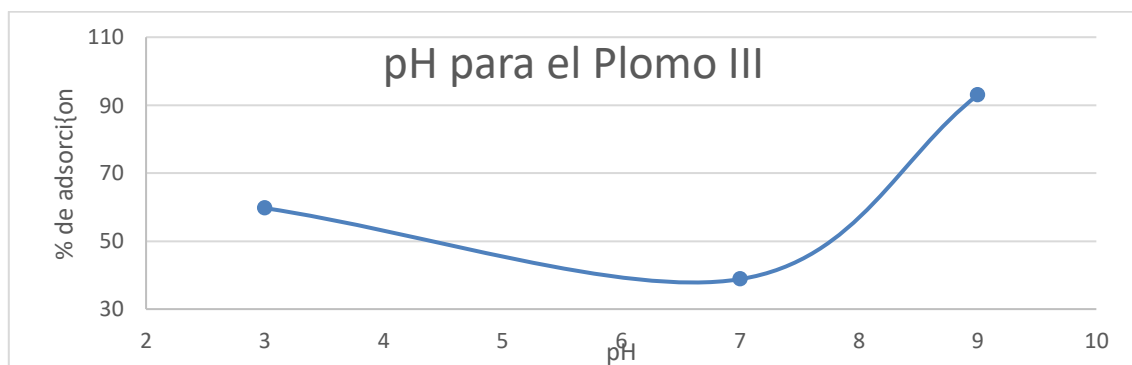
**Gráfico 15-3:** Selección del pH para el cromo

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.

**Tabla 8-3.** Resultados del efecto de pH para plomo II

| Valor del pH | % de adsorción |
|--------------|----------------|
| 3            | 59,7155        |
| 7            | 38,8014        |
| 9            | 92,9479        |

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.



**Gráfico 16-3:** Selección del pH para el plomo

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.

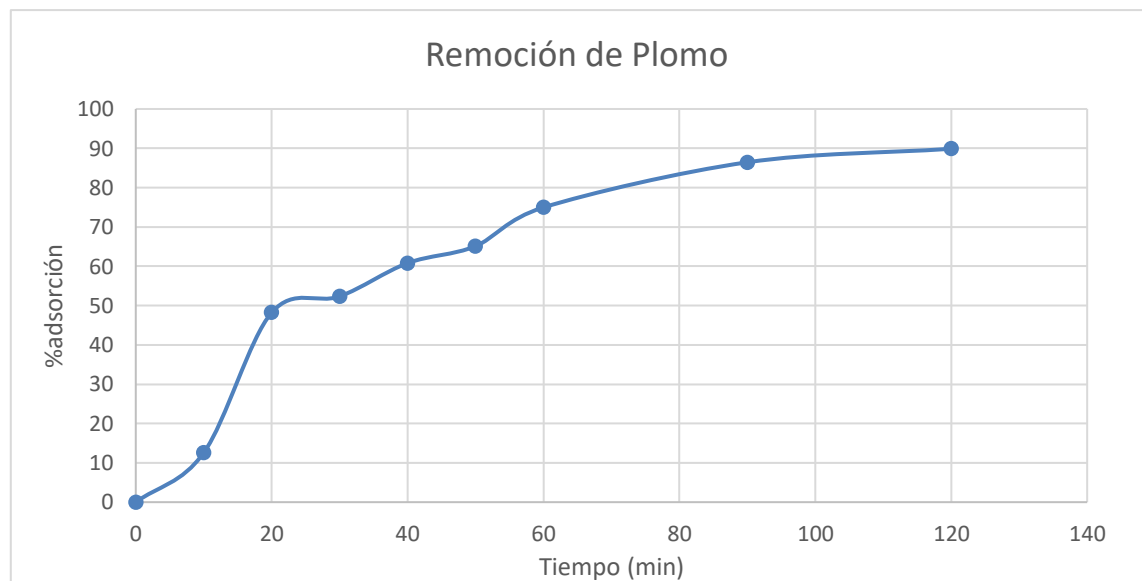


### 3.5.1. Comprobación de los parámetros óptimos con una muestra de agua contaminada

**Tabla 9-3.** Comprobación de los parámetros óptimos de adsorbente

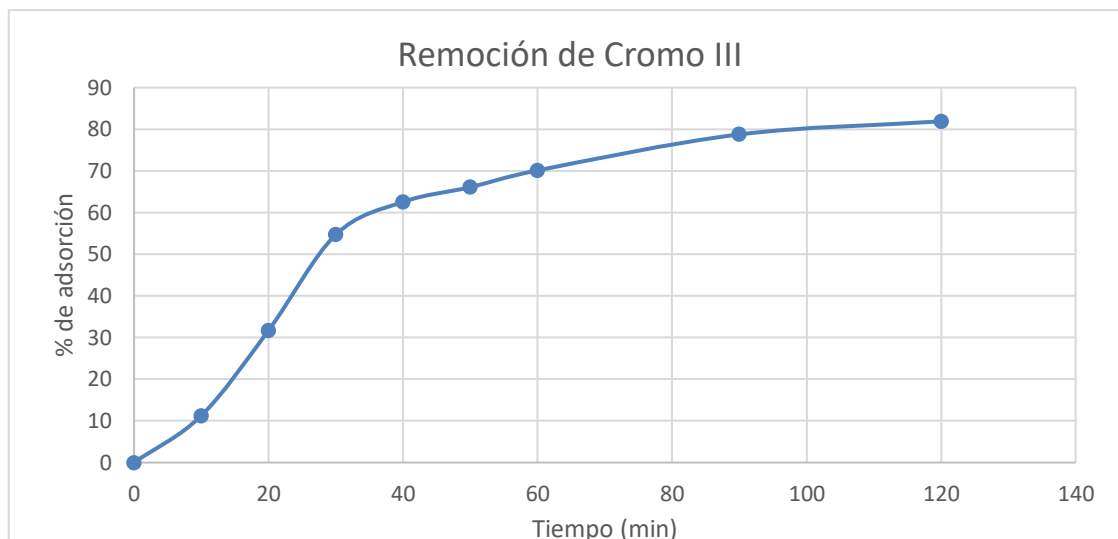
| Plomo II    |                | Cromo III   |                |
|-------------|----------------|-------------|----------------|
| Tiempo      | % de adsorción | Tiempo      | % de adsorción |
| 0 minutos   |                | 0 minutos   | 0              |
| 10 minutos  | 12,57668712    | 10 minutos  | 11,26039667    |
| 20 minutos  | 48,2208589     | 20 minutos  | 31,73384517    |
| 30 minutos  | 52,33128834    | 30 minutos  | 54,7024952     |
| 40 minutos  | 60,79754601    | 40 minutos  | 62,57197697    |
| 50 minutos  | 65,09202454    | 50 minutos  | 66,09085093    |
| 60 minutos  | 74,96932515    | 60 minutos  | 70,1215611     |
| 90 minutos  | 86,44171779    | 90 minutos  | 78,75879718    |
| 120 minutos | 89,87730061    | 120 minutos | 81,89379399    |

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.



**Gráfico 17-3:** Eliminación de plomo en una muestra real

Realizado por: Landy, Jeyson, 2022.



**Gráfico 18-3:** Eliminación de plomo en una muestra real

**Realizado por:** Landy, Jeyson, 2022.

En la tabla 16-3 se demostraron los parámetros óptimos que se obtuvieron a lo largo del presente trabajo: dosificación, pH, temperatura de adsorción, todo en el lapso de tiempo determinado que fue de 120 minutos con una muestra de agua industrial contaminada, tanto con cromo III y plomo II. Como se observa la remoción de dichos contaminantes es bastante notoria, En los gráficos 17-3 y 18-3 se identifica un porcentaje de remoción de plomo de 89,87% y 81,89% del cromo.

### 3.6. Discusión de resultados

Finalmente se expresa que, para poder realizar la remoción de cromo III y plomo II usando carbón activado obtenido de la semilla de la guayaba se realizaron una serie de pruebas, a fin de determinar los parámetros que más afectan este proceso que son la dosificación, temperatura, pH, y tiempo de contacto.

En el caso de la dosificación para el plomo, se obtuvo que el valor óptimo es de 0,25g mientras que para el cromo fue de 0,75g. En esa sección se logró apreciar que para el plomo no era necesario una dosis alta, ya que, eso conllevaba a una remoción no tan eficaz, mientras que, con el cromo si fue necesaria una dosis alta, eso se puede justificar con la concentración inicial del metal que era de 1000ppm, ya que, al haber más soluto se necesita una mayor superficie para que estos se adsorban correctamente (Sarı et al., 2007, p.41-46).

En lo que respecta al tiempo de adsorción, este se relaciona directamente con el estudio de la cinética, en este caso fue de 120 minutos para cada contaminante, después de ese tiempo se identificó una disminución muy lenta de cada metal por lo que se dedujo que la adsorción máxima se obtiene en ese tiempo, aparte como se observó en los gráficos 5-3 y 8-3 la adsorción para el plomo siguió una cinética de segundo orden mientras que, el cromo fue de primer orden, dichos

parámetros son importantes para saber la velocidad con la que se lleva la reacción y a su vez el tiempo que tardará en llegar de una concentración a otra (Moreno et al., 2011, pp.88-114).

En el caso de la temperatura óptima se estableció que, para ambos metales la mejor es de 23°C, esto se puede corroborar, ya que, al aumentar la temperatura disminuye la capacidad de adsorción del adsorbente, adicionalmente se elaboraron las isothermas de adsorción para cada metal donde se determinó que en base al coeficiente de correlación lineal  $R^2$  el plomo y el cromo se ajustan al modelo de Freundlich, puesto que,  $R^2$  es cercano a 1 en los dos casos (Bonilla et al., 2017, pp.29-36). Por último, se estableció el pH óptimo para cada contaminante donde se pudo evidenciar que para ambos metales se obtiene un mejor rendimiento cuando el pH es básico, todos estos parámetros sirvieron para poder probar el carbón activado en una muestra de agua contaminada real, como se observó en la tabla 16-3, que mediante la aplicación de todos los valores de las variables estudiadas se llegó a obtener un porcentaje de remoción de plomo de 89,87% y 81,89% del cromo. Lo cual, nos indica que a un pH básico se van a obtener mejores resultados, debido a que, en los pH alcalinos superiores a 5,5 se van a generar precipitaciones del metal, esto a su vez, nos brinda una mayor remoción de plomo y cromo, exponiéndolo a estas condiciones (Mendoza et al., 2017, p.435).

## CONCLUSIONES

- Se logró remover el cromo III y plomo II de una muestra de agua contaminada utilizando carbón activado obtenido de la semilla de la guayaba. Para ello, fue importante determinar las condiciones óptimas con las que trabajó el adsorbente (dosificación, pH, tiempo de contacto y temperatura). En cuanto, a la dosificación se alcanzó la remoción de plomo necesitando 0,25 g mientras que, de cromo fue de 0,75g. El tiempo adecuado de contacto se estableció de 120 minutos para ambos contaminantes, aparte se encontró que la cinética de adsorción para el plomo es de segundo orden y el cromo fue de primer orden. El pH óptimo fue de 9, por último, la temperatura que mejor resultado reflejó fue de 23°C
- Se realizaron las isothermas de Langmuir y Freundlich, donde, se estableció que ambos procesos de adsorción se ajustan mejor a la isoterma de Freundlich y de igual manera se determinó que la cinética que mejor se ajustó al proceso fue la de pseudo primer orden para el cromo III con un coeficiente de correlación lineal de  $R^2 = 0,92$  y pseudo segundo orden para el plomo II con un coeficiente de correlación lineal de  $R^2 = 0,90$  respectivamente.
- Se aplicó las condiciones óptimas en una muestra de agua contaminada, para lo cual, determinamos que el carbón activado obtuvo una mayor eficiencia en la remoción de plomo con un 89,87% ante un 81,89% del cromo, valores que se encuentran en un rango confiable, para que, el carbón activado a base de las semillas de guayaba pueda ser utilizado como material adsorbente de metales pesados.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar el estudio de adsorción con diferentes tipos de metales pesados, para así poder determinar la tendencia que se obtuvo en el presente trabajo. El estudio con metales u otros contaminantes involucrados en las muestras problemas, resultaría muy factible, para así determinar la capacidad de retención que tiene el carbón activado para cada metal.
- Se puede experimentar de una forma más amplia utilizando dosis de mayor peso para el análisis de la dosificación, lo que nos podría dar valores mucho más favorables para la implementación del carbón activado a base de las semillas de la guayaba a nivel industrial.

## BIBLIOGRAFÍA

**ACERO, J. y CANO, A.** “El plomo y sus aplicaciones en una ciudad romana: Augusta Emerita”. *Sautuola XIII* [en línea], 2007, pp. 541-554. [Consulta: 2021-10-24]. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/13778>

**ÁLVAREZ, M., CARRASCO, F. y MALDONADO, F.** *Desarrollo y aplicaciones de materiales avanzados de carbón* [en línea]. España: Universidad Internacional de Andalucía, 2014. [Consulta: 2021-10-24]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=571514>

**APARICIO, E.** “Técnicas colorimétricas”. *Visión criminológica-criminalística* [en línea], 2017, pp. 18-23. [Consulta: 2021-10-22]. Disponible en: <https://www.studocu.com/gt/document/universidad-de-san-carlos-de-guatemala/quimica/articulo-08-tecnicas-colorimetricas/15597639>

**BONILLA, H., TEJADA, C. y DEL PINO, J.** “Obtención de isothermas de adsorción del plomo (II) del efluente minero río Anticoná- Cerro de Pasco utilizando el carbón activado de cáscara de naranja”. *Ciencia & Desarrollo* [en línea], 2017, 16(21), pp. 29-36. [Consulta: 2021-10-22]. Disponible en: [doi:https://doi.org/10.33326/26176033.2017.21.727](https://doi.org/10.33326/26176033.2017.21.727)

**CARRIAZO, J., SAAVEDRA, M. y MOLINA, M.** “Adsorption properties of an activated carbon and determination of Langmuir's equation using low cost materials”. *Educación química* [en línea], 2010, 21(3), pp. 224-229. [Consulta: 2021-10-20]. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-educacion-quimica-78-articulo-propiedades-adsorptivas-un-carbon-activado-S0187893X18300879>

**FAHIM, N. y KHALIL, M.** “Removal of chromium(III) from tannery wastewater using activated carbon from sugar industrial waste”. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], 2006, 136, pp. 303-309. [Consulta: 2021-10-20]. Disponible en: [doi:https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.12.014](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.12.014)

**GIRALDO, L., GARCÍA, V. y MORENO, J.** “Superficial Characterization in Gas and Liquid Phase of Activated Carbons”. *Revista de Ingeniería* [en línea], 2008, 27, pp. 7-16. [Consulta: 2021-10-24]. Disponible en: <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/10.16924/revinge.27.1>

**MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES DE GUATEMALA.** *Guías para el manejo de productos químicos y desechos peligrosos* [sitio web oficial]. 2010. [Consulta: 2021-10-28]. Disponible en:

<https://www.marn.gob.gt/viceministro-de-ambiente/digarn/departamento-de-produccion-mas-limpia-y-sostenibilidad-ambiental/convenios/>

**HERNÁNDEZ, M., OSTERO, A., FALCÓN, J. e YPERMAN , Y.** “Physiochemical Characteristic of Activated Carbon of Coconut Shell Modified with HNO<sub>3</sub>”. *Revista Cubana de Química* [en línea], 2017, 29(1), pp. 26-38. [Consulta: 2021-10-22]. Disponible en: <http://ijlera.com/papers/v3-i1/4.201801005.pdf>

**KAPOOR, S., GANDHI, N., KUMAR, S., KAUR, A. y MAHAJAN, B.** “Extraction and characterization of guava seed oil: A novel industrial byproduct”. *LWT* [en línea], 2020, 132, pp. 1-9. [Consulta: 2021-10-20]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109882>

**KHEZAMI, L. y CAPART, R.** “Removal of chromium(VI) from aqueous solution by activated carbons: Kinetic and equilibrium studies”. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], 2005, 123, pp. 223-231. [Consulta: 2021-10-20]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.04.012>

**LAZO, J., NAVARRO, A., SUN-KOU, M. y LLANOS , B.** “Síntesis y caracterización de arcillas organofílicas y su aplicación como adsorbentes del fenol”. *Revista Sociedad Química Perú* [en línea], 2008, 74(1), pp. 3-19. [Consulta: 2021-10-24]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v74n4/a02v74n1.pdf>

**MENDOZA, L., MOLINA, N. y FRAGOZO, H.** “Adsorption of lead (II) with stems and leaves of eichhornia crassipes in aqueous solution”. *Udca* [en línea], 2017, 20(II), pp. 435–444. [Consulta: 2021-10-24]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262017000200021&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262017000200021&script=sci_abstract)

**MOYANO, D. y VELOZ, N.** Estudio de adsorción y desorción de Cadmio (II) por un andosol rico en alofán tomado de un yacimiento ubicado en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas [en línea] (Trabajo de titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2016, p. 115. [Consulta: 2021-10-20]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6227/1/236T0236.pdf>

**MILER, S.** “Tipos de investigación científica”. *Revista de Actualización Clínica Investiga* [en línea], 2011, 12, pp. 621-624. [Consulta: 2021-10-22]. Disponible en: <https://idoc.pub/documents/tipos-de-investigacion-cientificapdf-546g1x8ox7n8>

**MORENO, A., RÍOS, J. y FLORES, S.** “Activated carbon: generalities and applications”. *CienciAcierta* [en línea], 2021, 66, pp. 88-114. [Consulta: 2021-10-24]. Disponible en: <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2021/04/03/carbon-activado-generalidades-y-aplicaciones/>

**MORENO, J., GIRALDO, L. y GONZALEZ, J.** “Adsorción de Fenol en soluciones acuosas empleando monolitos de carbón activado de cáscara de Coco: isothermas y cinéticas de adsorción”. *Afinidad LXVIII* [en línea], 2011, 554, pp.290-295. [Consulta: 2021-10-20]. Disponible en: <https://core.ac.uk/display/39151949>

**ORÉ, F., LAVADO, C. y BENDEZÚ, S.** “Biosorción de Pb (II) de aguas residuales de mina usando el marlo de maíz (*Zea mays*)”. *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea], 2015, 81(2), pp. 122-134. [Consulta: 2021-10-24]. Disponible en: <http://revistas.sqperu.org.pe/index.php/revistasqperu/article/view/20>

**PADRÓN, R., RODRÍGUEZ, C. y GÓMEZ, A.** El carbón activado, un material adsorbente [en línea] (Monografía). Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Cuba, 2013. [Consulta: 2021-10-20]. Disponible en: <https://idoc.pub/documents/tesis-bucaramanga-carbon-activado-on23jpdvm3l0>

**PELLEGRINI, J., DE CELIS, J. y APHESTEGUY, J.** *Remoción de cromo hexavalente empleando carbón activado como adsorbente*. Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, San Rafael, Mendoza, 2018. [Consulta: 2021-10-20]. Disponible en: <https://ria.utn.edu.ar/xmlui/handle/20.500.12272/4021?show=full>

**RUIZ, A.** Obtención de carbón activado a partir de cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L. Obseck) y su aplicación como adsorbente de plomo (II) en disolución acuosa [en línea] (Trabajo de titulación). Lima, 2018. [Consulta: 2021-10-20]. Disponible en: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUDL\\_70877ac9dcc7866107bf6ab1932ba24f](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUDL_70877ac9dcc7866107bf6ab1932ba24f)

**SALAS, C., GARDUÑO, M. y MENDIOLA, P.** “Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la salud y estrategias de prevención”. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* [en línea], 2019, 20(1), pp. 1-16. [Consulta: 2021-10-24]. Disponible en: <https://bit.ly/2TR2S4L>



**SANDOVAL, F., LÓPEZ, J. Y GRACIA, J.** “Langmuir's Equation for simple liquids and surfactants”. *Educación química* [en línea], 2015, 26(4), pp. 307-313. [Consulta: 2021-10-22]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.03.002>

**SARI, A., TUZEN, M. y SOYLAK, M.** “Adsorption of Pb(II) and Cr(III) from aqueous solution on Celtek clay”. *Journal of Hazardous Material* [en línea], 2007, 144, pp. 41-46. [Consulta: 2021-10-22]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.080>

**SERRANO, D. y NOVILLO, F.** Síntesis de carbón activado a partir del endocarpio de Cocos nucífera y su aplicación en la adsorción de algunos metales pesados. [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Central del Ecuador ,Quito, 2019. [Consulta: 2021-10-22]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20332>

**SHAHROKHI, R. y PARK , J.** “High efficiency removal of heavy metals using tire-derived activated carbon vs commercial activated carbon: Insights into the adsorption mechanisms”. *Chemosphere* [en línea], 2021, 264, pp. 1-15. [Consulta: 2021-11-03]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128455>

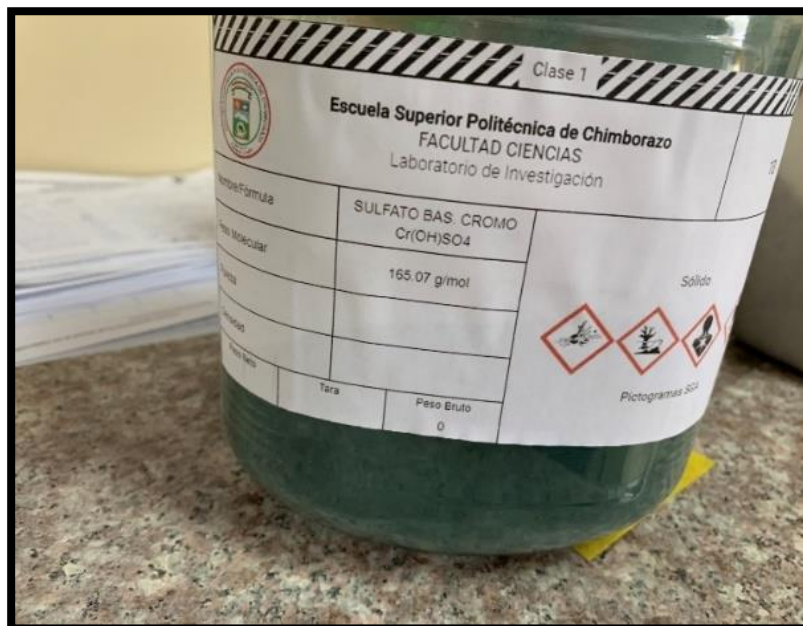
**SHARMA, M., & KUMAR, Y.** “ZnO tetrapods and activated carbon based hybrid composite: Adsorbents for enhanced decontamination of hexavalent chromium from aqueous solution”. *Chemical Engineering Journal* [en línea], 2019, 358, pp. 540-551. [Consulta: 2021-10-28]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.031>

**YAM, J., VILLASEÑOR, C., ROMANTCHIK, E., SOTO, M. y PEÑA, M.** “Una revisión sobre la importancia del fruto de Guayaba (*Psidium guajava* L.) y sus principales características en la postcosecha”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* [en línea], 2010, 19(4), pp. 74-82. [Consulta: 2021-11-03]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542010000400012](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542010000400012)

**ANEXOS**

**ANEXO A: SULFATO BÁSICO DE CROMO**

a)



|  |  |   |                                |               |              |
|--|--|---|--------------------------------|---------------|--------------|
| <b>NOTAS:</b>                          | <b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>   | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA<br/>DE CHIMBORAZO<br/>FACULTAD DE CIENCIAS<br/>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA<br/>ELABORADO POR:<br/>Juan Fernando Osorio Portilla</b> | <b>SULFATO BÁSICO DE CROMO</b> |               |              |
| a) Reactivo de sulfato básico de cromo | <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar<br><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar<br><input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar |   | <b>LÁMINA</b>                  | <b>ESCALA</b> | <b>FECHA</b> |
|  |  | 1   | 1:1                            | 2022/4/1      |              |

**ANEXO B: AGITACIÓN Y FILTADO DE CARBÓN ACTIVADO PARA LA REMOCIÓN DE CROMO III**

a)

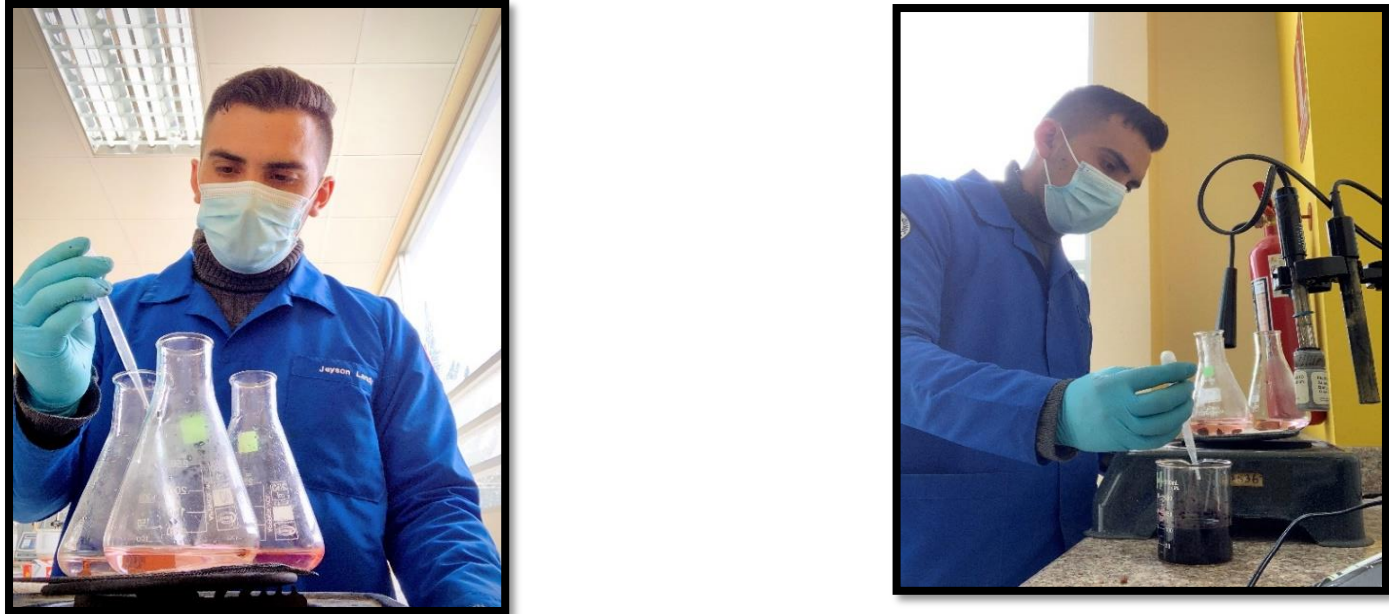


b)



|   |  |   |  |               |              |
|---|--|---|--|---------------|--------------|
| <b>NOTAS:</b>                                       | <b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>   | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA<br/>DE CHIMBORAZO</b><br><b>FACULTAD DE CIENCIAS</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b><br>ELABORADO POR:<br>Jeyson Adrián Landy Álvarez | AGITACIÓN Y FILTADO DE CARBÓN<br>ACTIVADO PARA LA REMOCIÓN DE<br>CROMO III |               |              |
| a) Proceso de agitación<br>b) Proceso de filtración | <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar<br><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar<br><input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar |   | <b>LÁMINA</b>  | <b>ESCALA</b> | <b>FECHA</b> |
|   |  | 2   | 1:1  | 2022/4/1      |              |

**ANEXO C: OXIDACIÓN DE CROMO III A CROMO VI**

|                                 |  |   |  |               |              |
|---------------------------------|--|---|--|---------------|--------------|
| a)                              | b)   |   |  |               |              |
| <b>NOTAS:</b>                   | <b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>   | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA<br/>DE CHIMBORAZO</b><br><b>FACULTAD DE CIENCIAS</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b><br>ELABORADO POR:<br>Jeyson Adrián Landy Álvarez | <b>OXIDACIÓN DE CROMO III A CROMO VI</b> |               |              |
| a) Colocación de reactivo.      | <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar<br><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar<br><input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar |   | <b>LÁMINA</b>                            | <b>ESCALA</b> | <b>FECHA</b> |
| b) Calentamiento de la muestra. |  |   | 3  | 1:1           | 2022/4/1     |

**ANEXO D: AGITACIÓN Y FILTRADO PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO II**

a)



b)



|   |  |  |  |               |              |
|---|--|--|--|---------------|--------------|
| <b>NOTAS:</b>   | <b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>   | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA<br/>DE CHIMBORAZO<br/>FACULTAD DE CIENCIAS<br/>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b> | <b>AGITACIÓN Y FILTRADO PARA LA<br/>REMOCIÓN DE PLOMO II</b> |               |              |
| a) Agitación de la muestra.                             | <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar                  |  | <b>LÁMINA</b>  | <b>ESCALA</b> | <b>FECHA</b> |
| b) Filtrado de la muestra para la remoción de plomo II. | <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar              | 4  | 1:1  | 2022/4/1      |              |
|   | <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar | ELABORADO POR:<br>Jeyson Adrián Landy Álvarez  |  |               |              |

**ANEXO E: ADICIÓN DE CIANURO DE POTASIO E IDROSSILAMINA CLORHIDRATO AL PLOMO II**



|                                  |  |   |  |               |              |
|----------------------------------|--|---|--|---------------|--------------|
| <b>NOTAS:</b>                    | <b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>   | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA</b>           | <b>ADICIÓN DE CIANURO DE POTASIO E</b> |               |              |
| a) Adición de cianuro de potasio |  | <b>DE CHIMBORAZO</b>                          | <b>IDROSSILAMINA CLORHIDRATO AL</b>    |               |              |
| b) Adición de idrossilamina      | <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar                  | <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>                   | <b>PLOMO II</b>                        |               |              |
| clorhidrato al plomo II.         | <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar              | <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>          | <b>LÁMINA</b>                          | <b>ESCALA</b> | <b>FECHA</b> |
|                                  | <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar | ELABORADO POR:<br>Jeyson Adrián Landy Álvarez | 5                                      | 1:1           | 2022/4/1     |



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

*UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL*

*REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA*

Fecha de entrega: 20 / 06 / 2022

|   |
|---|
| <b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>  |
| <b>Nombres – Apellidos:</b> Jeyson Adrián Landy Álvarez                       |
| <b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>  |
| <b>Facultad:</b> Ciencias   |
| <b>Carrera:</b> Ingeniería Química  |
| <b>Título a optar:</b> Ingeniero Químico                                      |
| <b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc. |



Firmado electrónicamente por:

LEONARDO  
FABIO MEDINA  
NUSTE



1325-DBRA-UTP-2022