



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

## **“EVALUACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO DE SEMILLAS DE DATURA COMO MATERIAL ADSORBENTE DE METALES (CROMO VI Y PLOMO II)”**

**Trabajo de titulación**

TIPO: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA: WILMA GABRIELA LAGUA LÓPEZ**

**DIRECTORA: Ing. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA**

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Wilma Gabriela Laguna López

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

Yo, Wilma Gabriela Laguna López, declaro que el presente trabajo de titulación 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 autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 19 de marzo de 2021.

**Wilma Gabriela Laguna López**  
**1804586574**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo proyecto de Investigación. “EVALUACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO DE SEMILLAS DE DATURA COMO MATERIAL ADSORBENTE DE METALES (CROMO VI Y PLOMO II)”, realizado por la señorita: WILMA GABRIELA LAGUA LÓPEZ, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Gabriela Viviana Tubon Usca <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	_____	2021-11-26
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza <b>DIRECTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	2021-11-26
Dr. Fabian Ernesto Arias Arias <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	2021-11-26

## **DEDICATORIA**

A Dios mi principal fortaleza, consuelo y ayuda. A mis padres por su apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida a quienes debo todo lo que soy. A mi Papá Juan que siempre esperó este día. A mis hermanos en especial a Vivi por ser mi mejor ejemplo a seguir, gracias por ser parte de mi vida y hacerla más llevadera; a ustedes les dedico este trabajo con todo mi amor.

Gaby.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. A la Ing. Mayra Zambrano y Doc. Fabian Arias por ser parte de este trabajo. Al Grupo de Investigación de Materiales Avanzados (GIMA).

Gabriela.

## TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE GRÁFICOS.....	xii
INDICE DE ANEXOS .....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS.....	2
<i>Objetivo General</i> .....	2
<i>Objetivos Específicos</i> .....	2

## CAPITULO I

<b>1.MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Marco conceptual.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.1 <i>Datura Stramonium L.</i>.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.2 <i>Carbón activado</i> .....</b>	<b>6</b>
<i>1.2.2.1 Activación del carbón</i> .....	7
<i>1.2.2.2 Tipos de carbón activado</i> .....	8
<i>1.2.2.3 Aplicaciones y usos del carbón activado</i> .....	9
<b>1.2.3 <i>Adsorción</i>.....</b>	<b>9</b>
<i>1.2.3.1 Parámetros que influyen en el proceso de adsorción</i> .....	10
<i>1.2.3.2 Tipos de Adsorción</i> .....	11
<i>1.2.3.4 Cinética de adsorción</i> .....	11
<i>1.2.3.5 Isotermas de adsorción</i> .....	13
<b>1.2.4 <i>Cromo</i> .....</b>	<b>14</b>
<i>1.2.4.1 Cromo en la industria</i> .....	15

1.2.5	<i>Plomo</i> .....	15
1.3.5.1	<i>Plomo en la industria</i> .....	16

## CAPITULO II

<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Hipótesis y especificación de variables</b> .....	<b>17</b>
2.1.1	<i>Hipótesis General</i> .....	17
2.1.2	<i>Hipótesis Específicas</i> .....	17
2.1.3	<i>Identificación de variables</i> .....	17
2.1.3.1	<i>Variables independientes</i> .....	17
2.1.3.2	<i>Variables dependientes</i> .....	18
2.1.4	<i>Matriz de consistencia</i> .....	19
<b>2.2</b>	<b>Tipo y diseño de investigación</b> .....	<b>21</b>
2.2.1	<i>Tipo de Investigación</i> .....	21
2.2.2	<i>Diseño de la Investigación</i> .....	21
<b>2.3</b>	<b>Población de Estudio</b> .....	<b>21</b>
<b>2.4</b>	<b>Tamaño de Muestra</b> .....	<b>21</b>
<b>2.5</b>	<b>Selección de muestra</b> .....	<b>22</b>
<b>2.6</b>	<b>Técnicas de Recolección de Datos</b> .....	<b>22</b>
<b>2.7</b>	<b>Metodología para la recolección de datos experimentales</b> .....	<b>22</b>
2.7.1	<i>Laboratorios utilizados</i> .....	22
2.7.1.1	<i>Materiales, equipos y reactivos</i> .....	23
2.7.2	<i>Experimentación</i> .....	24
2.7.2.1	<i>Tratamiento de la materia prima</i> .....	24
2.7.2.2	<i>Caracterización de las semillas de datura</i> .....	24
2.7.2.3	<i>Obtención del carbón de semillas de datura</i> .....	26
2.7.2.4	<i>Activación del carbón de semillas de datura</i> .....	26
2.7.2.5	<i>Caracterización del carbón activado</i> .....	27



2.7.2.6	<i>Determinación del tiempo de equilibrio y cinética de adsorción</i>	28
2.7.2.7	<i>Estudio del efecto de las variables en la adsorción de cromo (VI)</i>	29
2.7.2.8	<i>Estudio del efecto de las variables en la adsorción de plomo (II)</i>	31
2.7.2.9	<i>Evaluación del carbón activado en base a la capacidad de adsorción y al rendimiento de remoción</i>	31
2.7.2.10	<i>Determinación de isotermas de adsorción</i>	32
2.7.2.11	<i>Determinación del rendimiento de adsorción para una solución de cromo (VI) y plomo (II)</i>	33

### **CAPITULO III**

<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>34</b>
<b>3.1</b>	<b>Resultados</b>	<b>34</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Caracterización de las semillas de datura</b>	<b>34</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Caracterización del carbón activado</b>	<b>35</b>
3.1.2.1	<i>Análisis proximal</i>	35
3.1.2.2	<i>Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)</i>	36
<b>3.1.3</b>	<b>Determinación del tiempo de equilibrio</b>	<b>37</b>
3.1.3.1	<i>Tiempo de equilibrio de cromo (VI)</i>	37
3.1.3.2	<i>Tiempo de equilibrio de plomo (II)</i>	39
<b>3.1.4</b>	<b>Evaluación de la capacidad de adsorción de cromo VI</b>	<b>41</b>
3.1.4.1	<i>Efecto del pH en la capacidad de adsorción para cromo VI</i>	41
3.1.4.2	<i>Efecto de la dosis de adsorbente en la capacidad de adsorción para cromo VI</i>	43
<b>3.1.5</b>	<b>Evaluación de la capacidad de adsorción de plomo II</b>	<b>44</b>
3.1.5.1	<i>Efecto del pH en la capacidad de adsorción de plomo II</i>	44
3.1.5.2	<i>Efecto de la dosis de adsorbente en la capacidad de adsorción de plomo (II)</i>	45
<b>3.1.6</b>	<b>Cinética de adsorción</b>	<b>46</b>
3.1.6.1	<i>Cinética de adsorción para cromo VI</i>	46

3.1.6.2	<i>Cinética de adsorción para plomo II</i> .....	47
<b>3.1.7</b>	<b><i>Isotermas de adsorción</i></b> .....	<b>49</b>
3.1.7.1	<i>Isotermas de adsorción para cromo VI</i> .....	49
3.1.7.2	<i>Isotermas de adsorción para plomo II</i> .....	54
3.1.7.3	<i>Variación de las constantes de adsorción con la temperatura</i> .....	59
<b>3.1.8</b>	<b><i>Comparación del rendimiento de adsorción de cromo (VI) y plomo (II) por el carbón activado de semillas de datura</i></b> .....	<b>59</b>
<b>3.1.9</b>	<b><i>Comprobación de hipótesis</i></b> .....	<b>61</b>
3.1.9.1	<i>Hipótesis General</i> .....	61
3.1.9.2	<i>Hipótesis Específicas</i> .....	61
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>63</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>65</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Matriz de consistencia .....	19
<b>Tabla 1-3:</b> Resultados de la caracterización de las semillas de datura.....	34
<b>Tabla 2-3:</b> Resultados de análisis proximal para el carbón activado de semillas de datura.....	35
<b>Tabla 3-3:</b> Identificación de grupos funcionales a diferentes longitudes de onda. ....	36
<b>Tabla 4-3:</b> Resultados del tiempo de equilibrio para Cromo (VI).....	37
<b>Tabla 5-3:</b> Resultados para el tiempo de equilibrio de Plomo (II) .....	39
<b>Tabla 6-3:</b> Parámetros cinéticos de adsorción de pseudo primer y segundo orden para Cromo (VI).....	47
<b>Tabla 7-3:</b> Parámetros cinéticos de adsorción de pseudo primer y segundo orden para Plomo (II) .....	49
<b>Tabla 8-3:</b> Capacidades de adsorción de las isothermas de Langmuir y Freundlich para la adsorción de cromo (VI) a diferentes temperaturas .....	49
<b>Tabla 9-3:</b> Constantes de las Isothermas de Langmuir y Freundlich para la adsorción de cromo (VI) a diferentes temperaturas.....	53
<b>Tabla 10-3:</b> Capacidades de adsorción de las isothermas de Langmuir y Freundlich para la adsorción de Plomo (II) a diferentes temperaturas.....	54
<b>Tabla 11-3:</b> Constantes de las Isothermas de Langmuir y Freundlich para la adsorción de Plomo (II) a distintas temperaturas.....	58
<b>Tabla 12-3:</b> Constantes de adsorción de equilibrio para Cromo (VI) y Plomo (II).....	59
<b>Tabla 13-3:</b> Comparación del rendimiento de remoción entre Cromo (VI) y Plomo (II).....	60

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Datura Stramonium L .....	5
<b>Figura 2-1:</b> Semillas de Datura Stramonium L. ....	6
<b>Figura 1-3:</b> Espectros infrarrojos con transformadas de Fourier del carbón activado .....	36

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Variación de la concentración final de adsorción de Cromo (VI) en función del tiempo. ....	38
<b>Gráfico 2-3:</b> Variación de la capacidad de adsorción de Cromo (VI) en función del tiempo. .	39
<b>Gráfico 3-3:</b> Variación de la concentración final de adsorción de Plomo (II) vs. tiempo.....	40
<b>Gráfico 4-3:</b> Variación de la capacidad de adsorción de Plomo (II) vs. tiempo. ....	41
<b>Gráfico 5-3:</b> Influencia del pH en la capacidad de adsorción de Cromo (VI).....	42
<b>Gráfico 6-3:</b> Efecto de la dosis de adsorbente en la capacidad de adsorción de Cromo (VI)..	43
<b>Gráfico 7-3:</b> Efecto del pH en la capacidad de adsorción de Plomo (II). ....	44
<b>Gráfico 8-3:</b> Efecto de la dosis de adsorbente en la capacidad de adsorción de Plomo (II). ....	45
<b>Gráfico 9-3:</b> Ajuste al modelo cinético de pseudo primer orden para la adsorción de Cromo (VI).....	46
<b>Gráfico 10-3:</b> Ajuste al modelo cinético de pseudo segundo orden para la adsorción de Cromo (VI).....	47
<b>Gráfico 11-3:</b> Ajuste al modelo cinético de pseudo primer orden para la adsorción de Plomo (II).....	48
<b>Gráfico 12-3:</b> Ajuste al modelo cinético de pseudo segundo orden para la adsorción de Cromo (VI).....	48
<b>Gráfico 13-3:</b> Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Freundlich para adsorción de Cromo (VI) a 298 K. ....	50
<b>Gráfico 14-3:</b> Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Langmuir para adsorción de Cromo (VI) a 298 K. ....	51
<b>Gráfico 15-3:</b> Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Freundlich para adsorción de Cromo (VI) a 313 K. ....	51
<b>Gráfico 16-3:</b> Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Langmuir para adsorción de Cromo (VI) a 313 K. ....	52
<b>Gráfico 17-3:</b> Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Freundlich para adsorción de Cromo (VI) a 323 K. ....	52
<b>Gráfico 18-3:</b> Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Langmuir para adsorción de Cromo (VI) a 323 K. ....	53
<b>Gráfico 19-3:</b> Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Freundlich para adsorción de Plomo (II) a 298 K. ....	55
<b>Gráfico 20-3:</b> Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Langmuir para adsorción de Plomo (II) a 298 K. ....	56
<b>Gráfico 21-3:</b> Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Freundlich para adsorción de Plomo (II) a 313 K. ....	56
<b>Gráfico 22-3:</b> Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Langmuir para adsorción de Plomo (II) a 313 K. ....	57
<b>Gráfico 23-3:</b> Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Freundlich para adsorción de Plomo (II) a 323 K. ....	57
<b>Gráfico 24-3:</b> Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Langmuir para adsorción de Plomo (II) a 323K. ....	58

## **INDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** Recolección y caracterización de las semillas de datura

**ANEXO B:** Carbonización y activación del carbón

**ANEXO C:** Lavado y caracterización del carbón activado

**ANEXO D:** Lavado y caracterización del carbón activado

**ANEXO E:** Cinética y adsorción de Cromo (VI)

**ANEXO F:** Adsorción e Isotermas de Cromo (VI)

**ANEXO G:** Cinética e Isotermas de adsorción de Plomo (II)

**ANEXO H:** Adsorción e Isotermas de Plomo (II)}

**ANEXO I:** Afinidad del carbón activado para Cromo (VI) y Plomo (II)

**ANEXO J:** Curva de calibración para Cromo (VI)

**ANEXO K:** Curva de calibración para Plomo (II)

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el desempeño del carbón activado obtenido a partir de semillas de datura como adsorbente de metales (Cromo VI y Plomo II); se realizó una carbonización de las semillas de datura y activación con ácido fosfórico, en la caracterización del carbón se realizó un análisis proximal y de grupos funcionales mediante Espectroscopía de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR). Para la determinación del tiempo de equilibrio se llevó a agitación constante las soluciones a la concentración designada para cada metal por un tiempo de aproximadamente 390 minutos, tomando alícuotas de las mismas durante este tiempo; estos datos recolectados fueron ajustados a los modelos cinéticos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden. Se varió un parámetro a la vez para obtener el pH y la dosis de adsorbente a la cual se alcanzará una mayor capacidad de adsorción; se ajustó a las isothermas de Langmuir y Freundlich a tres diferentes temperaturas variando la concentración manteniéndose los demás parámetros constantes; finalmente se realizó una solución en la cual se mantuvieron en conjunto los iones cromo y plomo para analizar la afinidad del carbón por uno de estos metales mediante el porcentaje de remoción para cada uno. Se concluye que el carbón obtenido a partir de semillas de datura demostró ser un material adsorbente con gran capacidad de remoción de los iones estudiados, llegando así a remover hasta 7,426 mg/g de iones plomo, y hasta 1,8 mg/g de iones cromo evaluados en condiciones de tiempo, pH y dosis de adsorbente idóneas; mientras que los porcentajes de remoción para plomo (II) se encontraron hasta en el 79% y para cromo hexavalente se obtuvo hasta un 53%. Se recomienda que para mayor eficiencia de remoción de iones  $Cr^{6+}$  se use un diferente agente activante para el carbón.

**Palabras clave:** <DATURA>, <CARBÓN ACTIVADO>, <CROMO VI>, <PLOMO II>, <ADSORCIÓN>, <CAPACIDAD DE ADSORCIÓN>, <MODELO CINÉTICO>, <ISOTERMAS>

LU  
ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS

Formado digitalmente por  
LUIS ALBERTO CAMINOS  
VARGAS  
Nombre de reconocimiento  
(DN): c=EC, o=BOGOTÁ,  
ou=UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ,  
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS  
VARGAS  
Fecha: 2021.05.07 13:25:07  
-0500'




1107-DBRA-UTP-2021

## ABSTRACT

The present investigation work objective deals with evaluating the performance of the activated carbon obtained from datura seeds as a metal adsorbent (Chromium VI and Lead II); a carbonization of the datura seeds and activation with phosphoric acid was carried out; in the characterization of the carbon a proximal analysis and functional groups were carried out by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). For the equilibrium time determination, the solutions at the designated concentration were brought to constant stirring for each metal for approximately 390 minutes, taking aliquots of them during this time; these collected data were fitted to the kinetic models of pseudo first order and pseudo second order. A parameter varied at the time to obtain the PH and the adsorbent dose to be reached as a major absorption capacity; adjusting to the Langmuir and Freundlich isotherms at three different temperatures, varying the concentration, keeping the other parameters constant; finally, a solution was made in which the chromium and lead ions were kept together to analyze the carbon affinity for one of these metals through the removal percentage for each one. It is concluded that the carbon obtained from datura seeds proved to be an adsorbent material with a great capacity to remove the studied ions, removing thus up to 7,426 mg / g of lead ions, and up to 1.8 mg / g of chromium ions evaluated under conditions of time, PH and suitable adsorbent dose; while the removal percentages for lead (II) were up to 79%, for the hexavalent chromium up to 53% was obtained. It is recommended that for a greater  $Cr^{6+}$  ion removal efficiency a different activating agent should be used for the charcoal.

**Keywords:** <DATURA>, <ACTIVATED CARBON>, <CHROMIUM VI>, <LEAD II>, <ADSORPTION>, <ADSORPTION CAPACITY>, <KINETIC MODEL>, <ISOTHERMS>.

 Firmado digitalmente  
por ANA GABRIELA  
REINOSO ESPINOSA  
Fecha: 2022.01.27  
12:30:44 -05'00'



## INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental ha llegado a niveles en donde puede constituir un riesgo para la salud y la vida, causada principalmente por la concentración poblacional en las ciudades, la indiscriminación de nuevas tecnologías, así como también los desechos industriales. Se ha visto un incremento de contaminación hídrica producida por los efluentes industriales, la misma que se considera peligrosa, ya que contiene metales pesados como níquel, cadmio, arsénico, plomo, cromo, etc. (Cartaya et al. 2008).

El plomo es un metal tóxico presente en la corteza terrestre de forma natural, el uso consistente del mismo ha desarrollado efectos negativos tanto a nivel ambiental, así como también en la salud humana, causando afecciones en niños y en adultos (Poma 2008). Por su lado el cromo (VI) también constituye un problema para la salud humana, considerándose cancerígeno y produciendo diferentes reacciones adversas en la salud como alergias, irritaciones, problemas respiratorios, entre otros. (Molina et al. 2010)

Para solventar la contaminación causada por metales pesados se usa diferentes tratamientos como precipitación química, intercambio iónico, tratamiento electroquímico, entre otras; sin embargo, los mismos resultan costosos al momento de su aplicación (Dada et al. 2012). Es por eso que se ha venido proponiendo el uso de nuevos materiales como adsorbentes de metales pesados en el agua, ya que la adsorción ha demostrado ser una excelente opción al momento de remover metales pesados. (Dhir et al. 2010)

El carbón activado es uno de los principales materiales usados para este fin, esto se debe a su alta porosidad y superficie específica, que le confieren gran capacidad de adsorción (AL-Othman et al. 2012). Los materiales lignocelulósicos constituyen una fuente renovable, abundante y económica para la preparación de materiales adsorbentes. (Sun-Kou, Obregón-Valencia, et al. 2014)

Es por eso que el propósito de la presente investigación fue evaluar el desempeño del carbón activado obtenido a partir de semillas de datura como material adsorbente de metales, aplicado para cromo (VI) y plomo (II), estudiando parámetros que influyen directamente en la capacidad de adsorción como con: tiempo de equilibrio, pH y dosis de adsorbente; a su vez se realizó un ajuste a modelos cinéticos así como también ajustes a modelos de isotermas y realizando una comparación del porcentaje de remoción obtenido en los dos metales a los cuales se aplicó la adsorción.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Evaluar el desempeño del carbón activado de semillas de datura como material adsorbente de metales (cromo VI y plomo II).

### **Objetivos Específicos**

- Determinar las características fisicoquímicas del carbón activado obtenido a partir de las semillas de datura.
- Identificar los parámetros que influyen en la capacidad de adsorción del carbón activado a los metales Cromo (VI) y Plomo (II).
- Establecer el metal que presenta mayor afinidad a ser adsorbido por el carbón activado mediante el cálculo del rendimiento que presenta cada uno.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1 Antecedentes de la investigación

Se han venido realizando varios estudios acerca de la obtención de carbón activado para la adsorción de metales pesados entre ellos el plomo (II) y el cromo (VI), en cada investigación se ha obtenido carbón activado de diversas materias primas y se ha buscado los mejores parámetros para que se desarrolle una mayor adsorción, algunos de estos estudios se detallan a continuación.

De acuerdo con Lavado, Sun y Bendezu (Lavado, Sun, et al. 2010) en su investigación titulada “Adsorción de plomo de efluentes industriales usando carbones activados con  $H_3PO_4$ ” se detalla que se obtuvo carbón activado a partir de astillas de eucalipto, realizando la activación mediante ácido fosfórico y estudiando diferentes parámetros que afectan al proceso de adsorción como son: tiempo de contacto, razón masa de carbón/volumen de la solución, temperatura y pH, y logrando obtener capacidades de adsorción de hasta 142,1 mg Pb/g.

Otro de los materiales utilizados en la elaboración de carbón activado han sido los residuos orgánicos de *Gypsophila elegans* (ILUSION), con los cuales se obtuvieron porcentajes de adsorción de plomo de 97.64% y 97.84%; todo esto después de someter los tallos a la calcinación en una mufla a 250°C por 5 minutos y activado los carbones mediante solución de hidróxido de potasio. (Zevallos 2018)

Para la remoción de cromo (VI) Garzón y González (Garzón et al. 2012) elaboraron carbones activados a partir de cascara de naranja, pasando las mismas por un proceso de limpieza, deshidratación, pre incineración, pulverización y finalmente la activación mediante  $H_3PO_4$  al 85%; de esta manera se obtuvo un porcentaje de adsorción máximo de 98.3% a un pH de 3.

En otra investigación en la cual también se utilizaron astillas de eucalipto para la elaboración de carbones activados usados para la adsorción de cromo (VI) se realizó la activación química mediante hidróxido de potasio y ácido fosfórico, para la evaluación de la capacidad de adsorción se realizaron soluciones acuosas de cromo y se obtuvo una capacidad máxima de adsorción 75,2 mg/g a pH= 2. (Lavado et al. 2012)

Por su parte (Sun-Kou, Obregón, et al. 2014) su investigación titulada “Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje” emplearon la semilla de aguaje para la elaboración de carbón activado usando  $H_3PO_4$  como agente activante, destacando que los factores más importantes que influyen en la adsorción fueron el pH de la solución, la distribución porosa y la acidez superficial del carbón activado; la máxima capacidad de adsorción se logró con soluciones con un pH mayor a 4; y con valores de: plomo ( $74,8 \text{ mg g}^{-1}$ ), cadmio ( $26,5 \text{ mg g}^{-1}$ ), cromo ( $18,8 \text{ mg g}^{-1}$ ).

## **1.2 Marco conceptual**

### ***1.2.1 Datura Stramonium L.***

*Datura Stramonium L.* es una planta angiosperma del género *Datura* de la familia Solanaceae, es una planta venenosa que se cree es originaria de México, se adapta a cualquier tipo de suelo especialmente suelos arenosos y arcillosos es por eso que crece en zonas cálidas como orillas de ríos, establos, escombreras, vertederos de basura, terrenos baldíos, etc.(D'Ambrosio et al. 2018). Se la considera una planta anual ya que se desarrolla en el exterior, completa su ciclo de vida y muere en una sola estación. (Aboluwodi et al. 2017)



**Figura 1-1:** *Datura Stramonium L*

**Realizado por:** Laguna Gabriela, 2021

Se consideran como plantas o arbustos herbáceos pequeños que pueden llegar a medir hasta 1,7 m tienen una raíz columnar y un tallo de ramificación dicotómica. (Castañón López et al. 2000) (D'Ambrosio et al. 2018). Al iniciar su crecimiento presenta hojas simples, pero a medida que se va desarrollando sus hojas van adquiriendo forma dentada y asimétrica en su base. Sus flores se presentan inclinadas o colgadas, generalmente de color blanco o violeta y 5 dentado. Sus frutos son capsulas ovoides o redondas cubiertas de espinas que se abren en cuatro partes conteniendo en su interior numerosas semillas. (Bermúdez et al. 1994)

Sus semillas son reniformes, achatadas lateralmente, su largo está en 3 y 4 mm y el espesor entre 1 y 2mm. Su color es negro, pardo oscuro o marrón, posee una superficie verrugosa, con depresiones que le dan un aspecto reticulado. Desecadas y enteras no poseen ningún olor; frescas o bien molidas tienen un olor desagradable al igual que el resto de la planta. (Martínez 2017)



**Figura 2-1:** Semillas de *Datura Stramonium* L.

**Realizado por:** Laguna Gabriela, 2021.

Contiene alcaloides con propiedades anticolinérgicas (hiosciamina, atropina y escopolamina) las cuales son responsables de su toxicidad, y comúnmente causando síntomas como taquicardia, hipertermia, enrojecimiento de la piel, entre otros. (Disel et al. 2015). Los usos que se le ha venido dando a lo largo de los años, se debe a la presencia de drogas alcaloides psicoactivas y tóxicas con efectos estimulantes y depresivos en los humanos, esta ha sido una de las razones para que poblaciones indígenas las usen ya que le han atribuido propiedades curativas también. Han sido utilizadas como narcóticos para ritos, ceremonias religiosas, prácticas terapéuticas, para aliviar dolores articulares se ha realizado mediante la aplicación de cataplasmas, y en forma de ungüentos para tratar quemaduras y heridas; en la actualidad se la ha usado para diferentes aplicaciones bioquímicas y medicinales. La intoxicación por estramonio actualmente se ha dado en personas drogadictas que han buscado sus efectos alucinógenos y de forma accidental en niños. (Gaire et al. 2013) (Disel et al. 2015)

### ***1.2.2 Carbón activado***

El término de carbón activado se aplica a cualquier carbón poroso obtenido artificialmente mediante calcinación lo que hace que se eleve su porosidad, superficie interna y sea considerado como un material con excelentes propiedades adsorbentes. (Uribe et al. 2013). El carbón activado se define como un material compacto, amorfo y versátil el cual está constituido por diferentes capas desordenadas de carbono, posee una extensa área superficial y estructura microporosa, es

producido por materiales que contienen un elevado porcentaje de carbono y que son activados mediante procesos físicos o químicos. (Céspedes et al. 2007) (Obregón 2012)

Gracias al proceso de activación el carbón activado posee elevada porosidad y una superficie interna elevada; las propiedades químicas superficiales y las propiedades que poseen los poros, se deben a la materia que se usó para su elaboración, así como también, a la técnica con la que se lo elaboro y a los diferentes procesos a los que fue sometido. La estructura que posee está constituida por una serie irregular de láminas de carbono que poseen enlaces covalentes fuertes en los planos de carbono unido a otros 3 carbonos adyacentes con hibridación  $sp^2$  por lo cual los espacios entre estos espacios forman los microporos. (Delgadillo 2011)

El carbón activado se puede obtener a partir de carbón mineral o también a partir de materiales ricos en carbono como los residuos lignocelulósicos, considerados en la actualidad como residuos agrícolas. (Sun-Kou, Obregón, et al. 2014). Actualmente se ha venido desarrollando un interés particular por elaborar carbón activado a partir de materia lignocelulósica considerada como subproductos agrícolas debido a su gran disponibilidad, cantidad, bajo costo y sobre todo para contribuir a la preservación del medio ambiente; destacando también que este tipo de materia prima contiene beneficios como el alto contenido de carbón y bajo contenido inorgánico, lo cual hace que sea una de las mejores fuentes para la obtención de carbón activado. (Tiegam et al. 2021) (Bae et al. 2014)

#### *1.2.2.1 Activación del carbón*

Se define la activación como un proceso térmico en el cual se desintegra el precursor dejando libres diferentes compuestos volátiles los cuales contienen en su gran mayoría hidrogeno y oxígeno, obteniéndose de esta manera un sólido compuesto en su mayoría por carbón y a su vez confiriéndole una estructura altamente porosa, la cual la otorga la capacidad de adsorber diferentes especies; es por esta razón que se busca realizar la activación en el carbón. (Zevallos 2018). Existen dos formas de realizar la activación:

- *Activación química*

La activación química reside en impregnar la materia prima con un agente químico, entre los que se suelen usar se encuentran: hidróxido de potasio (KOH), cloruro de zinc (ClZn) o ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), y después llevarla hasta la carbonización con una temperatura que debe estar entre 400 y 600°C. (Uribe et al. 2013). Según la aplicación para la cual vaya a ser adecuado, la adición de agentes químicos puede introducir impurezas tales como zinc o fósforo. (Bae et al. 2014)

- *Activación física*

La activación física se realiza básicamente en 3 etapas. La primera consiste en la carbonización, se somete el material a elevadas temperaturas con el fin de desechar compuestos volátiles y empezar la formación de la estructura porosa. La segunda etapa es la activación, el carbón es expuesto a un agente oxidante los cuales pueden ser: dióxido de carbono, oxígeno o vapor de agua, sometiéndose a temperaturas que rodean los 800°C a 1100°C; los agentes activantes actúan como formadores de más porosidad en la superficie del carbón. Finalmente, la tercera etapa es el tamizado, el carbón activado se separa por tamaño de partícula según la aplicación a la cual será sometido. (Sevilla 2011)

#### *1.2.2.2 Tipos de carbón activado*

La estructura molecular del carbón activado es similar a la del grafito, lo cual le brinda una estructura bastante determinada. La clasificación de carbones activados se da de acuerdo al tamaño de sus poros como se detalla a continuación. (Carrillo et al. 2013)

- Microporos: si posee una amplitud de poro menor a  $2 \times 10^{-9}m$
- Mesoporos o poros medios: si tiene una amplitud de poro de 2 a  $50 \times 10^{-9} m$
- Macroporos: si la amplitud del poro es mayor a  $50 \times 10^{-9} m$ . (Estupiñan et al. 2006)

La materia prima, la activación y duración del proceso son los factores primordiales que le brindan la distribución del tamaño de los poros al carbón activado, y el área superficial total de los poros del carbón es la razón fundamental por la cual posee una gran capacidad de adsorción. (Carrillo et al. 2013)



### *1.2.2.3 Aplicaciones y usos del carbón activado*

El carbón activado posee una variedad de aplicaciones ya sea en su presentación en polvo, granular, medio líquido o gaseoso. Las aplicaciones en las que más se suele usar son:

- Eliminación de olor, color, sustancias químicas, bacterias.
- Tratamientos de aguas residuales.
- Decoloración de aguas para su uso en la fabricación de bebidas refrescantes y alcohólicas.
- Purificación de grasas y aceites comestibles.
- Como medicamento en la desintoxicación de personas.
- Separación de elementos metálicos.
- Desodorizante de productos alimenticios
- Soporte catalítico y como catalizador
- Eliminación de compuestos no orgánicos con carbones impregnados o catalíticos, aprovechando la gran superficie del carbón activo.

Existen un sinnúmero más de aplicaciones que posee el carbón activado, en lo cual radica su importancia y elaboración. (Sevilla 2011)

### *1.2.3 Adsorción*

De acuerdo al Golden Book de la IUPAC, adsorción se define como: “Un aumento en la concentración de una sustancia disuelta en la interfaz de un condensado y una fase líquida debido a la acción de las fuerzas de superficie. La adsorción asimismo se puede originar en la interface de un condensador y una fase gaseosa” (IUPAC 2014). La adsorción es un proceso en el cual se extrae una materia de una fase y se concentra en otra fase por lo general sólido, el soluto retenido se denomina adsorbato y el sólido en el que se retiene la materia se llama adsorbente o sorbente. (García 2008) (Garcés et al. 2012)

El proceso de adsorción consta de diferentes etapas. Cuando el fluido pasa alrededor de la partícula en un lecho fijo, el soluto en primer lugar se difunde desde el volumen del fluido hacia toda la superficie externa de la partícula. Luego, el soluto se difunde desde el interior del poro

hacia la superficie del mismo y finalmente, el soluto se adsorbe en la superficie del sólido. (Fernández Pino 2011)

La adsorción es selectiva ya que la cantidad adsorbida depende de la naturaleza, y tratamiento a la que se somete la superficie del adsorbente. Es un proceso exotérmico, por lo que al aumentar la temperatura disminuye la cantidad adsorbida y el proceso sucede de forma rápida. (Garcés et al. 2012). La capacidad de adsorción está basada en la concentración de la sustancia que se requiere adsorber, la temperatura a la cual se realiza la adsorción y la polaridad de la sustancia. (Viades Trejo 2013)

Para que se realice una adsorción con un buen rendimiento, se prefieren sólidos con alta porosidad y con áreas internas grandes por unidad de volumen. Por lo general las superficies son irregulares y las energías de enlace se deben a las fuerzas de Van der Waals. (Fernández Pino 2011)

#### *1.2.3.1 Parámetros que influyen en el proceso de adsorción*

- *pH*

El valor del pH que presentan las soluciones acuosas es uno de los factores más predominantes en la adsorción de cationes y aniones. Para cationes el pH que favorece la adsorción suele encontrarse en valores mayores a 4.5, mientras que para aniones el valor de pH que suele facilitar la adsorción se encuentra entre 1.5. (Kuyucak et al. 1989)

- *Tiempo de equilibrio*

Los modelos de Lagmuir y Freundlich han sido los que mejor describen el equilibrio de adsorción, ya que mediante el uso de las isotermas se evalúa la adsorción del metal pesado. (Volesky et al. 1995)

- *Cantidad de adsorbente*

La cantidad de adsorbente es otro de los factores que influyen en la adsorción, ya que cuando se tiene una mayor cantidad de adsorbente se obtendrá una mayor adsorción; sin embargo, es preciso llegar a obtener un equilibrio entre la cantidad que se use adsorbente y la concentración del metal que se quiere adsorber. (Garcés et al. 2012)

### *1.2.3.2 Tipos de Adsorción*

Los tipos de adsorción se clasifican de acuerdo al tipo de interacción entre el soluto y el adsorbente, y será de tipo eléctrico, de Van der Waals o de naturaleza química.

La adsorción de tipo eléctrico se la llama también adsorción por intercambio, es el proceso en el que los iones de una sustancia se concentran en una superficie debido a la afinidad electrostática en los lugares cargados de la superficie. (Niño et al. 2008)

Cuando la adsorción se da por fuerzas de Van der Waals, se la llama adsorción física, se da cuando la molécula adsorbida no está fija en un lugar específico de la superficie, sino más bien está libre de trasladarse dentro de la interfase. (Niño et al. 2008) (Rojas et al. 2012)

Cuando las fuerzas son enlaces covalentes se llama adsorción química o quimisorción, en donde el adsorbato forma enlaces fuertes en los centros activos del adsorbente, el mismo que se asemeja a una reacción química y requiere una transferencia de electrones entre adsorbente y adsorbato. (Garcés et al. 2012)

### *1.2.3.4 Cinética de adsorción*

En los procesos de adsorción el análisis cinético es fundamental ya que el mismo describe la dinámica del proceso de adsorción permitiendo determinar el tiempo de contacto óptimo en el cual se obtiene la capacidad de adsorción en el equilibrio, así como también permite determinar a qué modelo cinético se ajustan mejor los datos de adsorción obtenidos. (Arroyo et al. 2018)

Existen diferentes modelos cinéticos que describen el proceso, sin embargo, en esta investigación se ajustaran los datos obtenidos a los modelos que se describen a continuación.

- Modelo cinético de pseudo primer orden

La ecuación que describe este modelo está basada en la capacidad del sólido, siendo directamente proporcional la concentración y la velocidad de adsorción. (Tejada et al. 2015)

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \left(\frac{k_1 * t}{2,303}\right)$$

**(Ec. 1-1)**

Donde:

$q_e$  ,  $q_t$  = Capacidades de adsorción en el equilibrio (mg/g).

$k_1$  = Constante de pseudo primer orden ( $min^{-1}$ ).

- Modelo cinético de pseudo segundo orden

Según Tejada, Villabona y Ruiz (Tejada et al. 2015) este modelo describe que “la velocidad de reacción depende directament de la cantidad de iones metálicos en la superficie del sólido y la cantidad de metal adsorbido en el equilibrio”.

La ecuación que describe este modelo es:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

**(Ec. 2-1)**

Donde:

$k_2$  = Constante de adsorción de pseudo segundo orden  $g^{-1}min^{-1}$ .

### 1.2.3.5 Isotermas de adsorción

Una isoterma de adsorción se define como la relación que existe entre la cantidad adsorbida de una sustancia y su concentración en equilibrio, desarrollándose este proceso a temperatura constante. (Delgadillo 2011). También se la define como la relación en equilibrio entre la cantidad de sustancia adsorbida y su concentración a temperatura constante. (Viades Trejo 2013)

Las isotermas de adsorción se consideran una herramienta de gran ayuda en diseños de sistemas de adsorción, ya que mediante la correlación de datos obtenidos experimentalmente se halla información del equilibrio de adsorción de un sistema en específico, ajustándose a diferentes modelos de isotermas existentes los cuales presentan las mismas variables para la determinación de valores característicos a diferentes concentraciones de adsorción; algunos de los modelos más usados de isotermas de adsorción se detallan a continuación. (Moreno et al. 2011)

- *Isoterma de Langmuir*

El modelo que desarrollo Langmuir inicialmente representaba la adsorción en un sistema gas-sólido, pero se ha venido empleando en gran cantidad para estudios de adsorción de un soluto en fase líquida. (Langmuir 1916). Este modelo representa una isoterma particular de un proceso de quimisorción. (Moreno et al. 2011)

Este modelo desarrolla la adsorción en monocapa, ya que básicamente la atracción de las moléculas y la superficie del adsorbente se basa en fuerzas físicas y por lo tanto la adsorción ocurre en una cantidad finita y definida en sitios localizados idénticos y equivalentes. (Obregón 2012). La ecuación que representa el modelo de Langmuir es esta dada por:

$$q = \left( \frac{q_{max} b C_e}{1 + b C_e} \right) \tag{Ec. 3-1}$$

En donde:

$q$  = Cantidad de adsorbato retenido en el adsorbente ( $mg. g^{-1}$ )

$q_{max}$  = Capacidad máxima de adsorción

$b$  = Constante de Langmuir ( $L. mg^{-1}$ )

$C_e$  = Concentración del adsorbato presente en la solución en equilibrio ( $mg. L^{-1}$ )

En forma lineal la ecuación se representa de la siguiente manera:

$$\frac{C_e}{q} = \frac{1}{bq_{max}} + \frac{C_e}{q_{max}}$$

(Ec. 4-1)

- *Isoterma de Freundlich*

El modelo de Freundlich se adapta para la adsorción en multicapas, ya que no hay un límite ni se propone una adsorción monomolecular. Freundlich encontró una relación de tipo exponencial entre la cantidad de soluto adsorbido y su concentración en equilibrio. (Freundlich 1906).

La siguiente ecuación describe el modelo de la isoterma de Freundlich:

$$q = kC_e^{\frac{1}{n}}$$

(Ec. 5-1)

En donde:

$q$  = Cantidad de soluto removido por unidad de masa de adsorbente ( $mg \cdot g^{-1}$ )

$k$  = Parámetro de capacidad de adsorción del material

$C_e$  = Concentración de soluto presente en el equilibrio ( $mg \cdot L^{-1}$ )

$n$  = Constante relacionada con la afinidad entre el adsorbente y el soluto

La ecuación linealizada se representa de la siguiente manera:

$$\ln q = \ln k + \frac{1}{n} \ln C_e$$

(Ec. 6-1)

#### **1.2.4 Cromo**

El cromo es un metal que se encuentra presente en plantas, rocas, animales y suelo. La mayor contaminación que se produce por cromo hexavalente se da a través de las actividades humanas, ya que las industrias usan este metal en sus diferentes actividades, contaminando principalmente aire y agua. (Molina et al. 2010)

Por lo general el cromo hexavalente se reduce a cromo trivalente el cual es menos toxico, así que cuando existe una exposición al mismo ya sea al respirar, al tomar agua o comer y entrar en el cuerpo humano se degrada. Sin embargo, los efectos adversos que provoque este metal dependerán de la valencia del mismo al momento de exposición y solubilidad que presenta, causando principalmente alergias, irritaciones, úlceras, erupciones cutáneas, entre otras, destacando también que se considera cancerígeno. (Emsley 2003)

En Ecuador el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) en los requisitos para el agua potable según la norma NTE INEN 1108:2014 establece que el límite permisible máximo de cromo total es de 0,05 mg/L. (INEN 2014)

#### *1.2.4.1 Cromo en la industria*

Se emplea en gran cantidad en la metalurgia; el cromo se presenta en diferentes estados de oxidación como cromo (0), cromo (III) y cromo (VI). Los usos más comunes de cromo (III) y (VI) se dan en colorantes, curtido de cuero, cromado, preservación de la madera, industria textil, inhibidores de corrosión, etc. La industria del cemento es otra de las cuales se considera que hace gran uso de este metal. (Molina et al. 2010)

Las actividades humanas como la quema carbón y petróleo, soldadura y producción de acero, uso y manufactura de productos químicos, son las formas más comunes de contaminar el aire y agua con cromo (III y VI). (Reyes et al. 2016). En el agua se produce contaminación con cromo debido a las descargas con desechos de las curtiembres, colorante y pigmentos; ya que suele irse al fondo sin disolverse por completo en el agua, contaminándose así el agua y el asuelo. (Lavado et al. 2012)

#### *1.2.5 Plomo*

El plomo se define como un metal toxico de color azul-grisáceo, se encuentra de forma natural por lo general en combinación con otros elementos, de igual manera de forma orgánica e inorgánica. Se encuentra en estados de oxidación de (II) y (IV) y considerado al plomo inorgánico el más letal debido a la fácil absorción en el cuerpo humano. (Molina et al. 2010)

Entre los efectos adversos que el plomo produce en la salud humana están los efectos tóxicos en órganos, sistemas, procesos fisiológicos, sistema cardiovascular, riñones y el más grave

desarrollado en el sistema nervioso central; cabe destacar que el los efectos tóxicos dependen de la magnitud de la exposición, así como también las características de la persona expuesta, afectando mayormente a niños en crecimiento y fetos en desarrollo. (Molina et al. 2010)

El plomo está incluido dentro los 10 productos químicos que ocasionan problemas graves de salud establecida en la lista de la organización mundial de la salud, de igual manera ha establecido un límite de 10 ug/Litro para el cromo en agua. (Zevallos 2018).

#### *1.3.5.1 Plomo en la industria*

El plomo se descarga al medio ambiente como producto del uso humano en diferentes industrias como: petroquímica, pigmentos, refinerías, impresiones, material fotográfico, explosivos, revestimientos de cables, y un sinnúmero más de industrias que usan plomo en sus productos. Se puede dar la contaminación al ambiente con plomo debido a que se usa como aditivos en la gasolina, en el aire debido a las minas y al agua por el uso en fábricas que usan aleaciones o compuestos con este metal. (Dwivedi et al. 2008)

El plomo a pesar de causar efectos adversos se sigue utilizando en productos de consumo y es liberado en el aire por incineración de materiales, emisiones de minería y fundición y combustión de petróleo. (Meyer et al. 2008)

## **CAPITULO II**



## **2. MARCO METODOLÓGICO**

### **2.1 Hipótesis y especificación de variables**

#### ***2.1.1 Hipótesis General***

Mediante diferentes ensayos de laboratorio se podrá evaluar el desempeño de carbón activado obtenido a partir de semillas de datura como material adsorbente de los metales cromo (VI) y plomo (II).

#### ***2.1.2 Hipótesis Específicas***

H1: En el laboratorio se determinarán las características fisicoquímicas del carbón activado de semillas de datura después de haber sido obtenido.

H2: Distintos parámetros influyen en la capacidad de adsorción de carbón activado a los metales cromo (VI) y plomo (II).

H3: Mediante el cálculo del rendimiento que presenta cada metal se determinara cuál de ellos presenta mayor afinidad a ser adsorbido por el carbón activado.

#### ***2.1.3 Identificación de variables***

##### ***2.1.3.1 Variables independientes***

- Cantidad de adsorbente
- pH inicial
- Tiempo de equilibrio

### *2.1.3.2 Variables dependientes*

- Capacidad adsorbente
- Rendimiento de adsorción

### 2.1.4 Matriz de consistencia

**Tabla 1-2:** Matriz de consistencia

<b>ASPECTOS GENERALES</b>				
<b>PROBLEMA GENERAL</b>		<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	
¿De qué manera se desempeña el carbón activado de semillas de datura como material adsorbente de metales (cromo VI y plomo II)?		Evaluar el desempeño del carbón activado de semillas de datura como material adsorbente de metales (cromo VI y plomo II).	Mediante diferentes ensayos de laboratorio se podrá evaluar el desempeño de carbón activado obtenido a partir de semillas de datura como material adsorbente de los metales cromo (VI) y plomo (II).	
<b>ASPECTOS ESPECIFICOS</b>				
<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>HIPOTESIS ESPECÍFICAS</b>	<b>VARIABLES DE LAS HIPOTESIS ESPECÍFICAS</b>	<b>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>
¿Qué características fisicoquímicas presenta el carbón activado obtenido a partir de semillas de datura?	Determinar las características fisicoquímicas del carbón activado obtenido a partir de las semillas de datura.	En el laboratorio se determinarán las características fisicoquímicas del carbón activado de semillas de datura después de haber sido obtenido.	Presencia de grupos funcionales, densidad aparente y humedad.	FTIR. Determinación de humedad mediante secado. Determinación de densidad por pesado

¿Qué parámetros influyen en la capacidad de adsorción del carbón activado aplicado a los metales cromo (VI) y plomo (II)?	Identificar los parámetros que influyen en la capacidad de adsorción del carbón activado a los metales Cromo (VI) y Plomo (II).	Distintos parámetros influyen en la capacidad de adsorción de carbón activado a los metales cromo (VI) y plomo (II).	pH inicial, cantidad de adsorbente y tiempo de equilibrio.	Espectrofotometría y medición con ayuda de cronómetro.
¿Qué metal presenta mayor afinidad a ser adsorbido por el carbón activado después de realizar cálculos de rendimiento de cada uno de ellos?	Establecer el metal que presenta mayor afinidad a ser adsorbido por el carbón activado mediante el cálculo del rendimiento que presenta cada uno.	Mediante el cálculo del rendimiento que presenta cada metal se determinara cuál de ellos presenta mayor afinidad a ser adsorbido por el carbón activado.	Rendimiento de la adsorción.	Determinación mediante ecuaciones establecidas.

Realizado por: Laguna Gabriela, 2021

## **2.2 Tipo y diseño de investigación**

### ***2.2.1 Tipo de Investigación***

La investigación es de tipo exploratoria ya que se investigará la obtención de carbón activado a partir de las semillas de datura y el desempeño de este como material adsorbente identificando cuales son los parámetros que influyen para obtener una mayor capacidad de adsorción.

### ***2.2.2 Diseño de la Investigación***

El diseño de la investigación es de tipo experimental ya que se obtendrá carbón activado a partir de semillas de datura mediante calcinación realizando una activación química con ácido fosfórico, a continuación, se prepararán soluciones de cromo y plomo. Estas soluciones serán sometidas a procesos de adsorción en donde se busca variar la cantidad de carbón activado, el pH inicial y se encontrará el tiempo de equilibrio para cada metal. Al finalizar los experimentos de adsorción se determinará la cantidad de metal adsorbido por gramo de carbón activado y se determinará el rendimiento que se presenta en cada condición experimental.

Al finalizar la experimentación se realizará un nuevo estudio donde se preparen distintas soluciones a diferentes concentraciones iniciales para determinar la isoterma de adsorción que mejor ajusta los datos experimentales.

## **2.3 Población de Estudio**

La población de estudio está definida por el carbón activado necesario para tratar las soluciones de metales y las distintas soluciones que se prepararan de cromo (VI) y plomo (II) para su posterior adsorción.

## **2.4 Tamaño de Muestra**

Para el tamaño de muestra se considerará el carbón que se obtenga de la calcinación de las semillas de datura y también serán las diferentes soluciones de cromo (VI) y soluciones de plomo (II), cada

una a una concentración de 6 ppm para el cromo y 10 ppm para el plomo, y con la variación respectiva de las concentraciones en cada metal para la determinación de las isothermas de adsorción.

## **2.5 Selección de muestra**

Para el tiempo de equilibrio se partió de una solución madre tanto para el cromo como el plomo, una vez hallado el tiempo de equilibrio idóneo para cada metal se realizará la variación de un parámetro a la vez, empezando con la variación de pH para determinar el valor adecuado del mismo para una mayor adsorción; luego se hará una variación de dosis de adsorbente con el fin de encontrar la mejor dosis. Los datos recolectados para el tiempo de equilibrio serán ajustados a modelos cinéticos y finalmente se determinarán las isothermas de adsorción a temperaturas diferentes para cada metal variando la concentración inicial.

## **2.6 Técnicas de Recolección de Datos**

La presente investigación se basará en la observación directa de la variación de la capacidad de adsorción de los metales frente a los cambios de las variables independientes. Se determinará en primer lugar el tiempo de equilibrio y la cinética de adsorción en cada metal mediante mediación de la contratación final de cada uno. Después se determinará la influencia de la variación de parámetros en la adsorción como el pH y dosis de adsorbente; finalmente se realizarán los experimentos para el ajuste de las isothermas en cada metal. Se empleará un espectrofotómetro UV VIS para la identificación de cromo hexavalente y un fotómetro para la lectura de plomo, estos valores serán registrados en una hoja de recolección de datos de respuesta para ser posteriormente ser analizados y tabulados.

## **2.7 Metodología para la recolección de datos experimentales**

### ***2.7.1 Laboratorios utilizados***

El desarrollo del presente proyecto se realizó en los laboratorios de Operaciones Unitarias, Investigación, Química Analítica, Análisis Instrumental y Calidad del Agua de la facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

### 2.7.1.1 Materiales, equipos y reactivos

#### Materia prima

- Semillas de datura

#### Reactivos

- Ácido fosfórico
- Hidróxido de sodio
- Ácido nítrico
- Estándar de plomo (II)
- Dicromato de potasio
- 1,5 Difenilcarbazida
- Ácido sulfúrico
- Acetona
- Nitrógeno
- Agua ultrapura
- Agua destilada
- Kit de determinación de plomo Test en cubetas MERCK

#### Materiales

- Crisoles
- Capsulas
- Vidrio reloj
- Espátula
- Vasos de precipitación
- Matraces Erlenmeyer
- Probetas
- Pipetas graduadas
- Pipetas Pasteur
- Recipientes plásticos para conservación de muestras

## Equipos

- Balanza analítica electrónica OHAUS
- Mufla
- Estufa
- Analizador de humedad Radwag PMC 50
- pH-metro
- Reactor de pirolisis
- Espectrofotómetro UV VIS
- Fotómetro HACH
- Espectrofotómetro FTIR
- Agitador magnético Flisher Scientific
- Agitador Orbital Shaker
- Incubadora Shaker ESCO

### ***2.7.2 Experimentación***

La presente investigación consta de diferentes etapas las cuales se detallarán a continuación:

#### *2.7.2.1 Tratamiento de la materia prima*

Las semillas de datura *Stramonium L.* fueron recolectadas de diferentes plantas ubicadas en terrenos baldíos y lugares desolados, recogiendo en su gran mayoría semillas negras maduras, fueron limpiadas para liberarlas de tierra, insectos y diferente materia ajena a las semillas. Las mismas fueron llevadas a una estufa eléctrica a una temperatura de 70°C por 24 horas con el fin de reducir su humedad y que la misma no interfiera en el proceso de carbonización llevado a cabo en el reactor.

#### *2.7.2.2 Caracterización de las semillas de datura*

- Humedad



Para la determinación de humedad en las semillas de datura se pesaron 2 gr de materia prima y siguiendo las instrucciones del analizador de humedad Radwag PMC se introdujo durante aproximadamente 10 minutos. Una vez transcurrido el tiempo necesario, se leyó el valor del porcentaje de humedad detectado por la balanza.

- Cenizas

En un crisol previamente tarado, se colocaron aproximadamente 2 gr de semillas secas, se calcinaron en una mufla eléctrica por 1 hora a 300°C y después por 3 horas a 800°C, luego fueron colocadas en un desecador por 30 minutos para finalmente ser pesadas. (Correa et al. 2009).

$$\%Cenizas = \frac{\text{Peso de ceniza (gr)}}{\text{Peso de muestra seca (gr)}} * 100$$

(Ec. 1-2)

- Materia Volátil

Colocar en un crisol previamente tarado 2 gr aproximadamente de semillas secas, llevar a una mufla eléctrica por 15 minutos a 500°C, colocar en un desecador por 30 minutos y luego pesar. (Zevallos 2018)

$$\%Materia\ volátil = \frac{\text{Peso de materia volatil (gr)}}{\text{Peso de muestra seca (gr)}} * 100$$

(Ec. 2-2)

- Carbono Fijo

Para la determinación de carbón fijo se hizo referencia a la norma ASTM D-1762. (ASTM 2011) La ecuación es la siguiente:

$$\% \text{ Carbón Fijo} = 100 - (\%Humedad + \%Cenizas + \%Materia\ volátil)$$

(Ec. 3-2)

- Densidad Aparente

Para el cálculo de la densidad aparente se colocaron semillas de datura en una probeta de 100 mL hasta llegar a la medida de la misma. Se pesó la cantidad de muestra ocupada y se realizó el cálculo mediante la ecuación descrita a continuación. (Aguirre 2017)

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{\text{Peso de la muestra (gr)}}{\text{Volumen de la muestra (cm}^3\text{)}}$$

(Ec. 4-2)

#### 2.7.2.3 Obtención del carbón de semillas de datura

La obtención de carbón activado se realizó en dos etapas, la primera consistió en la carbonización de las semillas y la segunda en la activación del carbón.

La carbonización se llevó a cabo en reactor batch de pirolisis con atmosfera de nitrógeno. Se pesaron 300 gr de semillas previamente secas, se introdujeron al reactor a una temperatura de 450°C por 30 minutos, se esperó 2 horas para que baje la temperatura del reactor hasta aproximadamente 30°C para poder extraer el carbón del reactor, y finalmente se pesó.

#### 2.7.2.4 Activación del carbón de semillas de datura

Para la activación del carbón, se siguió un procedimiento parecido al descrito por Carrasco y Londa. Se pesaron 25 gr de carbón de semillas de datura en una capsula y se impregnaron con ácido fosfórico al 85% en una relación de 1:1 m/v, la muestra fue llevada a una estufa eléctrica a 120°C por 24 horas. Se retiró de la estufa después del tiempo requerido y el carbón activado fue lavado con abundante agua destilada caliente a una temperatura de 80°C hasta que el pH sea neutro. Una vez que el pH del carbón se encuentre en un rango de 6-7 fue llevado a una estufa para su secado a una temperatura de 120°C por 24 horas. (Carrasco et al. 2018)

### 2.7.2.5 Caracterización del carbón activado

- Humedad

Para la determinación del porcentaje de humedad se pesaron 2 gr de carbón activado, se introdujeron en un analizador de humedad, se esperó el tiempo determinado y se leyó el valor obtenido.

- Cenizas

Para la determinación de cenizas, se pesaron aproximadamente 2 gr de carbón activado, se colocaron en un crisol previamente tarado y se introdujeron en una mufla a una temperatura de 500°C por 3 horas hasta que las cenizas tengan un color blanco. Se colocó en un desecador y se pesó. Según la norma ASTM D-1762 la fórmula para determinar el porcentaje de cenizas es:

$$\%Cenizas = \frac{\text{Peso de ceniza (gr)}}{\text{Peso de muestra seca (gr)}} * 100$$

(Ec. 5-2)

- Materia Volátil

Para la determinación de materia volátil se siguió un procedimiento similar al usado por (Panduro 2012) se pesaron 2 gr de carbón, se colocaron en un crisol y se introdujeron en una mufla a 950°C durante 7 minutos para luego colocarla en un desecador y pesar. La fórmula utilizada para el porcentaje de materia volátil es:

$$\%Materia\ volátil = \frac{\text{Peso de materia volátil (gr)}}{\text{Peso de muestra seca (gr)}} * 100$$

(Ec. 6-2)

- Carbón Fijo

El porcentaje de carbón fijo está determinado por la siguiente fórmula, en base a la norma ASTM D-1762.

$$\% \text{ Carbón Fijo} = 100 - (\% \text{ Humedad} + \% \text{ Cenizas} + \% \text{ Materia volátil})$$

**(Ec. 7-2)**

- Densidad Aparente

Para el cálculo de la densidad aparente se colocó cierta cantidad de carbón hasta la línea que corresponde a la medida de una probeta de 10 mL, se pesó la muestra utilizada y se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{\text{Peso de la muestra (gr)}}{\text{Volumen de la muestra (cm}^3\text{)}}$$

**(Ec. 8-2)**

- Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Se trituro una pequeña muestra de aproximadamente 0,5 gr de carbón activado hasta pulverizarlo y fue llevada al FTIR para la posterior identificación de los grupos funcionales que presenta la misma.

#### 2.7.2.6 Determinación del tiempo de equilibrio y cinética de adsorción

- Tiempo de equilibrio y cinética de adsorción para cromo VI

Se prepararon soluciones para evaluar su capacidad de adsorción a diferente tiempo de la siguiente forma:

- Se preparo una solución madre de dicromato de potasio a una concentración de 6 ppm de  $Cr^{6+}$  aproximadamente.
  - Se trasvaso un volumen de 250 mL a un vaso de precipitación.
  - Se partió con una dosis de adsorbente de 1g/L.
  - La solución con el carbón se sometió a agitación constante por 6 horas aproximadamente, y se fueron tomando alícuotas a los tiempos designados.
  - Se filtraron las alícuotas tomadas y se aforaron a 50 mL, se ajustó el pH a 2 con ácido sulfúrico y se añadió 1 mL de difenilcarbazida al 0,5% en acetona.
  - Con el espectrofotómetro UV VIS se midió la concentración final de cada tratamiento.
  - Se grafico concentración final vs tiempo y se determinó el tiempo de equilibrio para la adsorción de cromo VI con CA.
  - Para la cinética de adsorción se ajustaron los datos a los modelos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden.
- Tiempo de equilibrio y cinética de adsorción para plomo II
    - Se preparo una solución madre de nitrato de plomo a una concentración de 10 ppm de  $Pb^{2+}$ .
    - Se trasvaso un volumen de 250 mL a un vaso de precipitación.
    - Se partió con una dosis de adsorbente de 1g/L.
    - La solución con el carbón se sometió a agitación constante por 6 horas aproximadamente y se tomaron alícuotas en los tiempos designados.
    - Se filtraron las alícuotas tomadas y se aforaron a 50 mL
    - Las muestras fueron aciduladas para su conservación y posterior identificación en el fotómetro siguiendo las instrucciones del Test en cubetas para plomo MERCK.
    - Se grafico concentración final vs tiempo y se determinó el tiempo de equilibrio para la adsorción de plomo II con CA.
    - Para la cinética de adsorción se ajustaron los datos a los modelos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden.

#### 2.7.2.7 Estudio del efecto de las variables en la adsorción de cromo (VI)

- Efecto del pH

Se siguió el procedimiento sugerido por (Delgadillo 2011), con el fin de analizar cómo influye el pH inicial en la adsorción de cromo hexavalente, se prepararon soluciones en las cuales se varió el pH con valores desde 1 hasta 6, manteniéndose constante la dosis de adsorbente y manteniendo en

agitación constante por el tiempo de equilibrio encontrado para este metal. Una vez terminada la adsorción se realizó la identificación de concentración final de cromo en la solución.

- Efecto de la dosis de adsorbente

Para determinar cómo influye la dosis de adsorbente en la capacidad de remoción de iones cromo (VI), se prepararon soluciones de 6 ppm y se agregaron dosis de sorbente desde 1 hasta 6 g/L, se mantuvo constante el valor del pH y se dejó en agitación constante por el tiempo de equilibrio. Para la identificación de cromo hexavalente se siguió el siguiente procedimiento:

#### Curva de calibración

- Se realizó 5 disoluciones de dicromato de potasio de concentraciones conocidas con valores de 0,2; 0,4; 1; 1,5 y 2 mg/L de Cr (VI).
- Las disoluciones fueron transferidas a matraces Erlenmeyer y se añadió  $H_2SO_4$  con una concentración de 0,1 N a cada uno con el fin de ajustar el pH hasta 2.
- A cada matraz Erlenmeyer se añadió 1 mL de solución de difenilcarbazida en acetona 0.5% (m/v).
- Se agitó y se dejó reposar de 5 a 10 minutos para que se coloree la solución.
- Se llevó al espectrofotómetro y se registró la lectura a una longitud de onda de 540 nm.
- Con los datos de las 5 disoluciones, se realizó la curva de calibración relacionando la concentración de cromo hexavalente con la absorbancia.

#### Muestra Problema

- Una vez obtenidas las soluciones filtradas después de la adsorción con el carbón activado, a cada una se le añadió ácido sulfúrico al 0,1 N, se agitó y se ajustó el pH en 2.
- A cada muestra se añadió 1 mL de difenilcarbazida en acetona 0.5 % (m/v).
- Se agitó y se dejó en reposo de 5 a 10 minutos hasta que tome una coloración.
- Se llevó al espectrofotómetro y se registró la lectura a una longitud de onda de 540 nm.

### 2.7.2.8 Estudio del efecto de las variables en la adsorción de plomo (II)

- Efecto del pH

Para analizar cómo influye el pH inicial en la adsorción de plomo, se prepararon soluciones en las cuales se varió el pH con valores desde 1 hasta 6, manteniéndose constante la dosis de adsorbente y manteniendo en agitación constante por el tiempo de equilibrio encontrado para este metal. Una vez terminada la adsorción se realizó la identificación de concentración final de plomo en la solución.

- Efecto de la dosis de adsorbente

Para determinar cómo influye la dosis de adsorbente en la capacidad de remoción de iones plomo (II), se prepararon soluciones de 10 ppm y se agregaron dosis de sorbente desde 1 hasta 6 g/L, se mantuvo constante el valor del pH y se dejó en agitación constante por el tiempo de equilibrio. Para la identificación de plomo siguió el procedimiento del kit de Test en cubetas para plomo MERCK, realizando primero una curva de calibración.

### 2.7.2.9 Evaluación del carbón activado en base a la capacidad de adsorción y al rendimiento de remoción

Una vez completados los diferentes tratamientos especificados en las secciones 2.7.2.7 y 2.7.2.8 para el cromo y plomo respectivamente se filtró las soluciones resultantes para la remoción de carbón activado y posteriormente se determinó la concentración final de estas.

La capacidad de adsorción se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$q = \frac{(C_0 - C_f) * V}{M}$$

(Ec. 10-2)

Donde:

$q$  = Capacidad de adsorción en (mg de metal/g de carbón).

$C_0$  y  $C_f$  = Concentración inicial y final ( $mg/L$ ).

$V$  = Volumen de solución ( $L$ ).

$M$  = Masa de carbón ( $g$ )

El porcentaje de remoción se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\%Rendimiento = \frac{C_o - C_f}{C_o} * 100$$

(Ec. 11-2)

Donde:

$C_o$  = Concentración inicial de cada metal

$C_f$  = Concentración final de cada metal

#### 2.7.2.10 Determinación de isotermas de adsorción

##### Cromo VI

- Se prepararon soluciones de dicromato de potasio de concentraciones desde 2 hasta 6 ppm de  $Cr^{6+}$ .
- Se ajustó el pH de cada solución, se añadió el carbón activado y se dejó en agitación por el tiempo de equilibrio, todo esto a una temperatura de 25°C.
- Una vez transcurrido el tiempo de contacto, se filtraron las soluciones de cualquier resto de carbón activado.
- Se trató a cada muestra añadiendo ácido sulfúrico 0,1 N, se agitó y se ajustó el pH en 2.
- A cada muestra se añadió 1 mL de difenilcarbazida en acetona 0.5 % (m/v).
- Se agitó y se dejó en reposo de 5 a 10 minutos hasta que tome una coloración.
- Se llevó al espectrofotómetro y se registró la lectura a una longitud de onda de 540nm.
- Se repitió el procedimiento para las temperaturas de 40 y 50°C.



## Plomo II

- Se prepararon soluciones de  $Pb^{2+}$  de concentraciones de entre 6 y 10 ppm.
- Se ajustó el pH de cada solución, se añadió el carbón activado y se dejó en agitación por el tiempo de equilibrio, todo esto a una temperatura de 25°C.
- Una vez transcurrido el tiempo de contacto, se filtraron las soluciones de cualquier resto de carbón activado.
- Las muestras fueron aciduladas con 2 gotas de ácido nítrico puro en cada muestra y reservadas para su posterior lectura de concentración.
- Se realizó la lectura de la concentración final de plomo en cada muestra.
- Se repitió el procedimiento para las temperaturas de 40 y 50°C.

### *2.7.2.11 Determinación del rendimiento de adsorción para una solución de cromo (VI) y plomo (II)*

- Se preparó una solución de concentración de 10 ppm de  $Cr^{6+}$  y 10 ppm de  $Pb^{2+}$  en un volumen de 50 mL
- Se midió el pH y se añadió carbón activado en una relación de 1 g/L.
- La solución fue puesta en agitación constante durante 3 horas, tiempo para que los iones lleguen al equilibrio.
- Se filtraron las soluciones obtenidas y se prepararon para la identificación de la concentración final de cada metal por el método designado para cada uno.
- Se calculó el porcentaje de remoción que obtuvo cada metal.

## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Resultados

##### 3.1.1 Caracterización de las semillas de datura

**Tabla 1-3:** Resultados de la caracterización de las semillas de datura

Muestra	Humedad (%)	Cenizas (%)	Materia Volátil (%)	Carbón Fijo (%)	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
1	9,83	2,50	70,66	17,02	0,57
2	9,88	2,43	70,96	16,72	0,56
Promedio	9,85	2,47	70,81	16,87	0,57

Realizado por: Laguna Gabriela, 2021

En la tabla 1-3 se pueden observar los resultados de cada prueba realizada a las muestras de semillas de datura y un promedio de las mismas. El valor promedio obtenido para la humedad fue de 9,85%, el valor del porcentaje de cenizas se situó en 2,47%, la materia volátil alcanzo un valor promedio de 70,81%, carbón fijo 16,87% y densidad aparente en 0,57%.

La humedad que presentan las semillas de datura es relativamente baja lo cual indica que no absorbe agua del medio ambiente, el bajo contenido de cenizas indica la poca presencia de materia inorgánica lo cual junto con el alto porcentaje de materia volátil y porcentaje significativo de carbono fijo que a más de garantizar un buen rendimiento y desarrollo de porosidad durante la activación también muestra que las semillas de datura son un precursor idóneo para convertirlo en carbón activado.

### 3.1.2 Caracterización del carbón activado

#### 3.1.2.1 Análisis proximal

Se realizó la caracterización del carbón activado mediante el análisis proximal determinando diferentes parámetros los cuales se observan en la tabla 2-3.

**Tabla 2-3:** Resultados de análisis proximal para el carbón activado de semillas de datura

Humedad (%)	Cenizas (%)	Materia Volátil (%)	Carbono Fijo (%)	Densidad Aparente ( $g/cm^3$ )
2,80	15,34	17,15	64,71	0,42

Realizado por: Laguna Gabriela, 2021

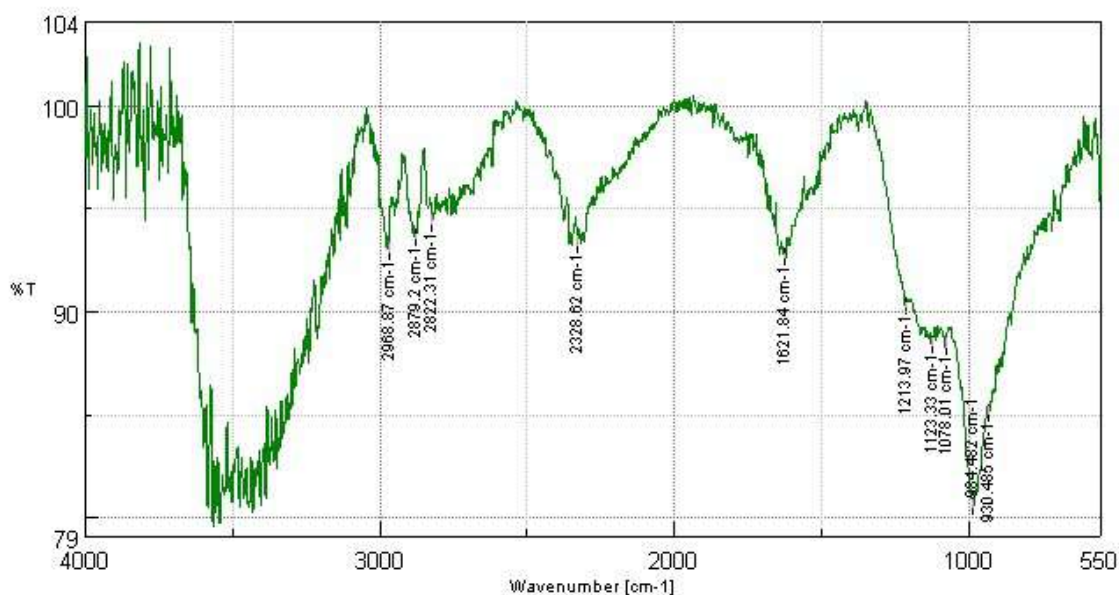
La humedad en el CA es uno de los parámetros importantes que se debe analizar, ya que según normas de calidad se recomienda una humedad menor al 15%, la misma que se suele relacionar también con una mayor capacidad de adsorción a menor porcentaje de humedad (ASTM 2011). El carbón activado a partir de semillas de datura presento un porcentaje de humedad de 2,80%, encontrándose dentro del rango aceptable en normas de calidad. (NTE INEN 1995)

El contenido de cenizas en el carbón activado se relaciona con la concentración del agente activante y con la carbonización del mismo con los componentes del precursor (Delgadillo 2011). El carbón activado de semillas de datura presento un valor de 15,34% de cenizas totales, es necesario que el carbón activado presente un contenido bajo de cenizas ya que según (Ramírez 2009) mientras menor es su porcentaje, mayor será la cantidad de carbón realmente efectivo.

Se obtuvo un contenido de materia volátil de 17,15%, ya que al usar agentes activantes químicos como en este caso ácido fosfórico, se reduce el contenido de materia volátil lo cual favorece al rendimiento del carbón. (Sevilla 2011)

El contenido de carbono fijo no se considera como parámetro para evaluar la calidad como adsorbente del CA. (Aguirre 2017). Sin embargo, se obtuvo un valor de 64,70%. La densidad aparente está relacionada directamente con la porosidad que se obtiene tanto en el proceso de carbonización como en la activación, ya que mientras menor es el valor mayor porosidad se habrá obtenido. Se obtuvo un valor de 0,42 ( $g/cm^3$ ), valor que se encuentra dentro de las normas de calidad INEN. (NTE INEN 1995)

### 3.1.2.2 Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)



**Figura 1-3:** Espectros infrarrojos con transformadas de Fourier del carbón activado

Realizado por: Laguna Gabriela, 2021

**Tabla 3-3:** Identificación de grupos funcionales a diferentes longitudes de onda.

Longitud de onda ( $cm^{-1}$ )	Transmitancia (%)	Grupo funcional
Curva entre 3100-3700		O-H
2968.87	92.8408	C-H
2879.2	93.5193	C-H
2822.31	94.1686	C-H
2328.62	93.1657	CO <sub>2</sub>
1621.84	92.5245	C=C
1213.97	90.1965	Tensión PO-H/ C-O
1123.33	88.2949	Tensión C-O
1078.01	88.2208	Tensión C-O
984.482	80.4774	C=C
930.485	84.9641	C=C

Realizado por: Laguna Gabriela, 2021.

En la figura 1-3 se puede observar una curva pronunciada centrada alrededor de los 3500  $cm^{-1}$  que indica la presencia de grupos OH. Las curvas en los rangos de 2968.87-2822.31  $cm^{-1}$  se deben a la

tensión de enlaces C-H de hibridación sp<sup>3</sup>. La vibración 1621.84 cm<sup>-1</sup> indica la tensión entre enlaces dobles carbono-carbono. En el rango de 1078.01 a 1213.97 se presentan picos que pueden ser producidos por la tensión entre el enlace C-O, las diferentes longitudes indican la presencia de alcoholes primarios. En este mismo rango pueden encontrarse también estiramientos del tipo P-O-H debido al fósforo contenido en el proceso de activación del carbón. En 930.485 a 984.482 cm<sup>-1</sup> pueden deberse al estiramiento fuera del plano producido por los dobles enlaces presentes en el carbón. El pico obtenido alrededor de 2328.62 cm<sup>-1</sup> según Peña, Giraldo y Moreno (2013) esta banda característica es producida por la tensión asimétrica del dióxido de carbono.

### 3.1.3 Determinación del tiempo de equilibrio

#### 3.1.3.1 Tiempo de equilibrio de cromo (VI)

Las cantidades de concentración en el tiempo y capacidad de adsorción del carbón activado para adsorber Cr<sup>6+</sup> a partir de una solución de 6,541 ppm a diferentes tiempos de contacto se muestran en la tabla 4-3.

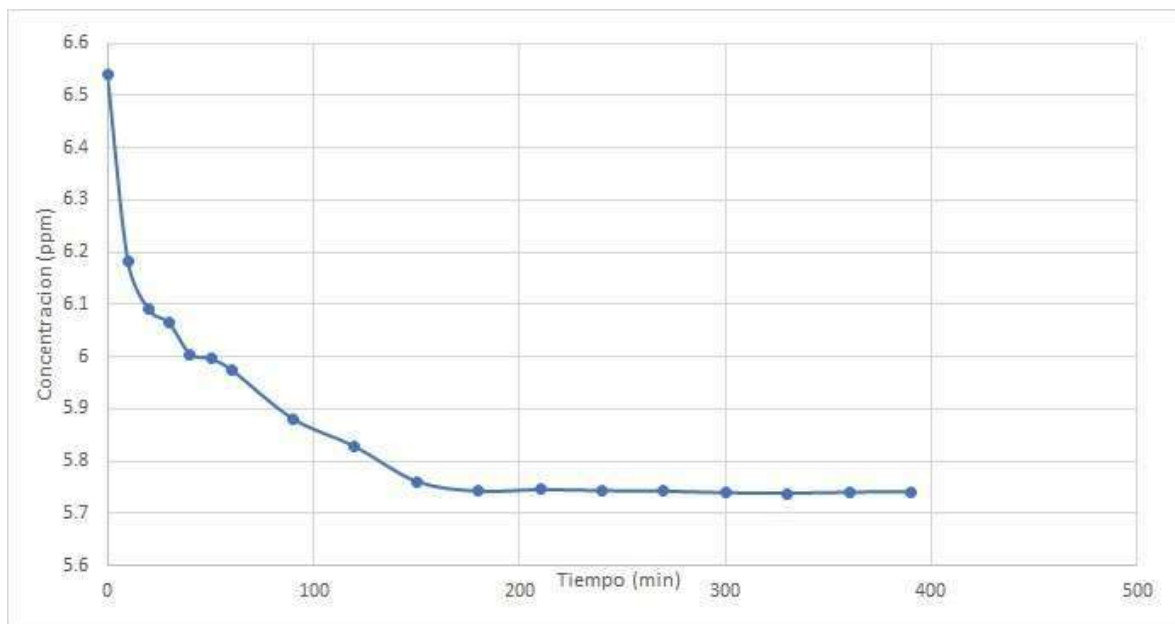
**Tabla 4-3:** Resultados del tiempo de equilibrio para Cromo (VI)

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Concentración (ppm m/v)</b>	<b>Capacidad de adsorción (mg/g)</b>
0	6,541	0
10	6,181	0,360
20	6,090	0,451
30	6,064	0,477
40	6,005	0,536
50	5,996	0,545
60	5,975	0,566
90	5,881	0,660
120	5,828	0,713
150	5,761	0,780
180	5,742	0,799
210	5,745	0,796

240	5,743	0,798
270	5,742	0,799
300	5,739	0,802
330	5,738	0,803
360	5,740	0,801
390	5,741	0,800

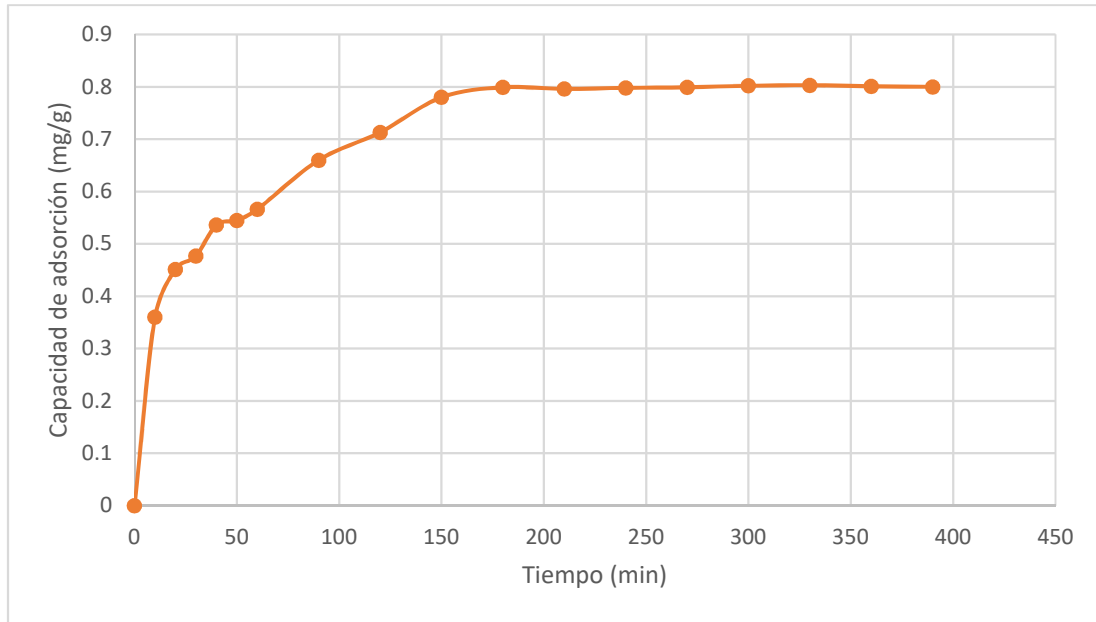
Realizado por: Laguna Gabriela, 2021.

Los gráficos 1-3 y 2-3 se muestra como decrece la concentración final de la solución madre a lo largo del tiempo y la variación de la capacidad de adsorción, en ambas graficas puede observarse como alrededor de los 180 minutos se alcanza el equilibrio ya que las concentraciones y capacidad de adsorción no varían a lo largo del tiempo.



**Gráfico 1-3:** Variación de la concentración final de adsorción de Cromo (VI) en función del tiempo.

Realizado por: Laguna Gabriela, 2021



**Gráfico 2-3:** Variación de la capacidad de adsorción de Cromo (VI) en función del tiempo

Realizado por: Laguna Gabriela, 2021.

### 3.1.3.2 Tiempo de equilibrio de plomo (II)

Las cantidades de concentración en el tiempo y capacidad de adsorción del carbón activado para adsorber  $Pb^{2+}$  a partir de una solución de 10,0142 ppm a diferentes tiempos de contacto se muestran en la tabla 5-3.

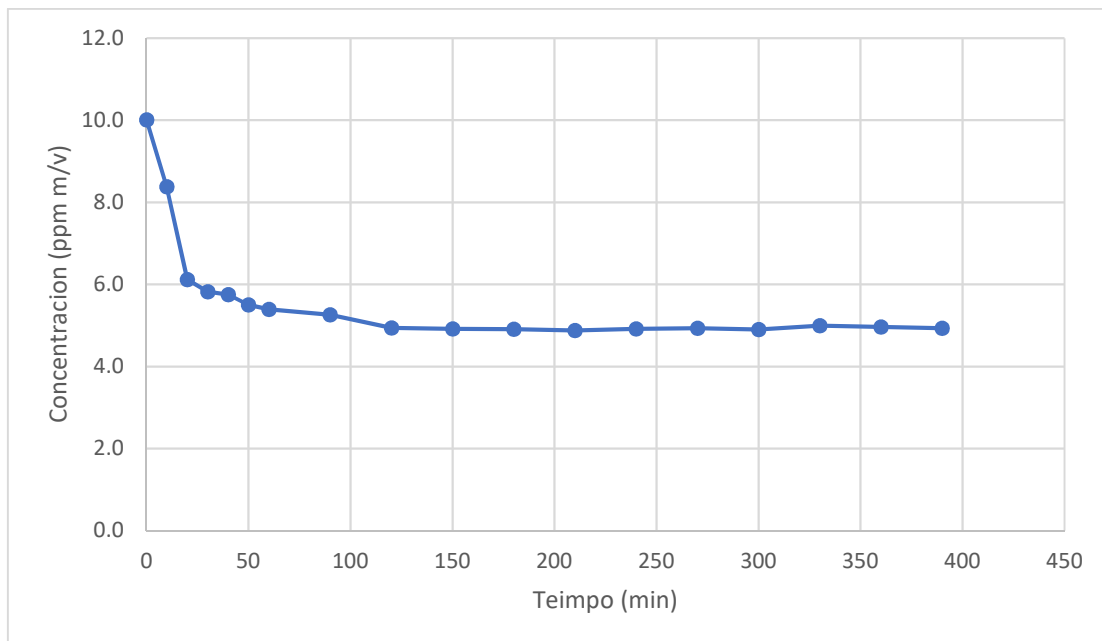
**Tabla 5-3:** Resultados para el tiempo de equilibrio de Plomo (II)

Tiempo (min)	Concentración (ppm m/v)	Capacidad de adsorción (mg/g)
0	10,014	0,000
10	8,384	1,529
20	6,122	3,808
30	5,822	4,130
40	5,756	4,199
50	5,506	4,450
60	5,390	4,569
90	5,257	4,703
120	4,941	5,020

150	4,921	5,043
180	4,909	5,055
210	4,880	5,085
240	4,920	5,045
270	4,930	5,034
300	4,905	5,059
330	4,992	4,972
360	4,966	4,998
390	4,936	5,028

Realizado por: Laguna Gabriela, 2021.

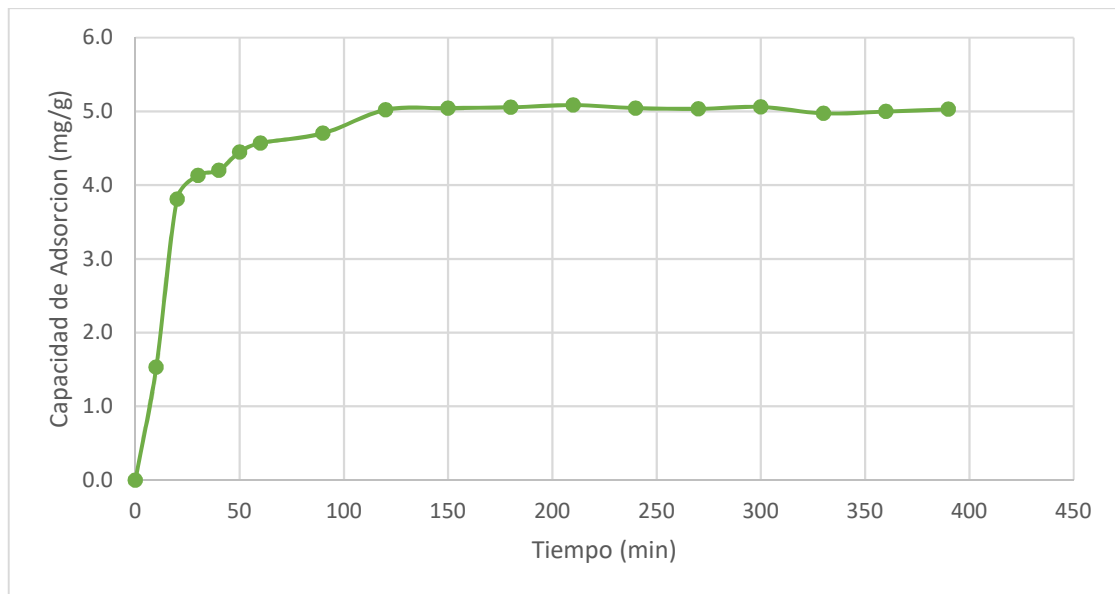
Los gráficos 3-3 y 4-3 se muestra como decrece la concentración final de la solución madre a lo largo del tiempo y la variación de la capacidad de adsorción, en ambas graficas puede observarse como alrededor de los 120 minutos se alcanza el equilibrio ya que las concentraciones y capacidad de adsorción no varían a lo largo del tiempo.



**Gráfico 3-3:** Variación de la concentración final de adsorción de Plomo (II) vs. tiempo.

Realizado por: Laguna Gabriela, 2021.





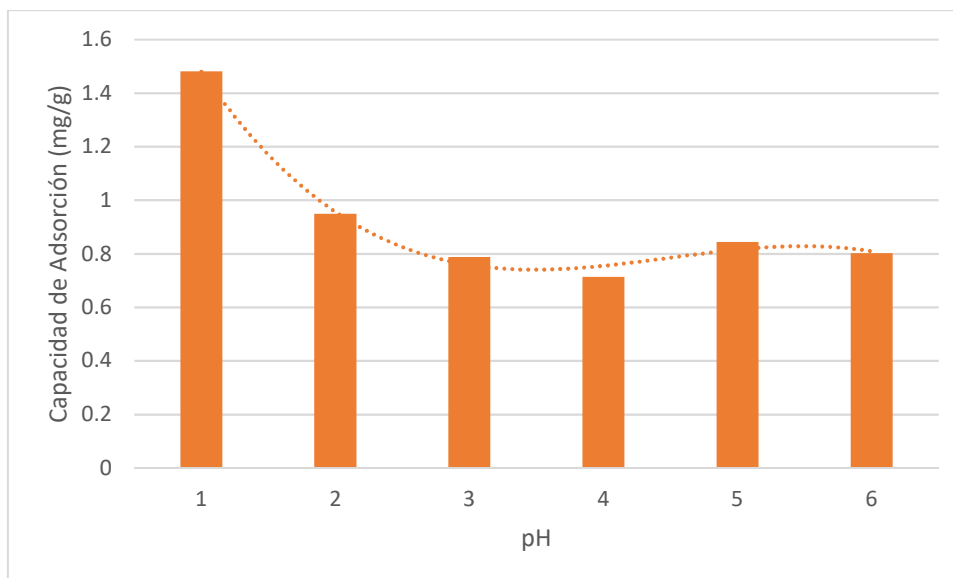
**Gráfico 4-3:** Variación de la capacidad de adsorción de Plomo (II) vs. tiempo.  
 Realizado por: Laguna Gabriela, 2021

### 3.1.4 Evaluación de la capacidad de adsorción de cromo VI

Una vez realizados todos los ensayos de adsorción usando el carbón activado obtenido a partir de semillas de datura, se evaluó la capacidad de adsorción. Se analizó los parámetros que más influyen en las mismas. La curva de calibración para la determinación de cromo (VI) se puede observar en el ANEXO J.

#### 3.1.4.1 Efecto del pH en la capacidad de adsorción para cromo VI

El pH de la solución es uno de los parámetros que ejercen un efecto tanto en la capacidad de remoción como en el porcentaje de adsorción.



**Gráfico 5-3:** Influencia del pH en la capacidad de adsorción de Cromo (VI)  
**Realizado por:** Laguna Gabriela, 2021

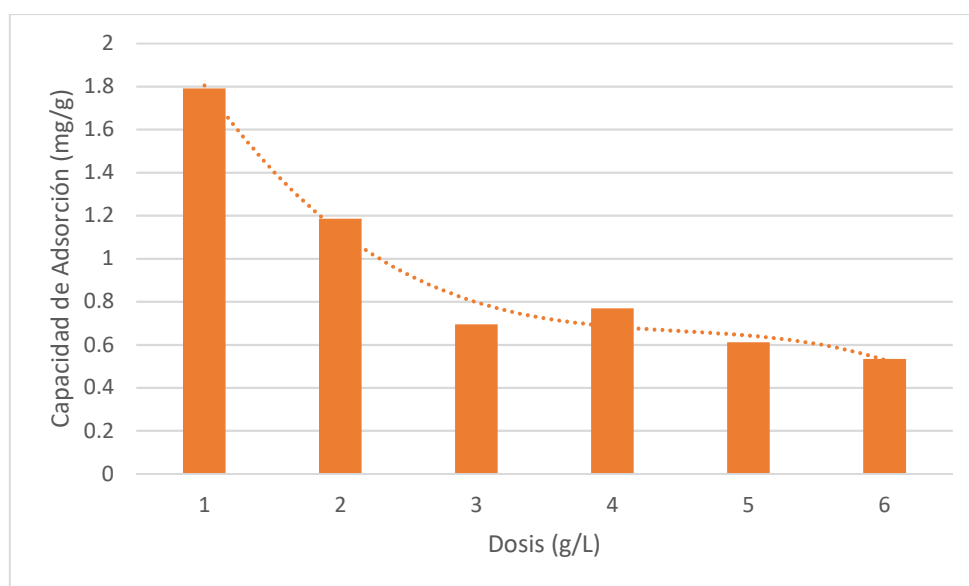
Como se observa en el gráfico 5-3 el aumento en el pH de la solución tiene un efecto negativo sobre la capacidad de adsorción del ion  $\text{Cr}^{6+}$ , pues se muestra como al aumentar el valor de pH la capacidad de adsorción del carbón activado disminuye obteniéndose de esta manera la mejor capacidad de adsorción a un pH de 1.

Cabe destacar que el cromo es considerado un ácido duro, lo que significa que su tamaño molecular es pequeño mientras que tiene una alta carga negativa, por lo cual se considera sensible al pH de la solución y a la superficie ácida del carbón activado. (Alfarra et al. 2004) citado en (Sun-Kou, Obregón, et al. 2014). El pH es un factor importante ya que este condiciona las interacciones electrostáticas entre el carbón activado y el ion tratado, por una parte un pH ácido favorece a la formación de cargas positivas sobre la superficie del carbón, estas cargas son las encargadas de adsorber el cromo, mientras que un pH básico tendería en primera instancia a neutralizar las cargas positivas en la superficie del carbón y posteriormente a incrementar la carga negativa en la superficie de este (Mohanty et al. 2005). Por otra parte, el valor de pH influye en la forma en la que se presenta el metal a ser adsorbido. En un medio fuertemente ácido el cromo se presenta principalmente como el ion  $\text{HCrO}_4^-$ , mientras que a pH superiores a 2 forma el  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  y  $\text{CrO}_4^{2-}$  (Sugashini et al. 2015), esto muestra que es de vital importancia la existencia de cargas positivas en la superficie de carbón para que exista interacción electrostática entre los iones negativos del cromo y la superficie positiva. A pesar de que todas las formas del cromo se muestran como aniones, la forma  $\text{HCrO}_4^-$  presenta un tamaño menor al de la forma  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  y el calor de adsorción asociado a la primera forma aniónica es de alrededor de 0.6-2.5 kcal/mol con lo cual se explica que tenga mayor facilidad a ser adsorbido por el carbón que sus otras formas iónicas (Bahador et al. 2021). También es necesario mencionar que puede

existir una aparente adsorción por parte del carbón debido al método analítico utilizado, el cual podría presentar problemas de detección de cromo VI en los valores de pH trabajados, para despejar esta duda se puede recurrir a una determinación de cromo total en el sobrenadante mediante absorción atómica.

### 3.1.4.2 Efecto de la dosis de adsorbente en la capacidad de adsorción para cromo VI

La dosis de adsorbente es otro de los parámetros que influyen directamente en la capacidad de adsorción y su rendimiento.



**Gráfico 6-3:** Efecto de la dosis de adsorbente en la capacidad de adsorción de Cromo (VI).  
Realizado por: Laguna Gabriela, 2021.

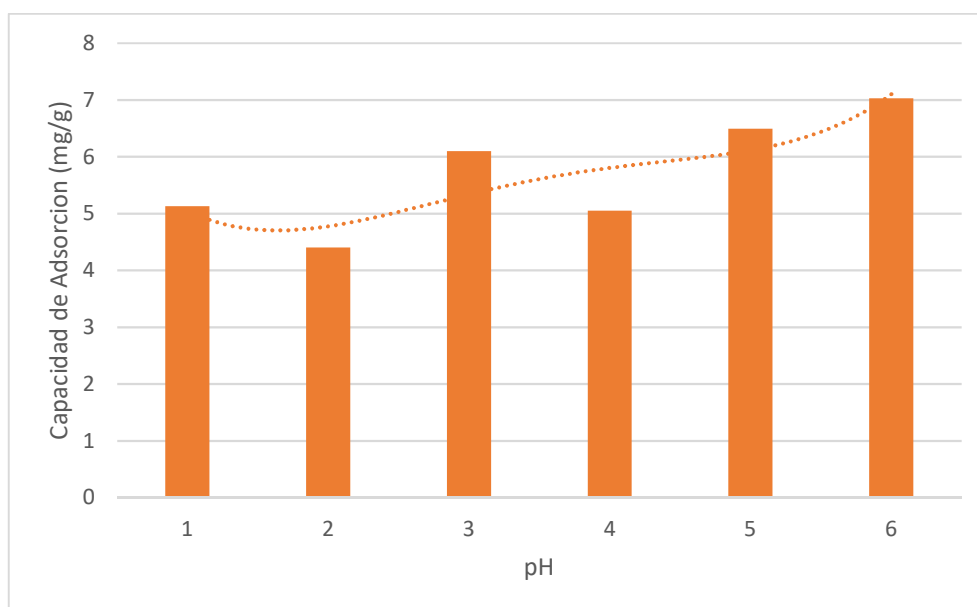
Los resultados para la variación de la capacidad de adsorción en función de la dosis de adsorbente se muestran en el gráfico 7-3. Tal como se observa al incrementar la dosis de adsorbente la capacidad de adsorción de este decrece, esto probablemente se deba a la menor disponibilidad de iones cromo iniciales que interactúen con los múltiples centros activos presentes en la mayor cantidad de carbón activado utilizado (Sugashini et al. 2015), también puede deberse a una aglomeración de las partículas de carbón activado a mayores dosis y por lo tanto los centros activos de este no pueden quedar expuestos a la solución. Esta tendencia a la disminución de la capacidad de adsorción al aumentar la dosis también fue observada por Tazrouiti y Amrani, (2009). Por otra parte Payel et al. (2021), en su estudio muestra que el incrementar la dosis de adsorbente incrementa el valor de la capacidad de adsorción, sin embargo este efecto se observa a dosis menores 0.8g/l donde se observa un cambio de tendencia en la relación capacidad de adsorción-dosis de adsorbente.

### 3.1.5 Evaluación de la capacidad de adsorción de plomo II

Luego de realizados los ensayos de adsorción usando el carbón activado obtenido a partir de semillas de datura, se evaluó la capacidad de adsorción. Se analizó la influencia que tienen los parámetros de operación que son: pH y cantidad de adsorbente. La curva de calibración para la determinación de plomo (II) se puede observar en el ANEXO J.

#### 3.1.5.1 Efecto del pH en la capacidad de adsorción de plomo II

El efecto del pH en la capacidad de adsorción para iones plomo (II) se puede visualizar en el gráfico 9-3.

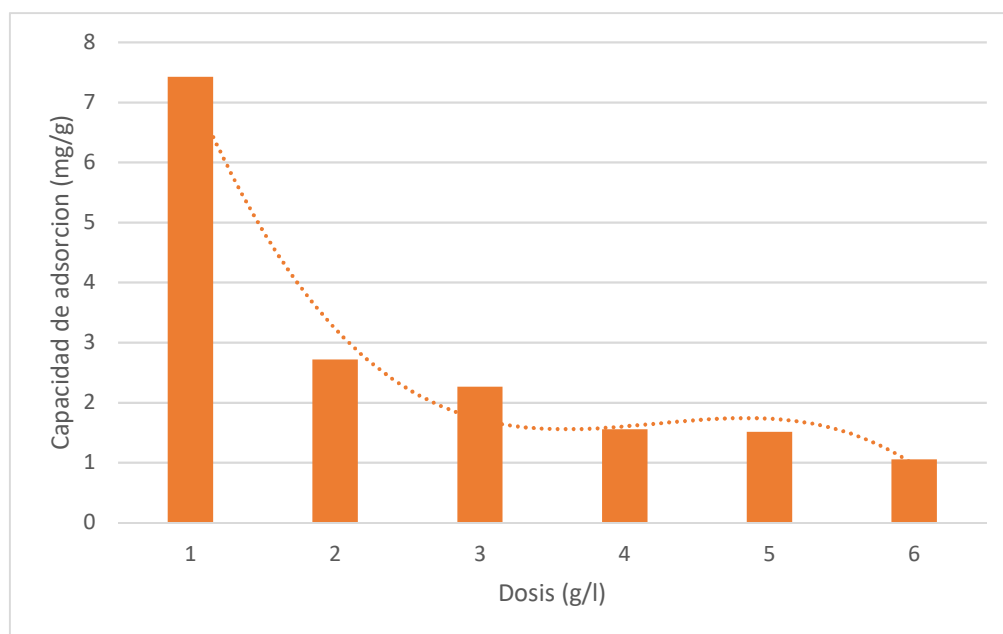


**Gráfico 7-3:** Efecto del pH en la capacidad de adsorción de Plomo (II).  
Realizado por: Laguna Gabriela, 2021.

Comparando tratamientos donde se varía el pH se observa la tendencia de que la capacidad de adsorción crece con el incremento del pH mostrando valores más altos a en entre el punto máximo e intermedio correspondiente a un rango de 4-5. Estas observaciones coinciden con lo expuesto por Lavado, Sun Kou y Bendezu, (2010), Bonilla Mansilla, Tejada Tovar y Del Pino Moreyra, (2019) y Marín y Vásquez, (2019) donde indican que el incremento del pH favorece a la adsorción de plomo debido a que este debilita a las fuerzas de repulsión permitiendo la adsorción sobre la superficie del sólido esta tendencia puede verse en el gráfico 9-3. Sin embargo, el pH de la adsorción únicamente puede incrementarse hasta un valor entre 5.5-6.5 según Nuñez, Colpas Castillo y Taron Dunoyer, (2015) , en este punto de pH el plomo empezaría a precipitar en forma de hidróxido por lo que existiría una

competencia entre la precipitación y adsorción. Por otra parte, el beneficio del incremento del pH podría deberse a que el plomo está presente como el catión  $Pb^{2+}$  y un descenso en el valor del pH provoca la existencia de iones  $H^+$  que pueden competir con el plomo para ser adsorbidos en la superficie del carbón. Esta ultimo también provoca que la superficie del carbón quede cargada positivamente lo que impide la interacción electrostática entre este y el catión plomo (Lodeiro et al. 2006).

### 3.1.5.2 Efecto de la dosis de adsorbente en la capacidad de adsorción de plomo (II)



**Gráfico 8-3:** Efecto de la dosis de adsorbente en la capacidad de adsorción de Plomo (II).  
Realizado por: Laguna Gabriela, 2021.

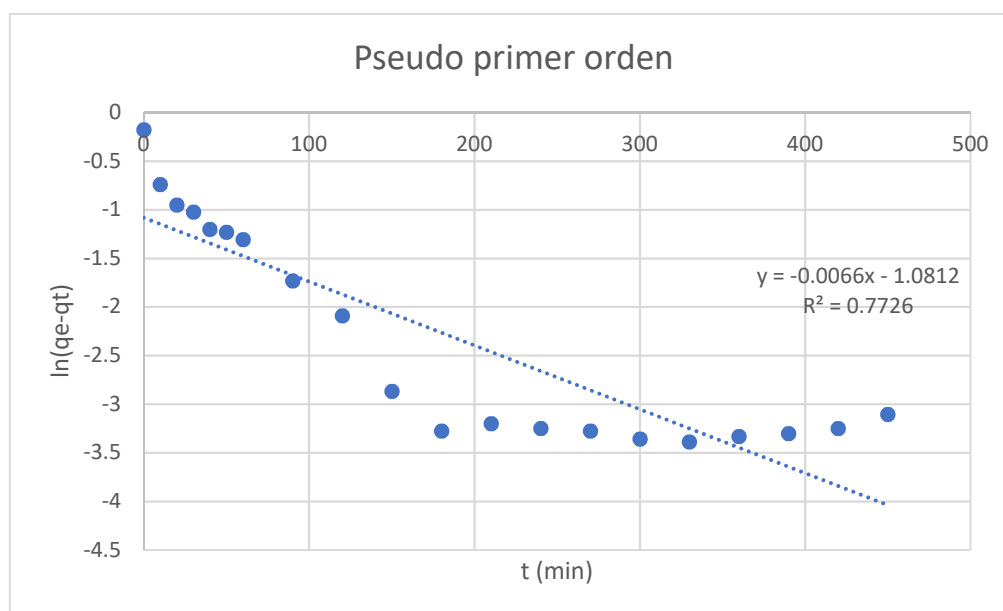
Como se puede observar en el gráfico 11-3 al incrementar la cantidad de material adsorbente la capacidad de adsorción decrece, esta tendencia también es mostrada por Grey y Garcia, (2011), según los autores esto ocurre debido a que al existir una mayor cantidad de adsorbente en el medio solo unos cuantos centros activos están disponibles para adsorber los iones de la solución. Mendoza, Molina y Fragozo, (2017) también reportan que al incrementar la cantidad de adsorbente también se muestra una disminución en la capacidad de adsorción, los autores lo atribuyen a una posible interacción electrostática entre las partículas del sólido, que al existir mayor cantidad de este tienden a aglomerarse entre sí disminuyendo la cantidad de sitios activos expuestos hacia la fase líquida. En contraste con estas observaciones Gerçel y Gerçel, (2007) indican que aumentar la cantidad de carbón activado se incrementa la capacidad de adsorción pero hasta cierta concentración de adsorbente. Gerçel y Gerçel, (2007) establecen que esta tendencia se mantiene hasta una concentración de 1 gramo

de carbón activado por cada litro de solución, a partir de esta dosis el contenido removido de plomo se mantiene constante y en consecuencia la capacidad de adsorción disminuye numéricamente, cabe mencionar que este límite depende de la naturaleza del carbón utilizado como lo señala Momčilović et al., (2011).

### 3.1.6 Cinética de adsorción

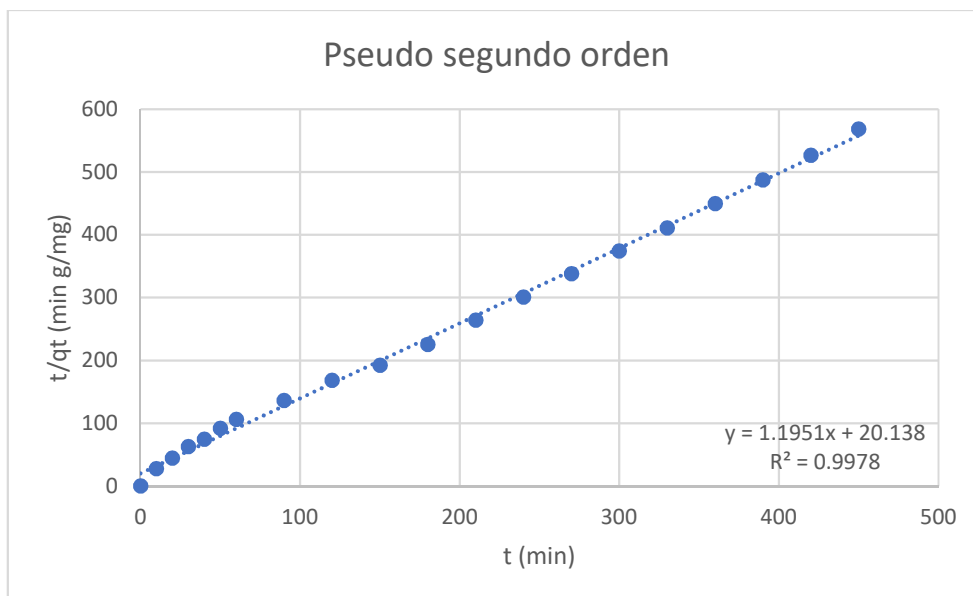
#### 3.1.6.1 Cinética de adsorción para cromo VI

Los datos de cinéticos mostrados en la tabla 4-3 se ajustan a los modelos lineales de la ecuación cinética de pseudo primer orden y pseudo segundo orden. Estos ajustes se muestran en los gráficos 13-3 y 14-3. En base al estadístico de coeficiente de correlación el modelo que describe la adsorción del  $Cr^{6+}$  es el de pseudo segundo orden, estableciendo que el proceso se da en dos centros activos y el fenómeno es una quimisorción (Ortiz 2019). Los parámetros relacionados con los modelos cinéticos se muestran en la tabla 6-3.



**Gráfico 9-3:** Ajuste al modelo cinético de pseudo primer orden para la adsorción de Cromo (VI).

Realizado por: Laguna Gabriela, 2021.



**Gráfico 10-3:** Ajuste al modelo cinético de pseudo segundo orden para la adsorción de Cromo (VI).

**Realizado por:** Laguna Gabriela, 2021.

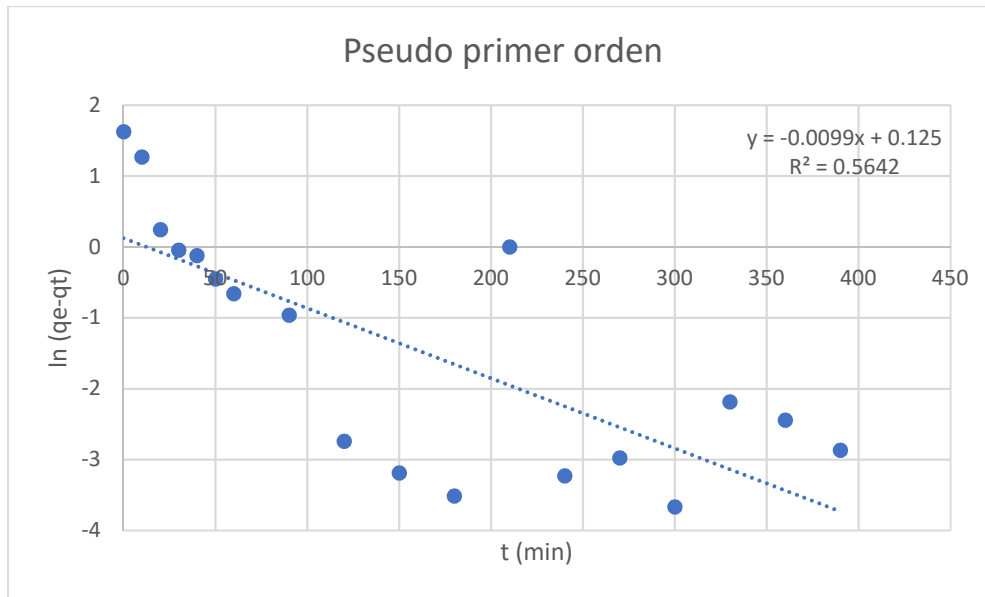
**Tabla 6-3:** Parámetros cinéticos de adsorción de pseudo primer y segundo orden para Cromo (VI)

Parámetro	Pseudo Primer orden	Pseudo segundo orden
R <sup>2</sup>	0.7726	0.9978
K	0.0061	0.0709
q <sub>e</sub>	0.339	0.8367

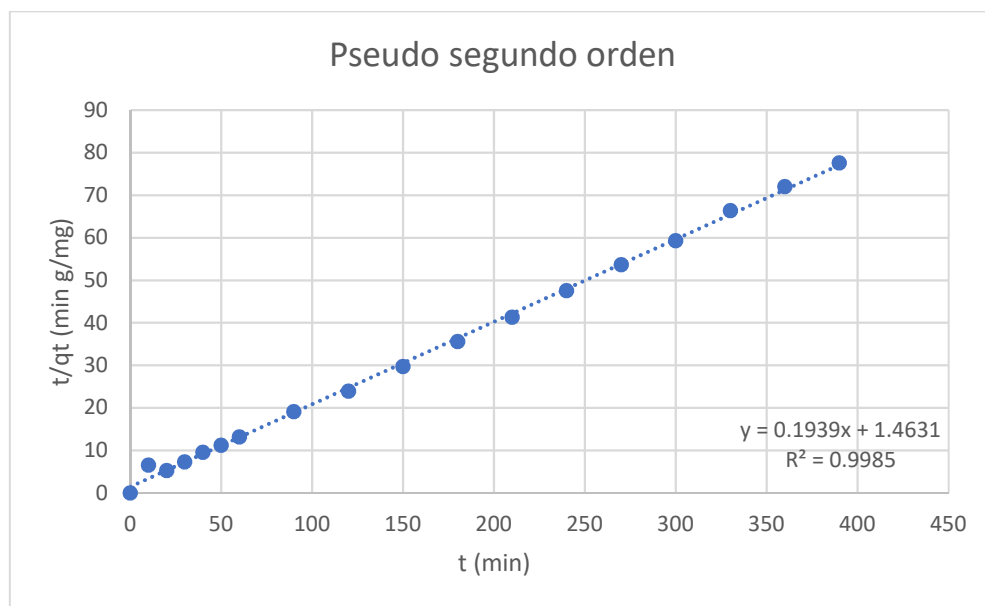
**Realizado por:** Laguna Gabriela, 2021.

### 3.1.6.2 Cinética de adsorción para plomo II

Los datos de cinéticos mostrados en la tabla 5-3 se ajustan a los modelos lineales de la ecuación cinética de pseudo primer orden y pseudo segundo orden. Estos ajustes se muestran en los gráficos 15-3 y 16-3. En base al estadístico de coeficiente de correlación el modelo que describe la adsorción del  $Pb^{2+}$  es el de pseudo segundo orden, estableciendo que el proceso se da en dos centros activos y el fenómeno es una quimisorción (Ortiz 2019). Los parámetros relacionados con los modelos cinéticos se muestran en la tabla 7-3.



**Gráfico 11-3:** Ajuste al modelo cinético de pseudo primer orden para la adsorción de Plomo (II).  
**Realizado por:** Laguna Gabriela, 2021.



**Gráfico 12-3:** Ajuste al modelo cinético de pseudo segundo orden para la adsorción de Plomo (II).  
**Realizado por:** Laguna Gabriela, 2021.



**Tabla 7-3:** Parámetros cinéticos de adsorción de pseudo primer y segundo orden para Plomo (II)

Parámetro	Pseudo Primer orden	Pseudo segundo orden
R <sup>2</sup>	0.564	0.9985
K	0.01	0.0323
q <sub>e</sub>	1.133	5.1573

Realizado por: Laguna Gabriela, 2021.

### 3.1.7 Isotermas de adsorción

#### 3.1.7.1 Isotermas de adsorción para cromo VI

Las concentraciones en equilibrio y capacidades de adsorción se determinaron luego de realizar el proceso de adsorción por lotes a diferentes concentraciones iniciales de la solución estándar de dicromato de potasio y variando las temperaturas en un rango de 293 K a 323 k. Estos datos se ajustan al modelo isotérmico de Langmuir y Freundlich, el resultado de esto se muestra en la tabla 8-3 junto con los valores obtenidos de capacidad de adsorción en el equilibrio.

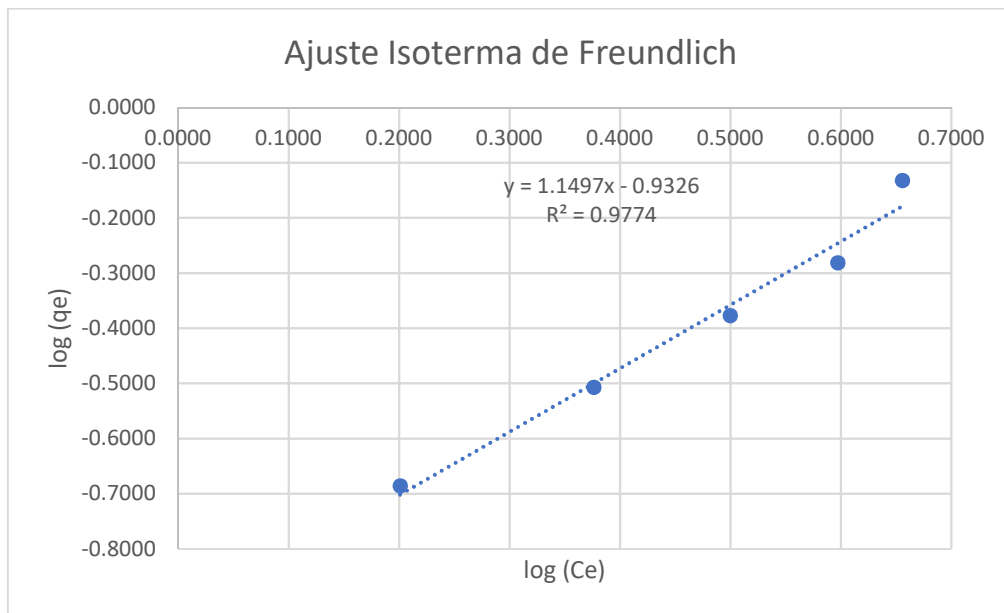
**Tabla 8-3:** Capacidades de adsorción de las isotermas de Langmuir y Freundlich para la adsorción de Cromo (VI) a diferentes temperaturas

Temperatura (k)	q <sub>e</sub> (mg/g)	Langmuir		Freundlich	
		1/Ce	1/q <sub>e</sub>	Log (Ce)	Log (q <sub>e</sub> )
298	0.2060	0.6297	4.8544	0.2009	-0.6861
	0.3110	0.4205	3.2154	0.3762	-0.5072
	0.4195	0.3164	2.3838	0.4998	-0.3773
	0.5230	0.2529	1.9120	0.5970	-0.2815
	0.7370	0.2209	1.3569	0.6557	-0.1325
313	0.405	0.8403	2.4691	0.0755	-0.3925
	0.5565	0.5299	1.7969	0.2758	-0.2545
	0.6285	0.3646	1.5911	0.4382	-0.2017
	0.7675	0.2886	1.3029	0.5397	-0.1149
	0.822	0.2296	1.2165	0.6391	-0.0851

323	0.4145	0.8540	2.4125	0.0686	-0.3825
	0.5020	0.5010	1.9920	0.3002	-0.2993
	0.5630	0.3479	1.7762	0.4585	-0.2495
	0.6055	0.2639	1.6515	0.5785	-0.2179
	0.5690	0.2057	1.7575	0.6868	-0.2449

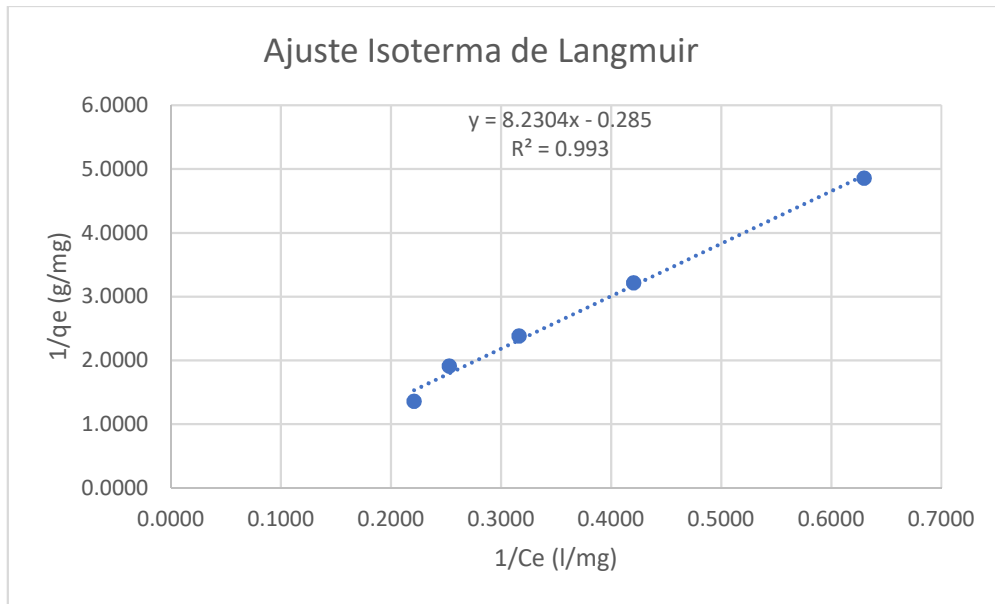
Realizado por: Laguna Gabriela, 2021

Estos valores producen las rectas mostradas en los gráficos 17-3, gráfico 18-3, gráfico 19-3, gráfico 20-3, gráfico 21-3 y gráfico 22-3. Donde se aprecia que los datos se ajustan mejor a la isoterma de Langmuir.

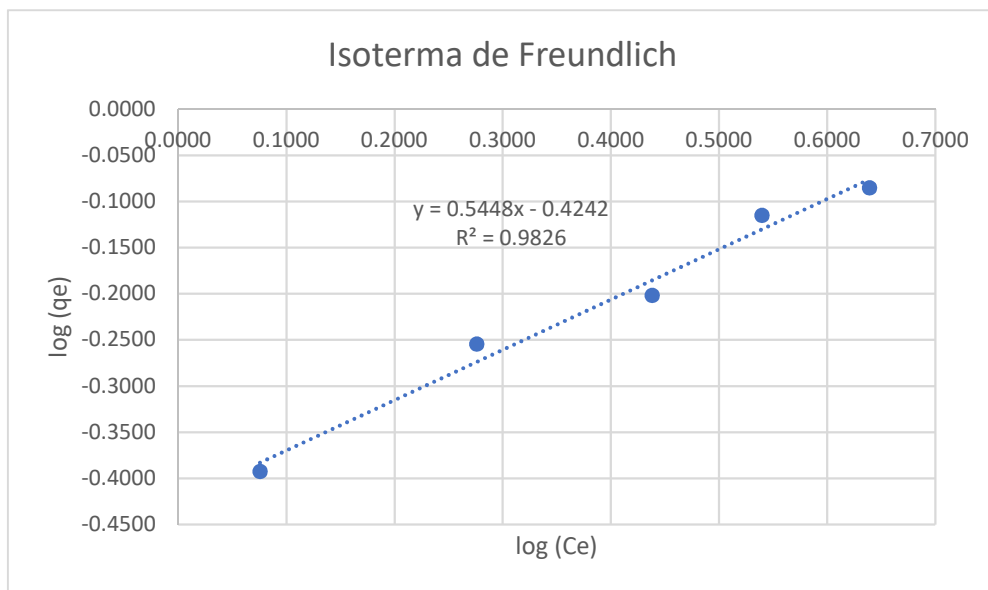


**Gráfico 13-3:** Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Freundlich para adsorción de Cromo (VI) a 298 K.

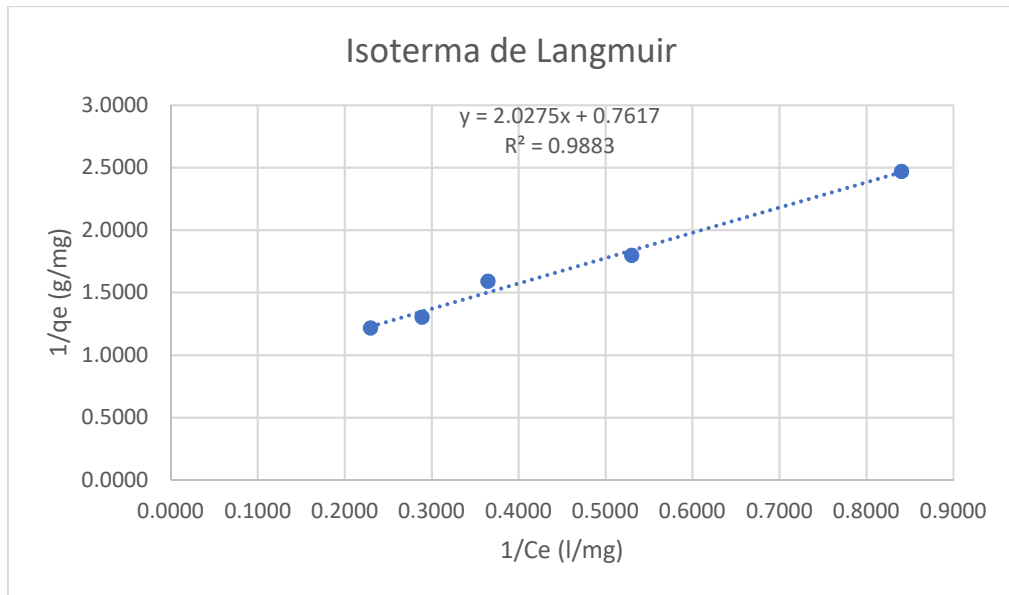
Realizado por: Laguna Gabriela, 2021.



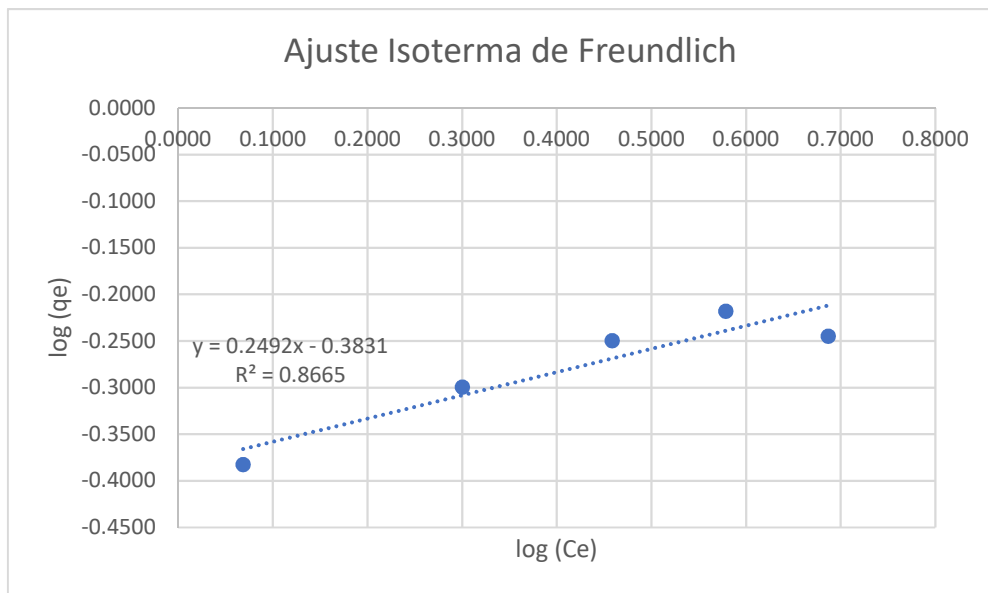
**Gráfico 14-3:** Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Langmuir para adsorción de Cromo (VI) a 298 K.  
**Realizado por:** Laguna Gabriela, 2021.



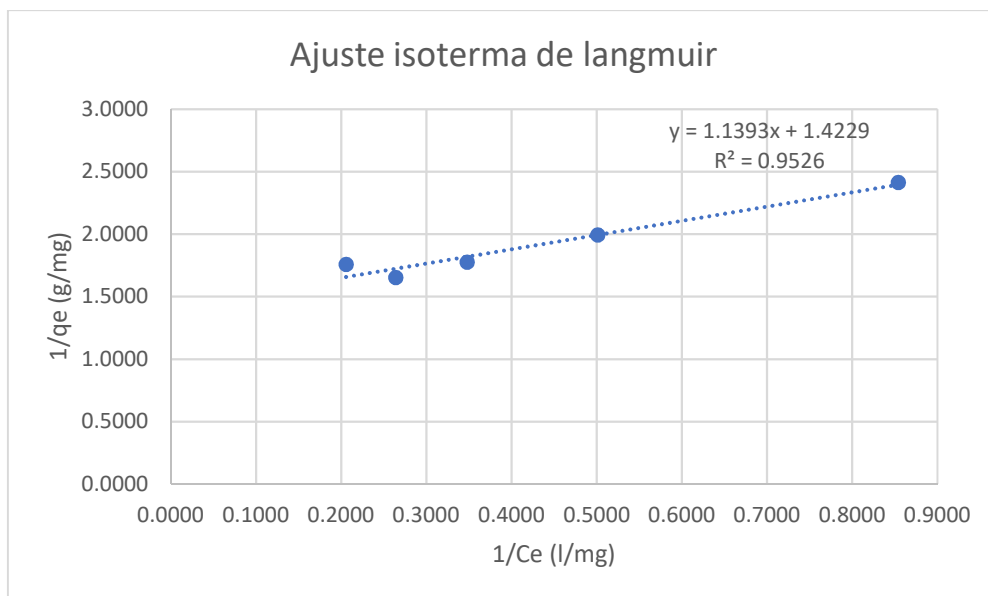
**Gráfico 15-3:** Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Freundlich para adsorción de Cromo (VI) a 313 K.  
**Realizado por:** Laguna Gabriela, 2021.



**Gráfico 16-3:** Ajuste al modelo matemático de la Isotherma de Langmuir para adsorción de Cromo (VI) a 313 K.  
Realizado por: Laguna Gabriela, 2021.



**Gráfico 17-3:** Ajuste al modelo matemático de la Isotherma de Freundlich para adsorción de Cromo (VI) a 323 K.  
Realizado por: Laguna Gabriela, 2021.



**Gráfico 18-3:** Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Langmuir para adsorción de Cromo (VI) a 323 K.

**Realizado por:** Laguna Gabriela, 2021.

Los parámetros de los modelos isotérmicos se muestran en la tabla 9-3, aquí se puede apreciar que en base al coeficiente de correlación ambos modelos describen el fenómeno en equilibrio sin embargo por una diferencia mínima el modelo de Langmuir es el más adecuado.

**Tabla 9-3:** Constantes de las Isotermas de Langmuir y Freundlich para la adsorción de cromo (VI) a diferentes temperaturas

Temperatura (k)	Langmuir		Freundlich	
	R <sup>2</sup>	Q	R <sup>2</sup>	k
298	0.9993	3.508	0.9774	0.1168
		0.0346		0.87
313	0.9883	1.3129	0.9826	0.3765
		0.3757		1.8356
323	0.9526	0.7028	0.8665	0.4139
		1.2489		4.0128

**Realizado por:** Laguna Gabriela, 2021.

### 3.1.7.2 Isotermas de adsorción para plomo II

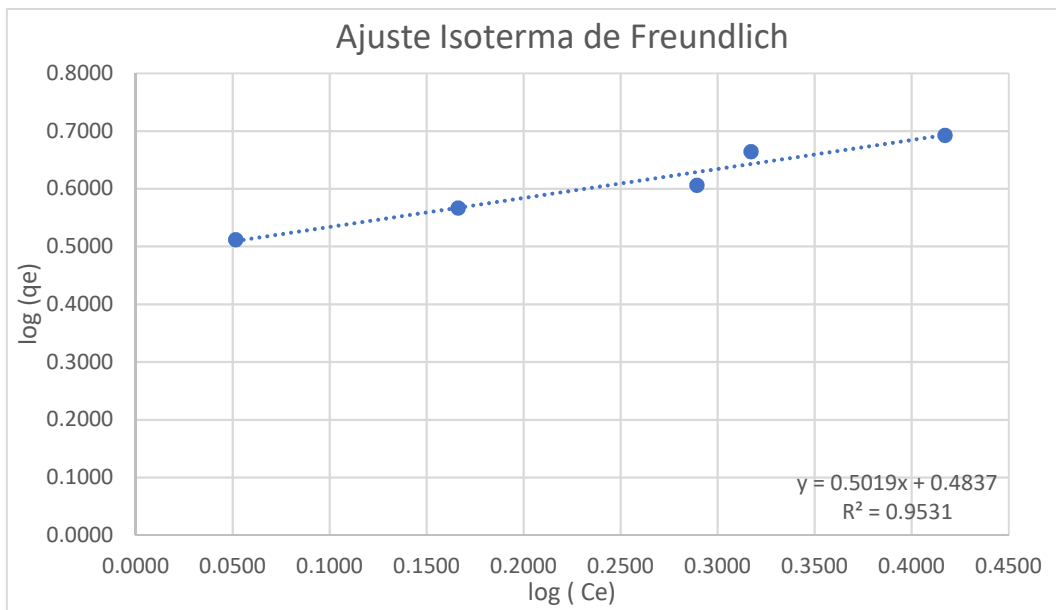
Luego de seguir la metodología establecida en la sección 2.7.2.10 se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 10-3 a diferentes temperaturas de operación, es necesario ajustar estos valores a las expresiones de las ecuaciones linealizadas de las isotermas de Langmuir y Freundlich.

**Tabla 10-3:** Capacidades de adsorción de las isotermas de Langmuir y Freundlich para la adsorción de Plomo (II) a diferentes temperaturas

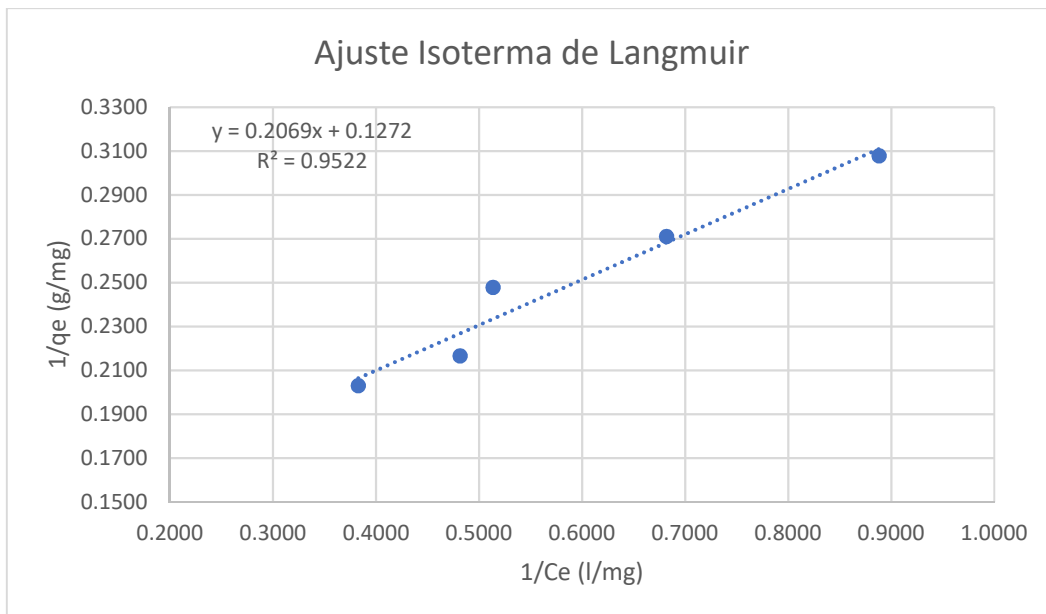
Temperatura (K)	qe(mg/g)	Langmuir		Freundlich	
		1/Ce	1/qe	Log (Ce)	Log (qe)
298	3.2494	0.8882	0.3077	0.0515	0.5118
	3.6894	0.6822	0.2710	0.1661	0.5670
	4.0355	0.5137	0.2478	0.2893	0.6059
	4.6165	0.4819	0.2166	0.3171	0.6643
	4.9251	0.3828	0.2030	0.4170	0.6924
313	3.1037	0.3453	0.3222	0.4618	0.4919
	3.4832	0.2844	0.2871	0.5461	0.5420
	3.7834	0.2372	0.2643	0.6250	0.5779
	4.2512	0.2106	0.2352	0.6766	0.6285
	4.6852	0.1882	0.2134	0.7255	0.6707
323	2.3989	0.2777	0.4169	0.5564	0.3800
	2.9165	0.2449	0.3429	0.6110	0.4649
	3.7502	0.2353	0.2667	0.6284	0.5741
	4.3177	0.2136	0.2316	0.6705	0.6353
	4.8894	0.1957	0.2045	0.7085	0.6893

Realizado por: Laguna Gabriela, 2021.

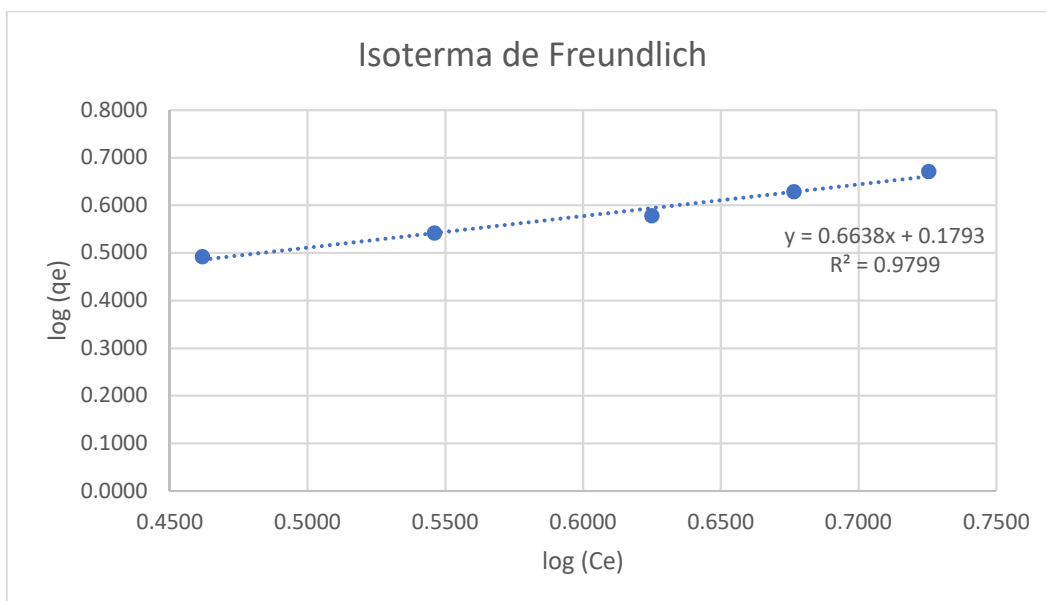
El ajuste de estos datos se muestra en los gráficos 23-3,24-3, 25-3, 26-3, 27-3 y 28-3 donde se puede observar que se produce un mejor ajuste al modelo de Freundlich por una diferencia mínima en base al valor de  $R^2$ . A partir de esta isoterma se determina que el valor de  $K= 3.0455$ , el cual es una medida de la capacidad de adsorción del carbón activado. Por otra parte, a partir de la pendiente se encuentra el valor aproximado de  $n =1.9924$ , que muestra la afinidad del adsorbato por el adsorbente. Este valor está en el rango de óptimo de 2-10 según Rivas et al., (2014). Los valores obtenidos para las isotermas se muestran en la tabla 11-3.



**Gráfico 19-3:** Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Freundlich para adsorción de Plomo (II) a 298 K.  
**Realizado por:** Laguna Gabriela, 2021.

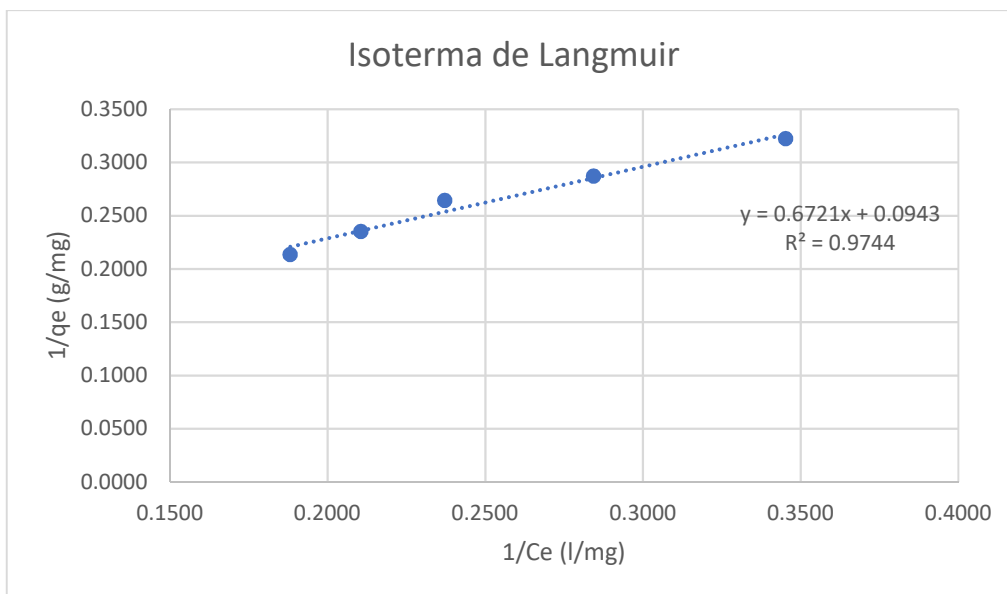


**Gráfico 20-3:** Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Langmuir para adsorción de Plomo (II) a 298 K.  
**Realizado por:** Laguna Gabriela, 2021.



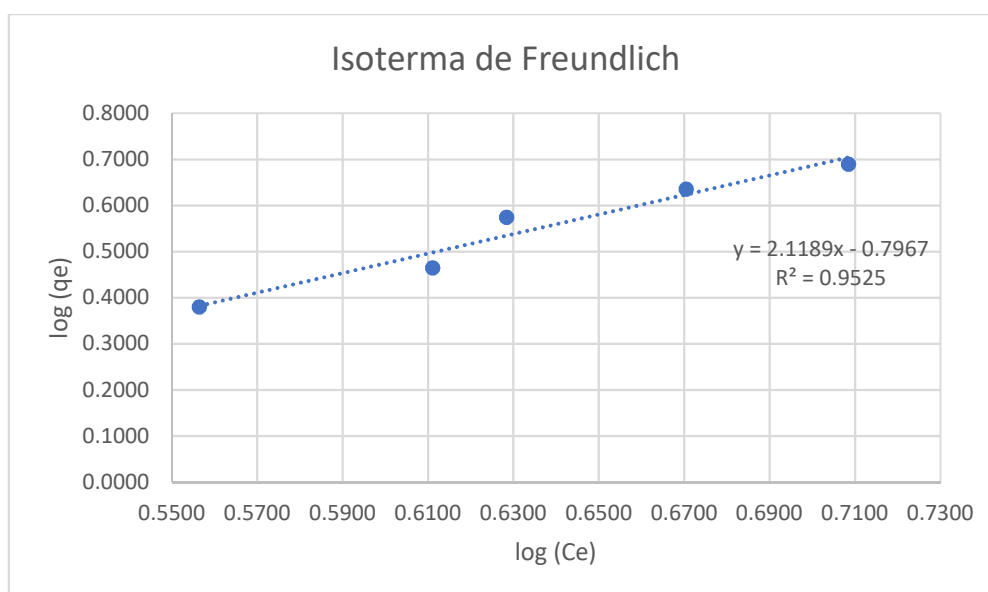
**Gráfico 21-3:** Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Freundlich para adsorción de Plomo (II) a 313 K.  
**Realizado por:** Laguna Gabriela, 2021.





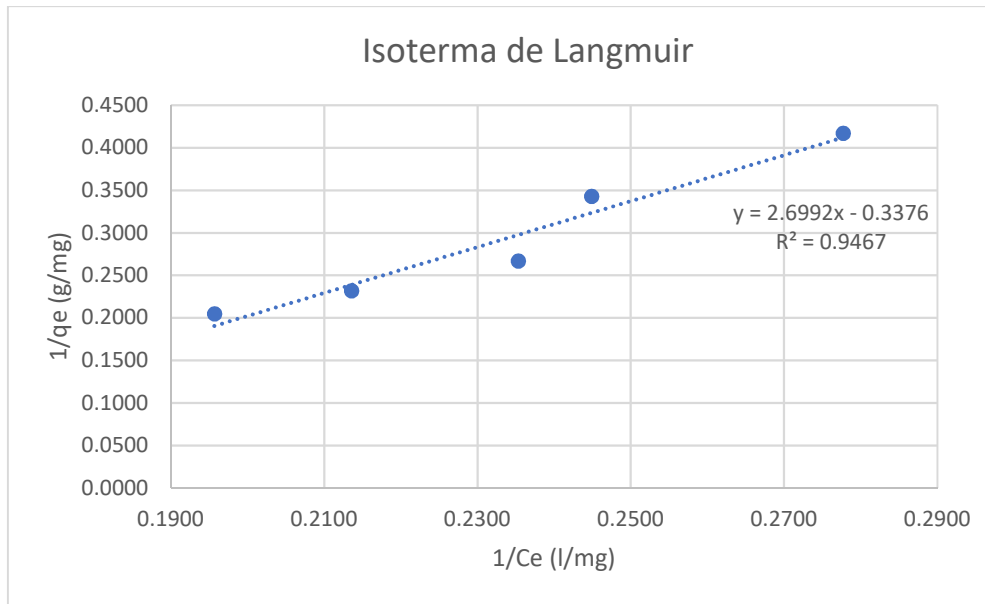
**Gráfico 22-3:** Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Langmuir para adsorción de Plomo (II) a 313 K.

**Realizado por:** Laguna Gabriela, 2021.



**Gráfico 23-3:** Ajuste al modelo matemático de la Isoterma de Freundlich para adsorción de Plomo (II) a 323 K.

**Realizado por:** Laguna Gabriela, 2021.



**Gráfico 24-3:** Ajuste al modelo matemático de la Isotherma de Langmuir para adsorción de Plomo (II) a 323K.  
Realizado por: Laguna Gabriela, 2021.

**Tabla 11-3:** Constantes de las Isothermas de Langmuir y Freundlich para la adsorción de Plomo (II) a distintas temperaturas.

Temperatura (K)	Langmuir		Freundlich	
	$R^2$		$R^2$	
298	$R^2$	0.9522	$R^2$	0.9531
	Q	7.8616	k	3.0455
	b	0.6148	n	1.9924
313	$R^2$	0.9744	$R^2$	0.9799
	Q	10.6044	k	1.5111
	b	0.1403	n	0.9799
323	$R^2$	0.9467	$R^2$	0.9525
	Q	2.9621	k	0.1597
	b	0.1251	n	0.4719

Realizado por: Laguna Gabriela, 2021.

### 3.1.7.3 Variación de las constantes de adsorción con la temperatura

Las constantes de adsorción para ambos metales se tomaron del modelo que más se ajusta a los datos de equilibrio para el proceso de adsorción de cada metal, siendo el modelo de Freundlich para el plomo y el modelo de Langmuir en el caso del cromo los que determinan el valor de la constante (k y b respectivamente). Los resultados se muestran en la tabla 12-3.

**Tabla 12-3:** Constantes de adsorción de equilibrio para Cromo (VI) y Plomo (II)

Temperatura (K)	Constante adsorción Cr <sup>+6</sup>	Constante adsorción Pb <sup>+2</sup>
298	0.0346	3.0458
313	0.3757	1.5111
323	1.2489	0.1597

Realizado por: Laguna Gabriela, 2021.

Las variaciones de la constante para el cromo (VI), incrementan con el aumento de la temperatura lo que sugiere que el proceso de adsorción es endotérmico y la cantidad de cromo removido incrementara cuando se aplica calor al sistema, una tendencia similar es descrita por parte de Enniya, Rghioui y Jourani, (2018) quien realizo la adsorción de cromo en carbón activado obtenido a partir de semillas de manzana.

En el caso del plomo (II) se observa como la constante decrece al aumentar la temperatura de operación por lo que el proceso es exotérmico y aplicarle calor al proceso ocasionara que exista una menor adsorción del plomo en el carbón activado, estas observaciones respecto al plomo son similares a las mostradas por Adebisi, Chowdhury y Alaba, (2017) .

### 3.1.8 Comparación del rendimiento de adsorción de cromo (VI) y plomo (II) por el carbón activado de semillas de datura

Se observa como para los mismos parámetros de operación el carbón activado muestra un rendimiento de remoción superior para la remoción del ion plomo (II). Para corroborar la tendencia en la tabla 13-3 se muestra los resultados para el proceso de adsorción de ambos metales a concentraciones iniciales iguales. La prueba se realizó por duplicado, obteniéndose valores de rendimiento similares en ambos casos. Se puede observar que tal como ocurre en los experimentos

individuales el carbón muestra una mayor capacidad de adsorción para el ion  $Pb^{2+}$  frente al  $Cr^{6+}$ . Observación coincide con las observaciones descritas por Adebisi, Chowdhury y Alaba, (2017)

**Tabla 13-3:** Comparación del rendimiento de remoción entre Cromo (VI) y Plomo (II)

Experimento	Cromo		Plomo	
	Cf (ppm)	Rendimiento de adsorción (%)	Cf (ppm)	Rendimiento de adsorción (%)
1	6,50	35,00	2,03	79,70
2	6,40	36,00	1,98	80,20
<b>Promedio</b>	6,45	35,50	2,00	79,95

Realizado por: Laguna Gabriela, 2021.

El porcentaje promedio observado para el plomo es cercano al 80%, el cual es el valor obtenido por Barreto, (2013) que utilizo carbón activado con ácido fosfórico obtenido a partir de la cascara de coco. El valor obtenido en esta investigación es superior al reportado por Sun-Kou, Obregón-Valencia, et al., (2014) que reporta un valor de rendimiento de adsorción del 74.8% para el carbón obtenido a partir de las semillas de aguaje y activado con ácido fosfórico. Por otra parte Lavado, Sun Kou y Bendezu, (2010), reportan que para el carbón activado obtenido a partir de las semillas de eucalipto y activado con ácido fosfórico es posible remover el 98.7% del plomo en la solución utilizando carbón activado proveniente de las semillas de eucalipto y activado con ácido fosfórico. El porcentaje obtenido en este trabajo se encuentra dentro del rango de remoción reportado en la literatura por lo que se considera que el desempeño de este para remover el plomo es aceptable.

El porcentaje de remoción de cromo es superior al 23.5% reportado por Sun-Kou, Obregón-Valencia, et al., (2014) que utilizo carbón activado obtenido a partir de semillas de aguaje activado con ácido fosfórico. Estos dos valores son inferiores al valor obtenido por Enniya, Rghioui y Jourani, (2018), que reporta un porcentaje de remoción 86.9% de remoción para el cromo hexavalente obtenido a partir de semillas de manzana. Meza Lavado, Sun Kou y Recuay, (2012) reportan una remoción del 84.3% de iones  $Cr^{6+}$  utilizando carbón activado a partir de astillas de eucalipto. Rai et al., (2016) reporta un porcentaje de remoción de 65% de iones cromo (VI) para el carbón activado obtenido a partir de la semilla de mango activado con  $H_3PO_4$ . De acuerdo con los valores de remoción expuestos por la literatura se

puede considerar que el carbón activado usado en esta investigación no posee un desempeño aceptable para la remoción del cromo.

### **3.1.9 Comprobación de hipótesis**

#### *3.1.9.1 Hipótesis General*

*Mediante diferentes ensayos de laboratorio se podrá evaluar el desempeño de carbón activado obtenido a partir de semillas de datura como material adsorbente de los metales cromo (VI) y plomo (II).*

Se acepta esta hipótesis ya que se realizaron diferentes experimentaciones como: determinación de tiempo de equilibrio cuyos resultados se encuentran en la sección 3.1.3, evaluación de los parámetros que influyen en la adsorción resultados que se encuentran en la sección 3.1.4 y 3.1.5, cinética e isothermas de adsorción en las secciones 3.1.6 y 3.1.7, las cuales permitieron evaluar el desempeño del carbón demostrando que es un buen material adsorbente.

#### *3.1.9.2 Hipótesis Específicas*

- *Hipótesis 1:*

*En el laboratorio se determinarán las características fisicoquímicas del carbón activado de semillas de datura después de haber sido obtenido.*

Se acepta esta hipótesis ya que luego de realizar los procedimientos descritos en la sección 2.7.2.2 en el laboratorio se obtuvo los resultados mostrados en la tabla 2-3 y figura 1-3 los cuales demuestran las características del carbón activado.

- *Hipótesis 2:*

*Distintos parámetros influyen en la capacidad de adsorción de carbón activado a los metales cromo (VI) y plomo (II).*

A parte del tiempo de equilibrio que se encontró para cada metal que se encuentra descrito en la sección 3.1.3, también se evaluó parámetros como pH y dosis de adsorbente, resultados que se encuentran en la sección 3.1.4 y 3.1.5, por lo cual se acepta esta hipótesis.

- *Hipótesis 3:*

*Mediante el cálculo del rendimiento que presenta cada metal se determinara cuál de ellos presenta mayor afinidad a ser adsorbido por el carbón activado.*

En la tabla 13-3 se muestra el rendimiento de remoción que se obtuvo al someter los metales cromo y plomo en conjunto y comprobar la afinidad del carbón activado por uno de ellos, por lo cual se acepta esta hipótesis ya que el mediante el porcentaje de remoción calculado se demostró que el carbón activado tiene más afinidad por el plomo (II).

## CONCLUSIONES

- El carbón activado obtenido a partir de semillas de datura demostró ser un material adsorbente apto para la retención de metales pesados como el cromo (VI) y el plomo (II) que al someter a la solución a un ajuste de valores adecuados en los parámetros que más influyen para que se obtenga mayor adsorción se obtienen mejores resultados, sin embargo, existen parámetros propios del carbón activado y de la naturaleza del precursor que también influyen en la capacidad de remoción y afinidad para uno u otro metal.
- Para la caracterización del carbón activado obtenido se obtuvo valores de humedad del 2,80 %; un porcentaje de cenizas del 15,34%; contenido de materia volátil del 17,15%; un valor de 64,71% para carbono fijo y densidad aparente del  $0,42 \text{ g/cm}^3$ ), valores que se encuentran dentro de normas de calidad para el carbón activado comercial. El espectro FTIR mostro la presencia de grupos funcionales como: OH, enlaces C-C por la presencia de anillos aromáticos, tensión entre enlaces C-O, a diferentes longitudes de onda se evidencian también presencia de alcoholes primarios y estiramientos P-O-H por la presencia del fosforo en el proceso de activación del carbón.
- Al analizar los parámetros que más afectan el proceso de adsorción establecidos para esta investigación se concluye que para la adsorción de iones  $Cr^{6+}$  se obtuvo una capacidad de adsorción de 1,8 mg/g a pH de 1, dosis de adsorbente de 1g/L en un tiempo de equilibrio de 3 horas; mientras que para el plomo se obtuvo una capacidad de remoción de 7,426 mg/g a pH de 6, dosis de adsorbente 1g/L en un tiempo de equilibrio de 2 horas. Mediante la variación de los parámetros descritos se puede inferir que para la adsorción de iones cromo mediante carbón activado de semillas de datura el pH y la dosis de adsorbente influyen de manera muy significativa, mientras que para la adsorción de iones plomo el parámetro que ejerce mayor capacidad de remoción es la dosis de adsorbente; destacando que las condiciones ideales descritas se lleven el tiempo de equilibrio encontrado para cada uno de los metales.
- Ambos metales fueron evaluados bajo las mismas condiciones, experimentando en una solución en donde los iones cromo y plomo estuvieron en contacto, para de esta manera observar la afinidad que del carbón presenta a cada uno de ellos, se obtuvo que el porcentaje de rendimiento de remoción para  $Cr^{6+}$  fue de 35,50% mientras que el  $Pb^{2+}$  obtuvo un valor de 79,95%, concluyéndose de esta manera que el carbón activado obtenido a partir de semillas de datura

tiene una mayor capacidad de adsorción de plomo mientras que para el cromo hexavalente es menos eficiente.



## RECOMENDACIONES

- Se han reportado en otros estudios que al usar otro agente químico como activante del carbón se obtiene mayores valores de capacidad de absorción para el cromo (VI), por lo cual se recomienda activar el carbón de semillas de datura con un agente químico como NaOH o  $Cl_2$  con el fin de obtener mejores resultados.
- Realizar una verificación de los resultados obtenidos para el estudio de la capacidad de adsorción frente pH en la adsorción del cromo hexavalente empleando técnicas de determinación de cromo total.
- Se recomienda la aplicación del carbón activado de semillas de datura para estudios posteriores en los cuales se trabajen con diferentes metales, con el fin de seguir verificando la afinidad del material a diversos metales.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABOLUWODI, A.S. et al., 2017. Chemical constituents and anti-inflammatory activity of essential oils of *Datura stramonium* L. *Journal of Medicinal Plants Studies*,
- ADEBISI, G.A. et al., 2017. Equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies of lead ion and zinc ion adsorption from aqueous solution onto activated carbon prepared from palm oil mill effluent. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 148, pp. 958-968. [Consulta: 18 marzo 2021]. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.02.047. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652617302512>.
- AGUIRRE, N., 2017. *Adsorción de metales pesados (Pb y As) con carbón activado a partir de semillas de eucalipto (Eucalyptus globulus)*. S.l.: Universidad Nacional del Altiplano.
- AL-OTHMAN, Z.A. et al., 2012. Hexavalent chromium removal from aqueous medium by activated carbon prepared from peanut shell: Adsorption kinetics, equilibrium and thermodynamic studies. *Chemical Engineering Journal*, vol. 184, pp. 238-247. ISSN 13858947. DOI 10.1016/j.cej.2012.01.048.
- ALFARRA, A. et al., 2004. The HSAB concept as a means to interpret the adsorption of metal ions onto activated carbons. *Applied Surface Science*, vol. 228, no. 1-4, pp. 84-92. ISSN 01694332. DOI 10.1016/j.apsusc.2003.12.033.
- ARROYO, L. et al., 2018. *Determinación de la cinética de adsorción de cloruros de vertimientos del sector agrícola cultivos energéticos, sobre carbón activado comercial*. S.l.: Universidad de América.
- ASTM, 2011. Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. ASTM D 1762-84. *ASTM International*. S.l.:
- BAE, W. et al., 2014. Production of granular activated carbon from food-processing wastes (walnut shells and jujube seeds) and its adsorptive properties. *Journal of the Air and Waste Management Association*, vol. 64, no. 8, pp. 879-886. ISSN 21622906. DOI 10.1080/10962247.2014.897272.
- BAHADOR, F. et al., 2021. Enhancement of the chromium removal behavior of Moringa oleifera activated carbon by chitosan and iron oxide nanoparticles from water. *Carbohydrate Polymers* [en línea], vol. 251, pp. 117093. [Consulta: 16 marzo 2021]. ISSN 01448617. DOI 10.1016/j.carbpol.2020.117085. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861720312583>.
- BARRETO, C., 2013. *Obtención de carbón activado a partir de la pepa de la aceituna para adsorción de metales pesados (Pb, As) en efluentes líquidos*. Callao: Universidad nacional del Callao.
- BERMÚDEZ, M.M. et al., 1994. *Datura*, un género tóxico: clasificación taxonómica caracteres y descripción botánica de especies venezolanas. *Medula*, no. August, pp. 13-7.
- BONILLA MANSILLA, H.D. et al., 2019. Obtención De Isotermas De Adsorción Del Plomo (Ii) Del Efluente Minero Río Anticono-Cerro De Pasco Utilizando El Carbón Activado De Cáscara De Naranja. *Ciencia & Desarrollo*, vol. 16, no. 21, pp. 29-36. ISSN 2304-8891. DOI 10.33326/26176033.2017.21.727.
- CARRASCO, B.S. et al., 2018. *Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco "Cocos Nucifera L"*. S.l.: Universidad de Cuenca.
- CARRILLO, V. et al., 2013. *Elaboración de un filtro a base de carbon activado obtenido del endocarpo de coco con el proposito de reducir la dureza en el agua potable*. S.l.: s.n.

- CARTAYA, O. et al., 2008. Cinética de adsorción de iones cobre (II) por una mezcla de oligolacturónidos. *Revista Iberoamericana de Polímero*, vol. 9, no. 5, pp. 473-479.
- CASTAÑÓN LÓPEZ, L. et al., 2000. Intoxicación por *Datura stramonium*. *Anales Espanoles de Pediatría*, ISSN 03024342. DOI 10.1016/s1695-4033(00)77414-5.
- CÉSPEDES, N. et al., 2007. Remoción de cromo vi de soluciones acuosas por adsorción sobre carbones activados modificados. *Revista Colombiana de Química*, vol. 36, no. 3, pp. 305-322. ISSN 2357-3791.
- CORREA, M. et al., 2009. Optimización de la producción de carbón activado de cáscara de coco mediante steam explosión. *Revista Investigaciones Aplicadas*, vol. 3, no. 2, pp. 30-37. ISSN 2011-0413.
- D'AMBROSIO, U. et al., 2018. *Datura Stramonium*. *Annalen der Pharmacie*, vol. 5, no. 3, pp. 355-355. ISSN 10990690. DOI 10.1002/jlac.18330050341.
- DADA, A. et al., 2012. Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin–Radushkevich Isotherms Studies of Equilibrium Sorption of Zn 2+ Unto Phosphoric Acid Modified Rice Husk. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, vol. 3, no. 1, pp. 38-45. DOI 10.9790/5736-0313845.
- DELGADILLO, A., 2011. *PREPARACIÓN - CARACTERIZACIÓN DE CARBONES ACTIVADOS A PARTIR DE PEPAS DE NÍSPERO DE PALO (Mespilus communi) Y SU APLICACIÓN COMO MATERIAL ADSORBENTE DE FENOL*. S.l.: s.n.
- DHIR, B. et al., 2010. Adsorption of Heavy Metals by *Salvinia* Biomass and Agricultural Residues. *Int. J. Environ. Res.*, vol. 4, no. 3, pp. 427-432.
- DISEL, N.R. et al., 2015. Poisoned after dinner: Dolma with *datura stramonium*. *Turkish Journal of Emergency Medicine*, ISSN 24522473. DOI 10.5505/1304.7361.2015.70894.
- DWIVEDI, C.P. et al., 2008. Column performance of granular activated carbon packed bed for Pb(II) removal. *Journal of Hazardous Materials*, ISSN 03043894. DOI 10.1016/j.jhazmat.2007.12.097.
- EMSLEY, J., 2003. *Nature's building blocks Ana-z guide to elements*. New York: Oxford University.
- ENNIYA, I. et al., 2018. Adsorption of hexavalent chromium in aqueous solution on activated carbon prepared from apple peels. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* [en línea], vol. 7, pp. 9-16. [Consulta: 16 marzo 2021]. ISSN 23525541. DOI 10.1016/j.scp.2017.11.003. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352554117300724>.
- ESTUPIÑAN, H. et al., 2006. Obtención de un material carbonáceo activado de antracita para posibles aplicaciones en hidrometalurgia. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, vol. 37, pp. 31-40. ISSN 0120-6230.
- FERNÁNDEZ PINO, F., 2011. *Análisis de los sistemas de refrigeración solar por adsorción*. S.l.: Universidad de Sevilla.
- FREUNDLICH, H.M.F., 1906. Over the adsorption in solution. *J. Phys. Chem*,
- GAIRE, B.P. et al., 2013. A review on the pharmacological and toxicological aspects of *Datura stramonium* L. *Journal of Chinese Integrative Medicine*, vol. 11, no. 2, pp. 73-79. ISSN 16721977. DOI 10.3736/jintegrmed2013016.
- GARCÉS, L. et al., 2012. Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) modificada con quitosano para la remoción de Cr (VI) en aguas residuales. *Universidad de Cartagena*, no. Vi, pp. 1-25.

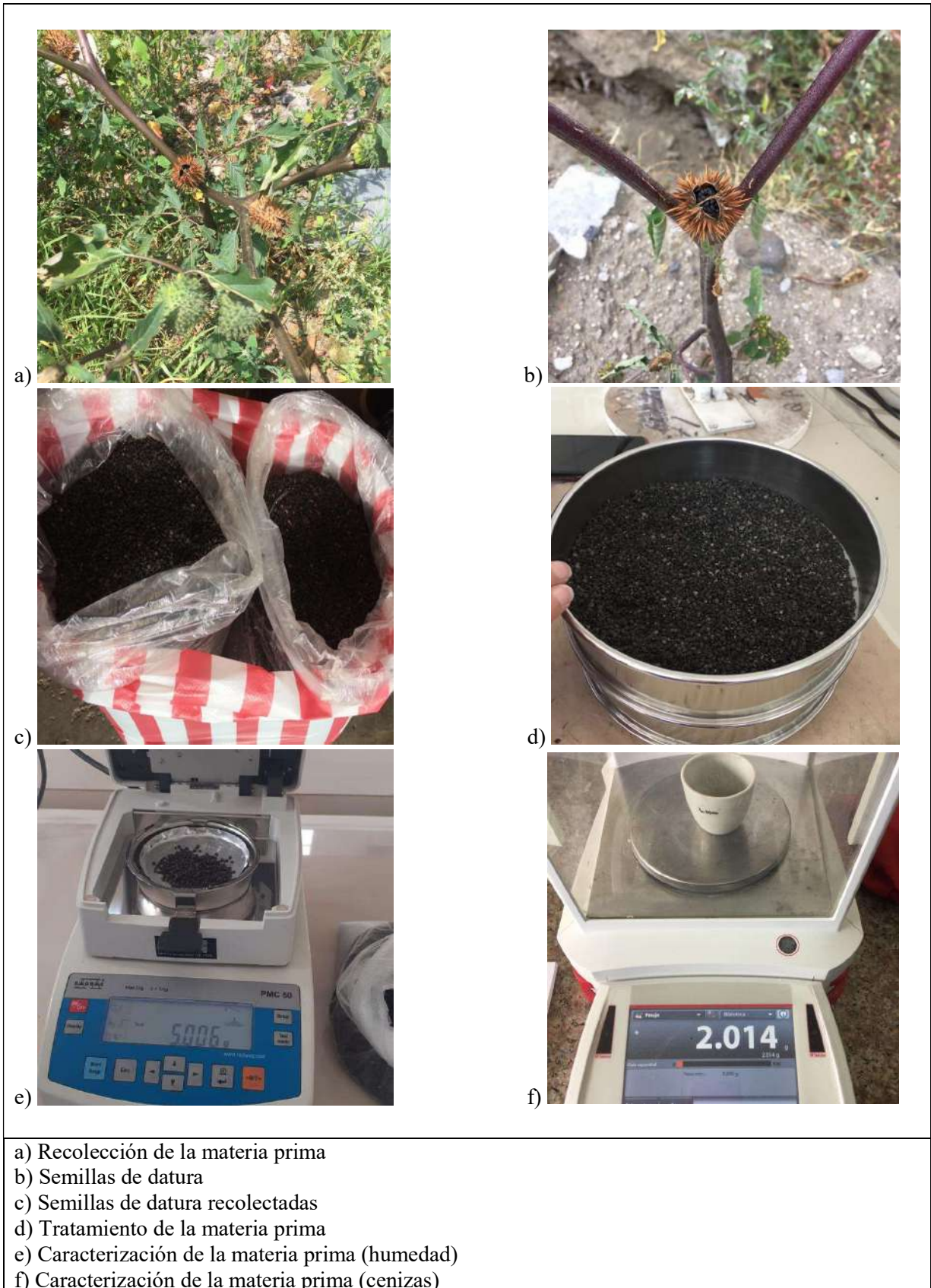
- GARCÍA, M., 2008. *Biosorción de cadmio con raspo de uva. Aproximación a la monitorización del proceso mediante sensores químicos*. S.l.: s.n. ISBN 9788583240570.
- GARZÓN, J. et al., 2012. *Adsorción de cromo (VI) utilizando carbón activado a partir de cáscara de naranja*. S.l.: Universidad de Cartagena.
- GERÇEL, Ö. et al., 2007. Adsorption of lead(II) ions from aqueous solutions by activated carbon prepared from biomass plant material of *Euphorbia rigida*. *Chemical Engineering Journal*, vol. 132, no. 1-3, pp. 289-297. ISSN 13858947. DOI 10.1016/j.cej.2007.01.010.
- GREY, C.O. et al., 2011. Remoción de Pb 2 + en disolución acuosa sobre carbón activado en polvo : Estudio por lote. *Perspectiva*, vol. 9, no. 1, pp. 59-68.
- INEN, 2014. Agua Potable. Requisitos. Nte Inen 1108. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. S.l.:
- IUPAC, 2014. *Compendium of Chemical Terminology Gold Book*. S.l.: s.n. ISBN 9783527320400.
- KUYUCAK, N. et al., 1989. Accumulation of cobalt by marine alga. *Biotechnology and Bioengineering*, ISSN 10970290. DOI 10.1002/bit.260330703.
- LANGMUIR, I., 1916. The Constitution and Fundamental Properties of Solids and Liquids. *Journal of the American Chemical Society*, vol. 38, pp. 102-105. DOI 10.1017/9781108592123.009.
- LAVADO, C., SUN, M. del R., et al., 2010. Adsorción De Plomo De Efluentes Industriales Usando Carbones Activados Con H3 Po4. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 76, no. 2, pp. 165-178. ISSN 1810-634X.
- LAVADO, C., SUN KOU, M. del R., et al., 2010. Adsorción de plomo de efluentes industriales usando carbones activados con H3PO4. *Scielo Peru* [en línea], vol. 76, no. 2, pp. 165-177. [Consulta: 1 marzo 2021]. ISSN 1810-634X. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2010000200007](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2010000200007).
- LAVADO, C. et al., 2012. REMOCIÓN DE CROMO (VI) EMPLEANDO CARBONES PREPARADOS POR ACTIVACIÓN QUÍMICA A PARTIR DE LAS ASTILLAS DE EUCALIPTO. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 78, no. Vi, pp. 14-26.
- LODEIRO, P. et al., 2006. The marine macroalga *Cystoseira baccata* as biosorbent for cadmium(II) and lead(II) removal: Kinetic and equilibrium studies. *Environmental Pollution* [en línea], vol. 142, no. 2, pp. 264-273. [Consulta: 18 marzo 2021]. ISSN 02697491. DOI 10.1016/j.envpol.2005.10.001. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0269749105005075>.
- MARÍN, N. et al., 2019. *Evaluación de la capacidad de remoción de plomo y cadmio en soluciones acuosas utilizando resinas de carbón mineral* [en línea]. S.l.: Universidad de la Costa CUC. Disponible en: <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/5558>.
- MARTÍNEZ, J., 2017. *Genotoxicidad in vitro de hojas de Datura stramonium L. "chamico"*. S.l.: s.n.
- MENDOZA, L.V. et al., 2017. Adsorption of lead ( II) with stems and leaves of *eichhornia crassipes* in aqueous solution. *Udca* [en línea], vol. 20, no. Ii, pp. 435-444. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v20n2/v20n2a21.pdf>.
- MEYER, P.A. et al., 2008. Global approach to reducing lead exposure and poisoning. *Mutation Research - Reviews in Mutation Research*, vol. 659, no. 1-2, pp. 166-175. ISSN 13835742. DOI 10.1016/j.mrrev.2008.03.003.
- MOHANTY, K. et al., 2005. Removal of chromium (VI) from dilute aqueous solutions by

- activated carbon developed from Terminalia arjuna nuts activated with zinc chloride. *Chemical Engineering Science*, vol. 60, no. 11, pp. 3049-3059. ISSN 00092509. DOI 10.1016/j.ces.2004.12.049.
- MOLINA, N. et al., 2010. Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, vol. 8, no. 1, pp. 77-88. ISSN 2389-8801. DOI 10.19052/sv.831.
- MOMČILOVIĆ, M. et al., 2011. Removal of lead(II) ions from aqueous solutions by adsorption onto pine cone activated carbon. *Desalination*, vol. 276, no. 1-3, pp. 53-59. ISSN 00119164. DOI 10.1016/j.desal.2011.03.013.
- MORENO, J.C. et al., 2011. Adsorción de fenol en soluciones acuosas empleando monolitos de carbón activado de cáscara de coco: Isotermas y cinéticas de adsorción. *Afinidad*, vol. 68, no. 554, pp. 290-295. ISSN 00019704.
- NIÑO, I.V. et al., 2008. *Evaluación de dos clases de carbón activado granular para su aplicación efectiva en la remoción de fenoles en los vertimientos de una empresa de jabones*. S.l.: Universidad de la Salle.
- NTE INEN, 1995. Productos químicos industriales. Carbón activado para uso industrial. Requisitos. . S.l.:
- NUÑEZ, J. et al., 2015. Aprovechamiento de residuos maderosos para la obtención de resinas de intercambio iónico. *Temas agrarios*, vol. 22, no. 1, pp. 54-61.
- OBREGÓN, D., 2012. *Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de cadmio utilizando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje y de aceituna*. S.l.: s.n.
- ORTIZ, M.B., 2019. *Evaluación de la capacidad de residuos florícolas (tallos de rosa) como bioadsorbente del cromo presente en los efluentes de la industria de curtiembre*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- PANDURO, C., 2012. Estudio de la transformación química de la madera de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales. . S.l.:
- PAYEL, S. et al., 2021. Recycling biochar derived from tannery liming sludge for chromium adsorption in static and dynamic conditions. *Environmental Technology & Innovation* [en línea], vol. 24, pp. 102010. ISSN 23521864. DOI 10.1016/j.eti.2021.102010. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102010>.
- PEÑA, K.J. et al., 2013. Preparación de carbón activado a partir de cascara de naranja por activación química. Caracterización física y química. *Revista colombiana de química*, vol. 41, pp. 311-323.
- POMA, P., 2008. Intoxicación por plomo en humanos. *Anales de la Facultad de Medicina*, vol. 69, no. 2. ISSN 1609-9419.
- RAI, M.K. et al., 2016. Removal of hexavalent chromium Cr (VI) using activated carbon prepared from mango kernel activated with H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. *Resource-Efficient Technologies*, vol. 2, pp. S63-S70. ISSN 24056537. DOI 10.1016/j.reffit.2016.11.011.
- RAMÍREZ, C., 2009. *El Carbón activado para el tratamiento del agua*. S.l.: Universidad de Sonora.
- REYES, Y. et al., 2016. CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, vol. 16, no. 2, pp. 66-77. ISSN 00195456. DOI 10.1007/BF02796157.

- RIVAS, C. et al., 2014. Isotherma De Langmuir Y Freundlich Como Modelos Para La Adsorción De Componentes De Ácido Nucleico Sobre Wo 3. *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, vol. 26, no. 1, pp. 43-49. ISSN 1315-0162.
- ROJAS, N. et al., 2012. Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas residuales. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, vol. 14, no. 1, pp. 109-129. ISSN 1405-8626.
- SEVILLA, U. de, 2011. Manual Del Carbón Activo. *Aula.Aguapedia.Org*, pp. 1-89.
- SUGASHINI, S. et al., 2015. Preparation of activated carbon from carbonized rice husk by ozone activation for Cr(VI) removal. *Xinxing Tan Cailiao/New Carbon Materials* [en línea], vol. 30, no. 3, pp. 252-261. [Consulta: 16 marzo 2021]. ISSN 10078827. DOI 10.1016/S1872-5805(15)60190-1. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1872580515601901>.
- SUN-KOU, M. del R., OBREGÓN, D., et al., 2014. Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de Aguaje. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 80, no. 51, pp. 225-236.
- SUN-KOU, M. del R., OBREGÓN-VALENCIA, D., et al., 2014. Adsorción De Metales Pesados Empleando Carbones Activados Preparados a Partir De Semillas De Aguaje. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 80, no. 4, pp. 225-236. ISSN 1810-634X. DOI 10.37761/rsqp.v80i4.159.
- TAZROUTI, N. et al., 2009. CHROMIUM (VI) ADSORPTION ONTO ACTIVATED KRAFT LIGNIN PRODUCED FROM ALFA GRASS (STIPA TENACISSIMA). *Bioresources*, vol. 4, pp. 740-755.
- TEJADA, C. et al., 2015. Cinética de adsorción de Cr (VI) usando biomásas residuales modificadas químicamente en sistemas por lotes y continuo. *Revista ION*, vol. 28, no. 1, pp. 29-41. ISSN 0120-100X.
- TIEGAM, R.F.T. et al., 2021. Production of activated carbon from cocoa pods: Investigating benefits and environmental impacts through analytical chemistry techniques and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.125464.
- URIBE, L. et al., 2013. Activación de carbón mineral mediante proceso físico en horno tubular horizontal y atmosfera inerte. *Revista Colombiana de Materiales*, vol. 4, pp. 25-40.
- VIADES TREJO, M.J., 2013. Fenomenos de superficie: Adsorción y Absorción. *Fisicoquímica de los Alimentos*. S.l.: s.n., pp. 1-17.
- VOLESKY, B. et al., 1995. *Biosorption of Heavy Metals*. 1995. S.l.: s.n.
- ZEEVALLOS, C., 2018. "OBTENCION DE CARBON ACTIVADO A PARTIR DE RESIDUOS ORGANICOS DE *Gypsophila elegans* (ILUSION) DEL DISTRITO DE CAYMA Y SU EVALUACION COMO ADSORBENTE DE PLOMO (II) EN SOLUCION ACUOSA". S.l.: s.n.

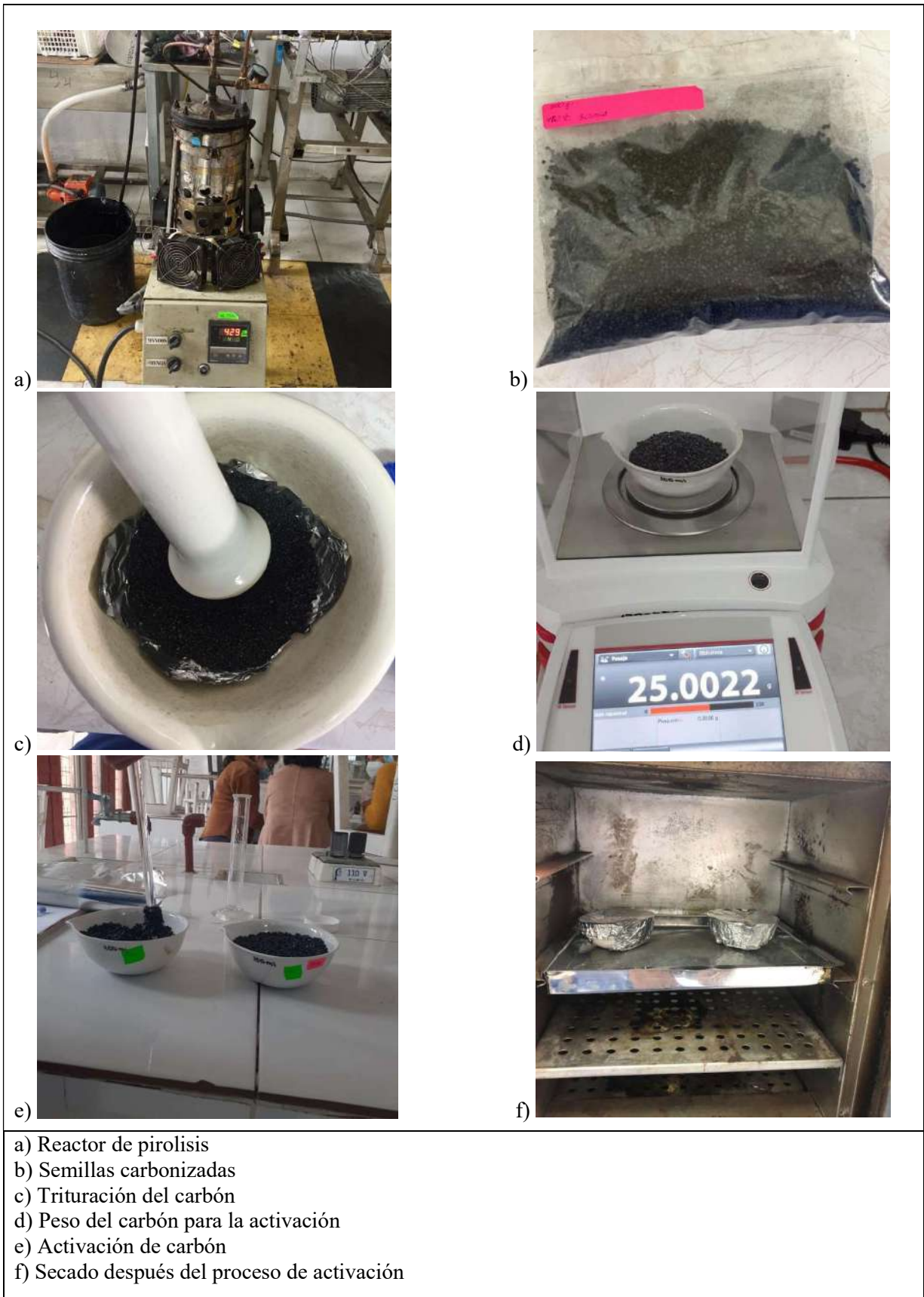
## ANEXOS

### ANEXO A: Recolección y caracterización de las semillas de datura





## ANEXO B: Carbonización y activación del carbón





## ANEXO C: Lavado y caracterización del carbón activado



a)



b)



c)



d)



e)



f)

- a) Reactor de pirólisis
- b) Semillas carbonizadas
- c) Trituración del carbón
- d) Peso del carbón para la activación
- e) Activación de carbón
- f) Secado después del proceso de activación

## ANEXO D: Lavado y caracterización del carbón activado



a)



b)



c)



d)



e)

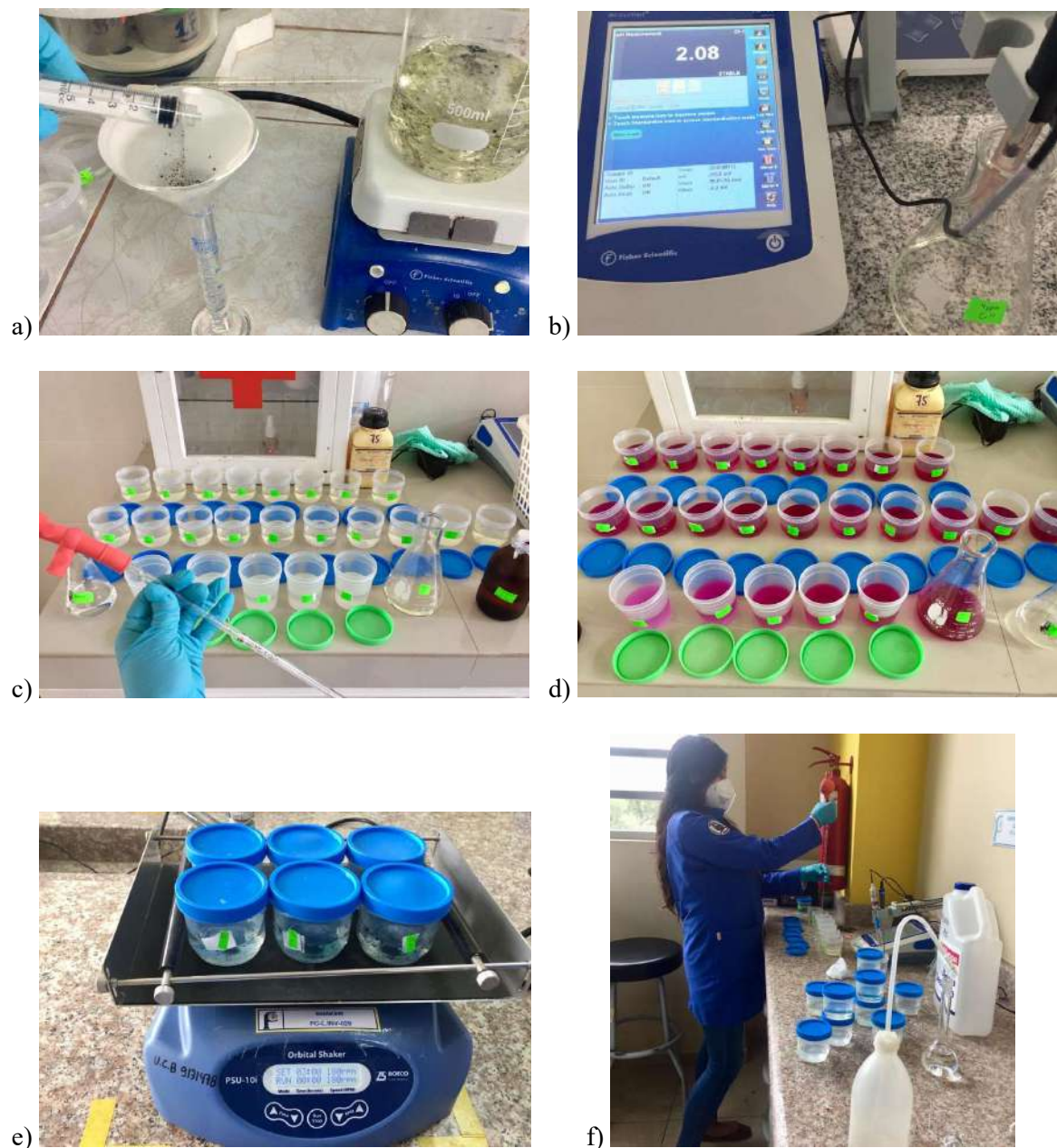


f)

- a) Carbón seco después de la activación
- b) Lavado de carbón activado
- c) Medición de pH del carbón activado
- d) Carbón activado final
- e) Caracterización del carbón activado (humedad)
- f) Caracterización del carbón activado (cenizas)



## ANEXO E: Cinética y adsorción de Cromo (VI)



- a) Toma de alícuotas para cinética del cromo
- b) Ajuste de pH
- c) Soluciones para cinética
- d) Soluciones después de agregar difenilcarbazida
- e) Agitación de soluciones para adsorción
- f) Ajuste de pH con ácido sulfúrico

## ANEXO F: Adsorción e Isotermas de Cromo (VI)



a)



b)



c)



d)



e)



f)

- a) Soluciones después de la filtración
- b) Soluciones de adsorción después de agregar difenilcarbazida
- c) Soluciones para isotermas de adsorción
- d) Agitación de soluciones para isotermas de adsorción
- e) Soluciones patrón para la curva de calibración
- f) Espectrofotómetro UV-VIS



## ANEXO G: Cinética e Isotermas de adsorción de Plomo (II)



- a) Soluciones de plomo II
- b) Solución para cinética de plomo
- c) Identificación de plomo
- d) Soluciones para adsorción de plomo
- e) Filtración de soluciones
- f) Acidulación de soluciones

## ANEXO H: Adsorción e Isotermas de Plomo (II)



- a) Soluciones para isotermas de adsorción
- b) Ajuste de pH de soluciones
- c) Soluciones para isotermas de adsorción
- d) Agitación de soluciones para isotermas de adsorción
- e) Test de cubetas para plomo MERCK
- f) Fotómetro HACH



## ANEXO I: Afinidad del carbón activado para Cromo (VI) y Plomo (II)



a)



b)



c)



d)



e)



f)

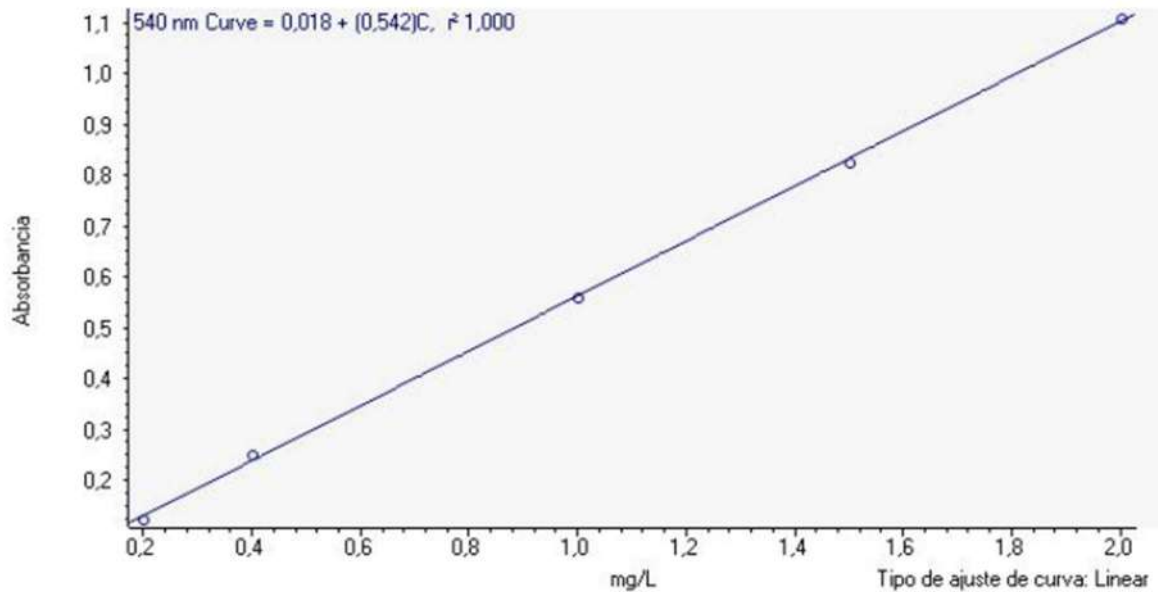
- Estándar de cromo y plomo
- Preparación de solución de cromo y plomo
- Medición de pH de la solución
- Cromo y plomo al inicio de la agitación
- Agitación de cromo y plomo
- Identificación de cromo y plomo

ANEXO J: Curva de calibración para Cromo (VI)

**Thermo Scientific**

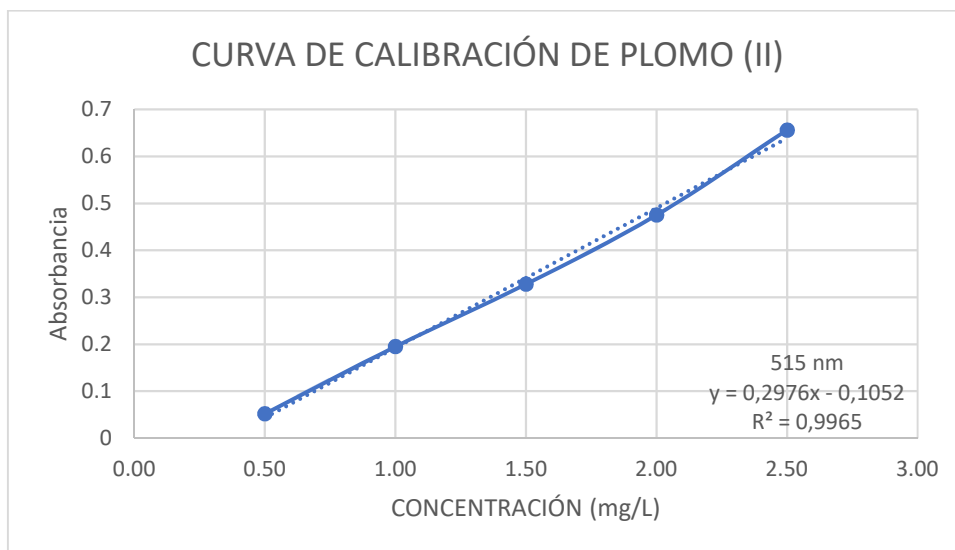
CROMO HEXAVALENTE

Estándar	Fecha & Hora	mg/L	Usado	Avg Abs.	#1
1	09/03/2021 13:54:47	0,200	Sí	0,119	0,119
2	09/03/2021 13:55:46	0,400	Sí	0,247	0,247
3	09/03/2021 13:56:49	1,000	Sí	0,557	0,557
4	09/03/2021 13:57:55	1,500	Sí	0,823	0,823
5	09/03/2021 13:59:01	2,000	Sí	1,107	1,107





## ANEXO K: Curva de calibración para Plomo (II)



ESTÁNDAR	CONCENTRACIÓN (mg/L)	ABSORBANCIA
1	0,50	0,052
2	1,00	0,195
3	1,50	0,328
4	2,00	0,475
5	2,50	0,656



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**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:** 08 / 12 / 2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> <i>Wilma Gabriela Laguna López</i>
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> <i>Ciencias</i>
<b>Carrera:</b> <i>Ingeniería Química</i>
<b>Título a optar:</b> <i>Ingeniera Química</i>
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> <i>Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.</i>

**LUIS  
ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS**

Firmado digitalmente  
por LUIS ALBERTO  
CAMINOS VARGAS  
Nombre de  
reconocimiento (DN):  
c=EC, f=RIOBAMBA,  
serialNumber=00027009  
74, cn=LUIS ALBERTO  
CAMINOS VARGAS  
Fecha: 2021.12.08  
12:14:41 -05'00'



1107-DBRAI-UTP-2021