



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**Adsorción de cromo (III) de aguas residuales de la curtiembre  
“el al-ce” del cantón Guano mediante filtración con polvo de vicia  
faba para reducir el nivel de contaminación**

**NELLY JANETH BUÑAY CANDO**

**Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo,  
presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH,  
como requisito parcial para la obtención del grado de:**

**MAGÍSTER EN INGENIERÍA QUÍMICA APLICADA**

**RIOBAMBA - ECUADOR**

**JULIO 2022**

© 2022, Nelly Janeth Buñay Cando

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.



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, titulado Adsorción de cromo (III) de aguas residuales de la curtiembre “el al-ce” del cantón Guano mediante filtración con polvo de vicia faba para reducir el nivel de contaminación de responsabilidad de la señorita Nelly Janeth Buñay Cando ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Ing. Luis Hidalgo Almeida; Ph. D.  
PRESIDENTE

Dr. Jorge Efrén Silva Yumi Ph. D.  
DIRECTOR

Ing. Adrián Rodríguez Pinos; Mag.  
MIEMBRO

Ing. Mabel Parada Rivera; Mag.  
MIEMBRO

Riobamba, julio de 2022

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, NELLY JANETH BUÑAY CANDO, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, y el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



---

BUÑAY CANDO NELLY JANETH

N° Cédula: 0604394924

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, NELLY JANETH BUÑAY CANDO, declaro que el presente Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.



---

BUÑAY CANDO NELLY JANETH

N° Cédula: 0604394924

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo, lo dedico primeramente a Dios por brindarme el conocimiento y la sabiduría necesaria para lograr y culminar con el objetivo propuesto, a mi familia quienes son mi mayor fortaleza, el pilar de mi vida y la fuente de inspiración para cumplir mis metas.

**Nelly**

## **AGRADECIMIENTO**

Al finalizar este trabajo quiero utilizar este espacio para agradecer al Instituto de Posgrado y Educación Continua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por la apertura del programa de Maestría en Ingeniería Química Aplicada lo que me ha brindado una oportunidad de crecimiento académico, profesional y personal.

Al Dr. Cesar Puente, Gerente General de la curtiembre “EL-ALCE” por permitirme realizar el trabajo de titulación en su empresa.

También quiero agradecer al Dr. Jorge Silva por toda la ayuda brindada como asesor del presente trabajo, por transferir de manera generosa y desinteresada su experiencia y conocimiento.

Nelly

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vii</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Problema de investigación</b>	<b>1</b>
<i>1.1.1. Planteamiento del problema</i>	<i>1</i>
<i>1.1.2. Formulación del problema</i>	<i>2</i>
<i>1.1.3. Problemas específicos</i>	<i>2</i>
<b>1.2. Justificación de la investigación</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Objetivos</b>	<b>3</b>
<i>1.3.1. Objetivo general</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2. Objetivos específicos</i>	<i>3</i>
<b>1.4. Hipótesis</b>	<b>4</b>
<i>1.4.1. Hipótesis general</i>	<i>4</i>
<i>1.4.2. Hipótesis específicas</i>	<i>4</i>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Antecedentes de la Investigación</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Marco Conceptual</b>	<b>6</b>
<i>2.2.1. Importancia del agua</i>	<i>6</i>
<i>2.2.2. Contaminantes del agua</i>	<i>6</i>



2.2.3.	<i>Efluentes contaminantes industriales</i>	7
2.2.4.	<i>Industria de curtiembre</i>	7
2.2.5.	<i>Proceso de curtido</i>	7
2.2.6.	<i>Depuración de efluentes</i>	9
2.2.7.	<i>Tratamiento convencional de efluentes</i>	10
2.2.8.	<i>Biofiltración</i>	11
2.2.8.1.	<i>Bioadsorción de metales pesados</i>	12
2.2.8.2.	<i>Tamaño de partícula</i>	12
2.2.9.	<i>Parámetros de monitoreo de las descargas industriales</i>	12
2.2.10.	<i>Límites máximos de descarga hacia el sistema de alcantarillado público</i>	13
2.2.11.	<i>Cromo</i>	14
2.2.11.1	<i>Uso del cromo en las curtiembres</i>	15
2.2.11.2.	<i>Toxicidad del Cromo</i>	15
2.2.12.	<i>Vicia Faba</i>	15
 <b>CAPÍTULO III</b>		
<b>3.</b>	<b>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>17</b>
<b>3.1.</b>	<b>Metodología</b>	<b>17</b>
3.1.1.	<i>Tipo y Diseño de investigación</i>	17
3.1.2.	<i>Método de investigación</i>	17
<b>3.2.</b>	<b>Enfoque de la investigación</b>	<b>18</b>
<b>3.3.</b>	<b>Identificación de las variables</b>	<b>18</b>

3.3.1.	<i>Variable dependiente</i>	19
3.3.2.	<i>Variable independiente</i>	19
3.3.3.	<i>Operacionalización de variables</i>	19
3.3.4.	<i>Matriz de consistencia</i>	20
3.4.	<b>Diseño de la investigación</b>	23
3.5.	<b>Población de estudio</b>	23
3.6.	<b>Unidad de análisis</b>	24
3.7.	<b>Selección de la muestra</b>	24
3.8.	<b>Tamaño de la muestra</b>	24
3.9.	<b>Técnica de recolección de datos primarios y secundarios</b>	24
3.10.	<b>Tratamiento y diseño experimental</b>	24
3.10.1.	<i>Elaboración de la muestra</i>	25
3.10.2.	<i>Método Normalizado para el Análisis de Aguas Potables y Residuales</i>	
	<i>3500- Cr, oxidación de Cr<sup>+3</sup> a Cr<sup>+6</sup></i>	29
3.10.2.1.	<i>Recolección y preservación</i>	30
3.10.2.2.	<i>Equipos y materiales</i>	30
3.10.2.3.	<i>Reactivos</i>	30
3.10.2.4.	<i>Procedimiento</i>	31
<b>CAPÍTULO IV</b>		
4.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	32
4.1.	<b>Análisis de los resultados</b>	34
4.1.1.	<i>Validación del experimento en calidad de procedimiento para disminuir los</i>	

	<i>niveles de Cr<sup>+3</sup> de las aguas residuales de la curtiembre</i>	41
4.2.	<b>Comprobación de Hipótesis</b>	44
4.2.1.	<i>Hipótesis General</i>	44
4.2.2.	<i>Hipótesis Especificas</i>	44
4.3.	<b>Discusión de resultados</b>	45
	<b>CONCLUSIONES</b>	48
	<b>RECOMENDACIONES</b>	50
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Etapas del proceso de ribera	8
Tabla 2-2:	Tipos de tratamiento de efluentes	10
Tabla 3-2:	Tratamientos biológicos de biofiltración	11
Tabla 4-2:	Parámetros de monitoreo de las descargas industriales	13
Tabla 5-2:	Límites de descarga al sistema de alcantarillado público	13
Tabla 1-3:	Operacionalización de variables	18
Tabla 2-3:	Matriz de consistencia	20
Tabla 3-3:	Diseño de muestras	28
Tabla 1-4:	Condiciones de filtración – experimento 1	34
Tabla 2-4:	Análisis químico – determinación de Cr+3 en las muestras de estudio, experimento 1	35
Tabla 3-4:	Condiciones de filtración – experimento 2	37
Tabla 4-4:	Análisis químico – determinación de Cr+3 en las muestras de estudio, experimento 2	38
Tabla 5-4:	Obtención de valores para análisis de varianza experimento 1	41
Tabla 6-4:	Análisis de varianza experimento 1	42
Tabla 7-4:	Obtención de valores para análisis de varianza experimento 2	42
Tabla 8-4:	Análisis de varianza experimento 2	43
Tabla 9-4:	Cuadro comparativo del % de adsorción experimento 1 y 2	43

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1-2:	Tipos de agentes contaminantes del agua	6
Figura 2-2:	Proceso de curtido y acabado de cuero	8
Figura 3-2:	Mecanismos de retención del metal en el bioadsorbente	12
Figura 4-2:	Vicia faba	16
Figura 1-3:	Representación esquemática del diseño de la investigación	23
Figura 2-3:	Diseño experimental	25
Figura 3-3:	Secado de las vainas de <i>Vicia faba</i>	26
Figura 4-3:	Molienda y trituración de la vaina de Vicia faba	26
Figura 5-3:	Tamizaje de la vaina de Vicia faba triturada	27
Figura 6-3:	Esquema de filtros de lecho fijo	27
Figura 7-3:	Preparación de la curva de calibración para determinación de Cr <sup>+6</sup>	30
Figura 8-3:	Verificación de la curva de calibración para determinación de Cr <sup>+6</sup>	31
Figura 9-3:	Determinación de cromo hexavalente en muestras objeto de estudio	31

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4:	Concentración inicial de Cr+3 de las muestras M1, M2 y M3 sin filtrar	35
Gráfica 2-4:	Concentración final de Cr+3 en la M1	37
Gráfica 3-4:	Concentración final de Cr+3 en la M2	37
Gráfica 4-4:	Concentración final de Cr+3 en la M3	38
Gráfica 5-4:	Concentración final de Cr+3 en la M1 – experimento 2	39
Gráfica 6-4:	Concentración final de Cr+3 en la M2 – experimento 2	39
Gráfica 7-4:	Concentración final de Cr+3 en la M3 – experimento 2	40
Gráfica 8-4:	Gráfica de cajas y bigotes media de la concentración final de Cr+3 en las muestras objeto de estudio	44

## ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A: Caracterización del agua residual de la curtiembre “EL-ALCE”
- Anexo B: Determinación de la concentración de  $\text{Cr}^{+3}$  después de la filtración – experimento  
1
- Anexo C: Determinación de la concentración de  $\text{Cr}^{+3}$  después de la filtración – experimento  
2

## RESUMEN

El desarrollo del presente trabajo de titulación tiene como principal objetivo determinar si la vaina del haba cuyo nombre científico es *Vicia faba* puede ser utilizada en procesos de bioadsorción de metales pesados presentes en efluentes que provienen de la industria del cuero, específicamente en la remoción del  $\text{Cr}^{+3}$  que si bien es cierto en pequeñas cantidades no es considerado tóxico, en mayor porcentaje puede llegar a generar problemas. La investigación se realiza en torno a la vaina de haba misma que fue triturada llevándola a tres tamaños de partícula de 1mm, 3.35 mm y 5.08 mm respectivamente, con lo cual se armaron tres filtros de lecho fijo a través de los cuales se hizo pasar una determinada cantidad de agua residual obtenida tras un muestreo aleatorio en la curtiembre “EL AL-CE”, el agua filtrada resultante fue sometida a pruebas de análisis químico conforme a lo establecido en la edición 22 de los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales 3500-Cr B, para medir la cantidad de  $\text{Cr}^{+3}$  presente, previo al proceso de filtración se realizó la determinación de la cantidad de  $\text{Cr}^{+3}$  inicial de cada una de las muestras para de esta manera determinar si había o no una reducción en el contenido del metal. Conforme a los resultados obtenidos pudimos ver un 99% de disminución del metal en todas las muestras analizadas, siendo mayor la adsorción en los filtros que contenían la vaina del haba con un tamaño de partícula de 5.08 mm, sin embargo tras el análisis de varianza realizado podemos aseverar que los tres tamaños de partícula que fueron objeto de estudio en este trabajo permiten alcanzar el objetivo planteado que es la reducción del contenido de  $\text{Cr}^{+3}$ , razón por la cual es contundente el hecho de que la vaina de haba es un bioadsorbente de alto rendimiento.

**PALABRAS CLAVES:** INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA, HABA (*Vicia faba*), ADSORCIÓN, FILTRACIÓN, CROMO III, AGUA RESIDUAL, CONTAMINACIÓN.



Firmado electrónicamente por:  
**LUIS ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS**



0064-DBRA-UPT-IPEC-2022



## ABSTRACT

The main objective of the development of the research is to determine if the bean pod which scientific name is *Vicia faba*, can be used in bioadsorption processes of heavy metals present in effluents from the leather industry, specifically in the removal of Cr. +3 that in small quantities it is not considered toxic, in a higher percentage it can cause problems. The research is carried out around the bean pod itself, which was crushed, taking it to three particle sizes of 1mm, 3.35mm and 5.08mm respectively, with which three fixed-bed filters were assembled through which a certain amount of residual water obtained after random sampling at the "EL AL-CE" tannery, the resulting filtered water was subjected to chemical analysis tests in accordance with the provisions of the 22nd edition of the Standardized Methods for the Analysis of Drinking Water and Residual 3500-Cr B, to measure the amount of Cr+3 present, prior to the filtration process, the initial amount of Cr+3 in each of the samples was analyzed in order to determine whether or not there was a reduction in the metal content. According to the results obtained, we could see a 99% decrease in the metal in all the samples analyzed, the adsorption being greater in the filters that contained the bean pod with a particle size of 5.08 mm, however, after the analysis of variance performed we can assert that the three particle sizes that were the object of study in this work allow reaching the stated objective, which is the reduction of the Cr+3 content, which is why the fact that the bean pod is a bioadsorbent of high performance.

**KEYWORDS:** ENGINEERING AND TECHNOLOGY, BEAN (*Vicia faba*), ADSORPTION, FILTRATION, CHROME (III), WASTEWATER, POLLUTION.



Mayra Alexandra Carrillo Rodríguez  
0604251009



# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Problema de investigación

#### 1.1.1. Planteamiento del problema

La contaminación del agua es uno de los aspectos más preocupantes debido a la existencia de gran cantidad de efluentes que pueden contener elementos químicos muy tóxicos. Los hidrocarburos, los pesticidas, los metales pesados, etc., estos son los principales agentes contaminantes. Específicamente los metales pesados que proceden de fuentes industriales (papeleras, pinturas, curtiembre, etc.) son catalogados como los grandes contaminantes, ya que las fuentes de agua son incapaces por sí mismas de neutralizarlos.

En la actualidad, a nivel mundial, existe una preocupación constante por los altos índices de contaminación de agua con metales pesados, siendo uno de los más comunes el cromo. El cromo es un metal pesado y se encuentra en sus dos estados de oxidación estables:  $\text{Cr}^{+3}$  y  $\text{Cr}^{+6}$ ; el cromo trivalente se emplea ampliamente como curtiente en el tratamiento del cuero donde se obtienen cerca de 30-35% de la sal de curtido inicial (Mayta and Mayta 2017), este cromo es relativamente inofensivo e inmóvil, sin embargo, al oxidarse y convertirse en  $\text{Cr}^{+6}$  es dañino, tóxico, carcinogénico y mutagénico (Tejada et al. 2015).

Los países de Latinoamérica aplican metales pesados con fines industriales, siendo un peligro constante para la salud humana. El cromo es uno de los elementos químicos más importantes para la industria, su principal inconveniente se da al trabajar con altas concentraciones, causando problemas en la piel, pulmones, etc. Además, como los países latinoamericanos se encuentran en vías de desarrollo, la inversión en salud es baja dentro de los presupuestos económico, esto impide que se implementen sistemas de tratamiento de aguas residuales con avances tecnológicos modernos y eficientes (García Castillo 2015).

Ecuador es un país con gran cantidad de procesamiento de cuero, entre 350 mil cueros al año, cuyo procesamiento constituye una amenaza alta de contaminación ambiental por el uso de sustancias químicas orgánicas e inorgánicas altamente tóxicas y de difícil remoción (Beltrán et al. 2019), además que se suelen implementar laxas medidas de reducción del impacto y control de elementos pesados tales como el cromo. Esto ha llevado a que muchas curtidurías no implementen sistemas eficientes para la remoción de este elemento y que en varias ocasiones

sólo se realice una dilución de la concentración (Morales 2019).

Por otro lado, el cultivo de leguminosas genera residuos en grandes cantidades, la mayor parte se degradan de una manera rápida y la gran parte estos residuos son simplemente quemados (Martínez, 2017). La vaina de haba es un desecho vegetal que por lo general suele ser desechado y, en el mejor de los casos, suele ser utilizado como abono para el mismo cultivo u otros; es evidente que no ha existido un interés en utilizarlo para algún tipo de tratamiento de aguas residuales. En este sentido, cada día se vuelve más importante el hacer un uso integro de los recursos que tenemos a disposición, ya que con esto se puede lograr reducir los costos asociados que conlleva el deshacerse de estos residuos.

### ***1.1.2. Formulación del problema***

¿Es factible emplear polvo de Vicia faba para la adsorción de  $\text{Cr}^{+3}$  de aguas residuales de la curtiembre “El AL-CE” del cantón Guano para reducir el nivel de contaminación?

### ***1.1.3. Problemas específicos***

- ¿Cuáles son las condiciones en las que actualmente se está descargando las aguas residuales provenientes del proceso de curtiembre de la empresa “EL AL-CE”?
- ¿Qué condiciones influyen significativamente en el proceso de adsorción del  $\text{Cr}^{+3}$  presente en aguas residuales de la curtiembre?
- ¿Cuál es el porcentaje máximo de la adsorción del  $\text{Cr}^{+3}$  en medios acuosos mediando el polvo de la vaina de haba como material adsorbente?
- ¿El proceso de adsorción por columna cumple con los parámetros óptimos para remover un porcentaje competente de  $\text{Cr}^{+3}$  en las aguas residuales de curtiembre?

## **1.2. Justificación de la investigación**

En la actualidad el procesamiento de cueros es una de las actividades más importantes para el desarrollo del país, sin embargo, es innegable el impacto ambiental que esta actividad le causa al ambiente, ya que la industria de la curtiduría consume grandes cantidades de agua en su proceso; las aguas residuales constituyen cerca del 90% (Vallejo Blancas, Martínez García and Ángel Soto 2017) del total del agua usada y estas contienen gran cantidad de contaminantes, principalmente metales pesados como el  $\text{Cr}^{+3}$ , que al estar en contacto con el ambiente este se oxida dando como resultado  $\text{Cr}^{+6}$  el cual llega a ser perjudicial para la salud humana.

Por otro lado, tenemos el caso de la vaina de haba, el cual suele ser descartado en la mayoría de

los casos, salvo en ocasiones en las que simplemente se usa como abono para el suelo. Al ser un residuo que tiene una generación más o menos constante durante todo el año, resulta atractivo su uso en otros ámbitos en los que se puedan usar efectivamente sus características físicas.

Si bien los estudios relacionados en específico a la vaina de haba y su capacidad de adsorción de  $\text{Cr}^{+3}$  son relativamente escasos, estudios realizados sobre la vaina de la arveja han demostrado ser efectivos (Paz Corrales 2020), además de que existen estudios similares con la cáscara de yuca (Acosta et al. 2017), naranja (Tejada et al. 2015), sorgo (Adewoye et al. 2017), pepas de papaya (Córdova y Medina 2019), mandarina (Verdugo 2017). Esto debido a la facilidad que poseen las fibras vegetales para adsorber sustancias químicas de manera efectiva ya que es un vegetal que posee un tejido esponjoso de aspecto afieltrado de color blanco que son capaces de retener los metales pesados.

El reto más grande de ingeniería química, es la optimización de recursos que causen a su vez, un menor impacto al medio ambiente. De esta manera se busca usar la cascara de la vaina de haba pulverizada como un material adsorbente, siendo sus principales características ser económico, relativamente fácil de conseguir y de un origen eco amigable. Para ello se presentará los sustentos que evidencien la eficiencia en la remoción del  $\text{Cr}^{+3}$ , generando con ello confianza en los encargados de la empresa de Curtiembre “EL AL-CE” y también de las personas que generan los residuos ya que podrán destinar las vainas de haba a un proceso en pro del cuidado ambiental.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

- Adsorber el  $\text{Cr}^{+3}$  de aguas residuales de la curtiembre “EL AL-CE” del cantón Guano mediante filtración con polvo de *Vicia faba* para reducir el nivel de contaminación.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Diagnosticar las condiciones de funcionamiento actual de la curtiembre “EL AL-CE” mediante la caracterización de las aguas residuales del proceso.
- Determinar las condiciones adecuadas para la adsorción del  $\text{Cr}^{+3}$  presente en aguas residuales de la curtiembre mediante un biofiltro empacado con polvo de la vaina de haba.
- Calcular el porcentaje máximo de adsorción del  $\text{Cr}^{+3}$  en medios acuosos mediando el polvo de la vaina de habas como agente adsorbente.
- Validar el experimento en calidad del procedimiento para disminuir los niveles de  $\text{Cr}^{+3}$  de las aguas residuales de la curtiembre.

## **1.4. Hipótesis**

### ***1.4.1. Hipótesis general***

El polvo de la vaina de haba resultará un eficaz adsorbente para el  $\text{Cr}^{+3}$  presente en el agua residual del proceso de curtiembre “EL AL-CE”.

### ***1.4.2. Hipótesis específicas***

- La concentración de  $\text{Cr}^{+3}$  del agua residual descargadas por parte de la curtiembre “EL AL-CE”, es susceptible de ser disminuida.
- El polvo de la vaina de haba si determinará las condiciones adecuadas para la adsorción del  $\text{Cr}^{+3}$  presente en aguas residuales.
- El polvo de la vaina de haba resultará un material óptimo para adsorción del  $\text{Cr}^{+3}$  en medios acuosos.
- El material adsorbente si disminuirá los niveles de  $\text{Cr}^{+3}$  de las aguas residuales de curtiembre.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la Investigación

El avance de la ciencia y tecnología presenta muchas ventajas en el desarrollo humano, pero también han contribuido a la degradación del medio ambiente en todo el mundo, debido a la inadecuada descarga de desechos líquidos peligrosos en las fuentes hídricas por parte de industrias que no cuentan con la tecnología adecuada para la reducción del contaminante. En ocasiones las industrias suelen descargar sus efluentes sin los tratamientos necesarios.

La actividad industrial consiste en una de las actividades económicas que más ingresos generan al desarrollo de un país; dentro de este sector económico, algunas industrias utilizan metales pesados como: mercurio, zinc, cadmio, y el cromo para diferentes tipos de fabricación, todos estos elementos químicos son considerados entre los más peligrosos para la salud humana y el medio natural. La liberación de los efluentes que contienen estos iones metálicos supone una amenaza no sólo para la vida acuática, sino también a toda la cadena alimentaria, a lo largo de la cual se acumulan a una mayor concentración, y no se degradan por ningún método (Tejada et al., 2017).

Actualmente las biomásas agrícolas residuales son de gran importancia en el ámbito de la investigación y desarrollo ya que muchos de estos productos se han utilizado en el diseño de adsorbentes comerciales por la alta eficiencia de bioadsorción que presentan, este es un proceso que permite la captación activa o pasiva de iones metálicos, debido a la propiedad que diversas biomásas vivas o muertas poseen para enlazar y acumular este tipo de contaminantes por diferentes mecanismos.

La industria de la curtiduría es una de las industrias que descarga un volumen considerable de aguas residuales que contaminan a los cuerpos de agua. Entre las contaminantes que presentan estos efluentes, se encuentran los sulfuros y las sales de cromo, que son producto del proceso de pelambre y curtido de pieles (Cipriano, 2021).

En el presente trabajo se estudió las generalidades de la adsorción del polvo de *Vicia faba* como proceso alternativo para la remoción de  $\text{Cr}^{+3}$  presente en las aguas residuales de la curtiembre “EL AL-CE”, la bioadsorción, surge como una alternativa que llama la atención en la remoción de iones de metales pesados en los efluentes industriales, ya que, es una tecnología que permite

no solo removerlos, si no también, darle un tratamiento a los desechos agrícolas que antes no tenían ninguna utilidad, además, estos materiales bioadsorbente son de bajo costo y fácil adquisición.

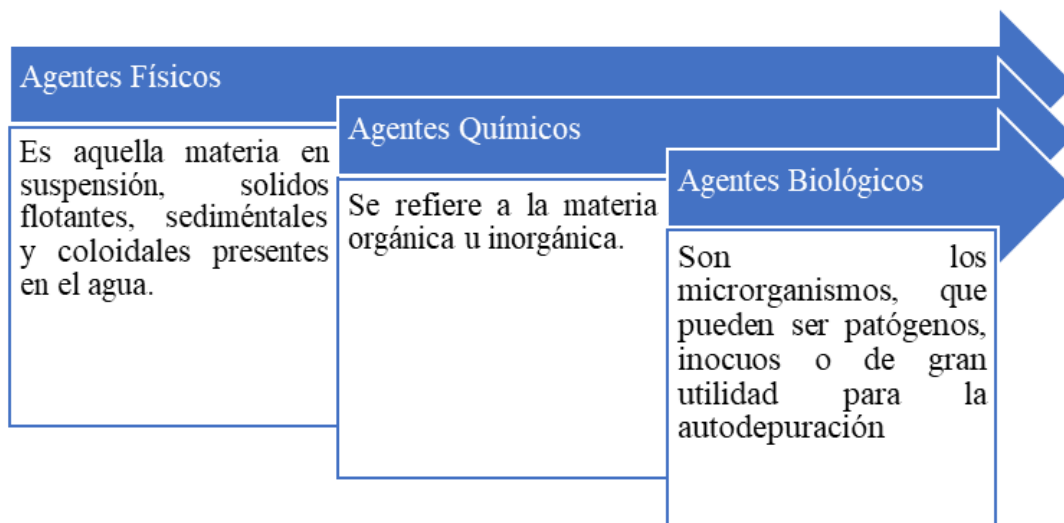
## 2.2. Marco Conceptual

### 2.2.1. Importancia del agua

El agua es de una importancia vital para el ser humano, así como para el resto de animales y seres vivos que nos acompañan en el planeta Tierra por tal razón se lo considera el elemento más importante para la vida (Ger, 2017).

### 2.2.2. Contaminantes del agua

Los contaminantes son aquellos agentes inorgánicos, orgánicos o biológicos, responsables en la alteración de las propiedades o composición del agua (Durán et al., 2020), de tal manera, se convierte en un elemento nocivo para la vida en la Figura 2.1 se explica cada uno de los tipos de agentes contaminantes del agua.



**Figura 1-2:** Tipos de agentes contaminantes del agua

**Realizado por:** Buñay N. 2022

**Fuente:** (González & Morales, 2020)

Los metales pesados como plomo, cadmio, cromo, zinc, mercurio entre otros, son liberados hacia ecosistemas acuáticos, así como a los suelos principalmente debido a diversas actividades antropogénicas lo que supone una grave amenaza para las plantas, animales e incluso los

humanos debido a su persistencia, bioacumulación, propiedad no biodegradable y su toxicidad aun cuando su concentración se considere baja (Pabón et al., 2020).

Es importante indicar que el mayor aporte a la contaminación de las aguas por metales pesados es debido a las descargas de aguas residuales producto de diversas actividades antropogénicas principalmente de tipo industrial, cada día es mayor el grado de contaminación de las fuentes hídricas debido al constante uso de estos metales en la industria, lo que aumenta la concentración de los mismos en el agua y por ende aumenta el riesgo para los seres humanos y demás organismos vivos (González & Morales, 2020).

### ***2.2.3. Efluentes contaminantes industriales***

Se denomina efluentes a un conjunto muy variado de residuos producto de la actividad humana e industrial (Quiroz, 2020). Los efluentes que provienen de la industria difieren de las aguas cloacales en volumen y composición, ya que el tipo de contaminantes utilizado en los procesos de manufactura de sus productos depende de la industria (Zaruma et al., 2018) como por ejemplo materia orgánica, metales pesados, alteraciones en el pH, colorantes, aceites y grasas, constituyéndose perjudiciales para los organismos vivos.

### ***2.2.4. Industria de curtiembre***

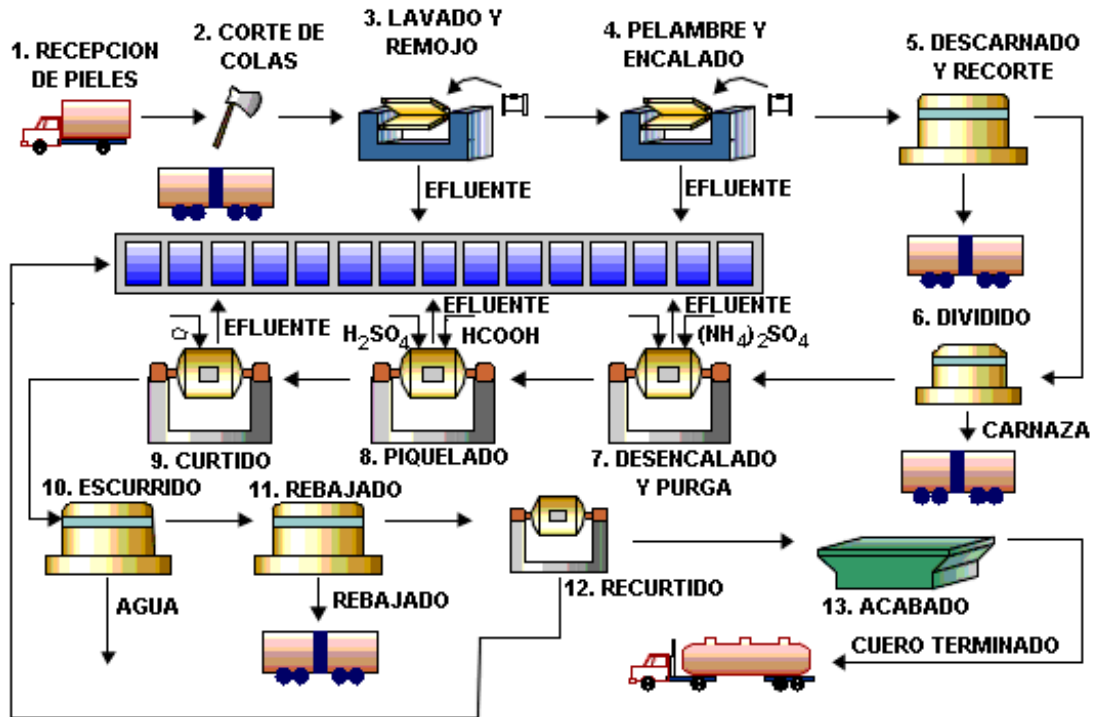
La industria del cuero se caracteriza por la utilización de pieles de animales vacunos, caprinos y ovinos, transformándolos en bienes de consumo (Quintero et al., 2018), por medio de procesos en las que es fundamental añadir productos químicos como el cromo, cloratos, fenoles, altos grados de salinidad, productos alcalinos, también un secuestrante de oxígeno disuelto del agua, considerado como una actividad altamente contaminante y por ende peligrosa para la salud humana y el medio ambiente (Chipana, 2020).

### ***2.2.5. Proceso de curtido***

Los cueros son tratados con sal por el lado carne, para de esta manera evitar la putrefacción, conservando así la materia prima para los procesos y usos posteriores a los que será sometido el cuero (Cueltan et al., 2020).

Una vez que los cueros son trasladados a la curtiembre, son almacenados en el saladero hasta que llega el momento de procesarlos.





**Figura 2-2:** Proceso de curtido y acabado de cuero

Fuente: (García & Ramírez, 2019)

- **Ribera:** En esta etapa el cuero es preparado para ser curtido, en ella es limpiado y acondicionado asegurándole un correcto grado de humedad (Leguizamón Cruz, 2018). En la Figura 2.3 se puede observar las diferentes actividades que se desarrollan en este proceso.

**Tabla 1-2:** Etapas del proceso de Ribera

Remojo	El remojo es el primer paso que las pieles son sometidas con la finalidad de retirar todas las impurezas que traen consigo, para conocer las cantidades exactas de cada uno de los productos que se va a utilizar primero debemos pesar las pieles conociendo este dato se realizó un baño de agua con el 200% a temperatura ambiente, más el 1% de tenso activo dejando reposar por 24 horas para poder hidratar las fibras de colágeno de la piel procediendo así a descargar el bombo
--------	--

Pelambre y Calero	Se coloca el 200% de agua con el 4% de cal y 2.5% de sulfuro de sodio dejando al bombo en constante agitación durante un periodo de tiempo de 5 horas, luego se deja en reposo durante 24 horas para descargar el bombo. A continuación, se efectúan dos lavadas: en la primera lavada con 300% de agua durante 15 minutos y descargar el bombo en el segundo lavado se le añade el 1% de sulfato de amonio con la misma cantidad de agua, dejando rodar el bombo durante 30 minutos transcurrido este tiempo se descarga el bombo
Desencalado y Rendido	En esta etapa se le añade 300% de agua acompañado del 1% de Sulfato de Amonio dejando así rodar el bombo durante 60 minutos.  Posterior se adiciona el 0.5% de Bisulfito de Sodio dejando rodar el bombo durante 30 minutos y para finalizar este proceso se colocó 0.5% de ríndete dejando rodar el bombo durante 90 minutos. Culminado este proceso se realiza dos lavadas con 300% de agua a temperatura ambiente dejando rodar el bombo durante 15 minutos cada una

**Realizado por:** Buñay N. 2022

**Fuente:** (Quintero et al., 2018)

- **Piquelado:** es aquí donde se realiza la preparación química de la piel para el proceso de curtido, mediante la utilización de ácido fórmico y sulfúrico principalmente, mismos que aportan protones, favoreciendo el enlace con el grupo carboxílico, generando de esta manera la difusión del curtiente hacia el interior de la piel sin que se fije en las capas externas del colágeno (Luna, 2018).
- **Curtido:** en esta etapa se busca la estabilización de la estructura de colágeno que compone al cuero, mediante la acción del cromo trivalente en un medio ácido (ácido clorhídrico) para lo cual se aplica sales de cromo. Cabe recalcar que este proceso le brinda al cuero resultante un “tacto” característico (Cueltan et al., 2020).

#### **2.2.6. Depuración de efluentes**

A cualquier escala la depuración de las aguas residuales, tiene como objetivo entre otros la protección de la salud pública y la conservación de la calidad hidrobiológica de los

ecosistemas acuáticos (Tena & Garay, 2019). Previo a la depuración deberá hacerse un estudio inicial del origen de agua a tratar, es decir, determinar las características fisicoquímicas del efluente y del cumplimiento de la legislación vigente.

### 2.2.7. *Tratamiento convencional de efluentes*

El tratamiento de efluentes contempla una serie de procesos físicos, químicos y biológicos cuyo objetivo es disminuir la carga de contaminantes previo a su vertido, de esta manera se pretende minimizar los riesgos que estos suponen tanto al ecosistema como a la población (Quishpe et al., 2017).

**Tabla 2-2:** Tipos de tratamiento de efluentes

<b>TIPOS DE TRATAMIENTO</b>			
<b><i>Tratamiento Preliminar</i></b>	<b><i>Tratamiento Primario</i></b>	<b><i>Tratamiento Secundario</i></b>	<b><i>Tratamiento Avanzado</i></b>
Su principal objetivo es disminuir la contaminación orgánica o inorgánica, mediante la aplicación de métodos que pueden ser: homogenización, cribado, sedimentación y separación de grasas y aceites.	Se busca eliminar los sólidos suspendidos y sedimentables, utilizando procesos físicos como: sedimentación, flotación, coagulación – floculación y filtración.	Se fundamenta en la remoción de la materia orgánica, se utiliza procedimientos químicos y biológicos porque la descomposición se hace por acción bacteriana, mediante métodos que pueden ser: reactores anaeróbicos, lagunas de estabilización y lodos activados.	Se utiliza para disminuir los restos de contaminantes del tratamiento secundario, métodos que se puede emplear son: bioadsorción, osmosis inversa, intercambio iónico o filtración.

**Realizado por:** Buñay 2022

**Fuente:** (Mendes, 2019)

### 2.2.8. Biofiltración

La filtración biológica representa una opción diferente a los procesos fisicoquímicos, tradicionalmente utilizados para la potabilización del agua, consiste en un dispositivo compuesto generalmente de materiales porosos (Ruiz, 2018).

Los tratamientos biológicos de biofiltración, se clasifican en función de la forma de operar (Reyes, 2021).

**Tabla 3-2:** Tratamientos biológicos de biofiltración

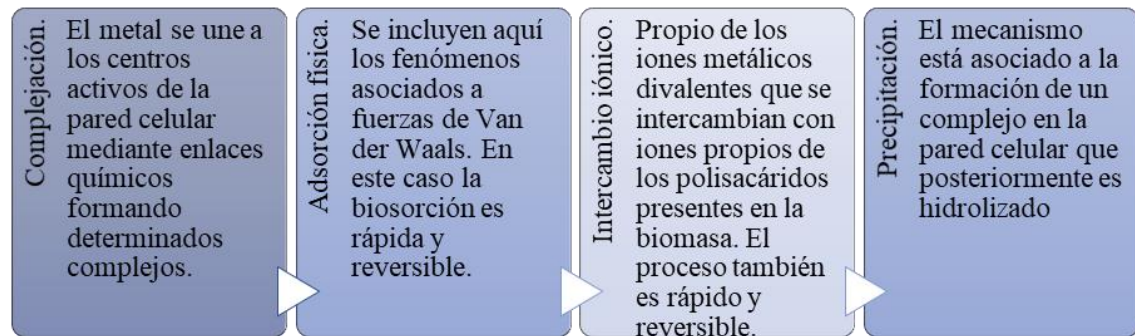
Tipo de tratamiento	Forma de Operar
<b>Biolavadores (bioscrubber)</b>	Recomendables para tratar corrientes gaseosas compuestas por contaminantes muy solubles en agua. Esto es debido a que la corriente gaseosa se absorbe en agua a través de una columna de aspersion y la corriente líquida generada es tratada en un reactor de lodos activos.
<b>Biofiltros de escurrimiento (biotrickling filter)</b>	Se basa en un lecho biológico empaquetado en un soporte sintético sobre el que se forma una biopelícula (favorecida por la humectación), la cual es la responsable de la degradación de los compuestos contaminantes.
<b>Biofiltros convencionales</b>	Se genera un filtro biológico relleno de un lecho orgánico (astillas de madera, compost, turba, etc.) que es colonizado naturalmente por microorganismos capaces de degradar contaminantes del aire. El gas contaminado se humidifica antes de ingresar al biofiltro.

**Realizado por:** Buñay 2022

**Fuente:** (Reyes, 2021)

### 2.2.8.1. Bioadsorción de metales pesados

La bioadsorción es un fenómeno físico mediante el cual, el sólido se adhiere a la superficie de materiales orgánicos vivos o inertes, este proceso consiste en la unión rápida y reversible de ciertos iones a la superficie del bioadsorbente (Tejada et al., 2017). Para la fijación de metales pesados en la bioadsorción se ha sugerido una serie de mecanismos que explica la retención o secuestro del metal en diferentes partes del bioadsorbente, mismos que pueden verse en la Figura 2-5.



**Figura 3-2:** Mecanismos de retención del metal en el bioadsorbente

**Realizado por:** Buñay 2022

**Fuente:** (Mendes, 2019)

### 2.2.8.2. Tamaño de partícula

Es una de las principales características a tomar en cuenta en un medio filtrante ya que incide de manera directa en el proceso de filtración cuando este no cumple con las especificaciones de acuerdo al tipo de filtración utilizada, si el tamaño es demasiado pequeño, la mayor parte de la fuerza va a ser utilizada para vencer la resistencia de fricción provocada por el lecho filtrante, mientras que si es demasiado grande, muchas de las partículas de menor tamaño presentes en el agua a filtrar pasara directamente a través del filtro sin ser eliminadas (Rodríguez et al., 2019).

### 2.2.9. Parámetros de monitoreo de las descargas industriales

Este trabajo investigativo se fundamenta en lo estipulado en el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) para la industria del cuero.

**Tabla 4-2:** Parámetros de monitoreo de las descargas industriales

<b>Actividad Industrial</b>	Curtido y adobo de pieles
<b>Parámetros de Monitoreo</b>	Caudal, DBO, DQO, SST, Grasas y Aceites, Fenoles, Sulfatos, Cromo, Cromo hexavalente, Color

**Realizado por:** Buñay 2022

**Fuente:** (Ministerio del Ambiente, 2017)

#### **2.2.10. Límites máximos de descarga hacia el sistema de alcantarillado público**

En del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes Recurso Agua, indica los valores máximos permitidos para los parámetros de monitoreo previo a las descargas.

**Tabla 5-2.** Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo</b>
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días</b>	DBO <sub>5</sub>	mg/l	250
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	DQO	mg/l	500
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	SST	mg/l	220
<b>Grasas y aceites</b>	Solubles en hexano	mg/l	70,0
<b>Fenoles</b>	fenol	mg/l	0,2

<b>Sulfatos</b>	SO <sub>4</sub>	mg/l	400
<b>Sulfuros</b>	S <sub>2</sub>	mg/l	1,0
<b>Cromo</b>	Cr	mg/l	0,50
<b>Cromo hexavalente</b>	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,50
<b>Color</b>	color	unid	

**Realizado por:** Buñay 2022

**Fuente:** (Ministerio del Ambiente, 2017)

### **2.2.11. Cromo**

El cromo es un metal del grupo VIB con número atómico 24, entre sus principales características podemos citar la resistencia que presenta a la corrosión, su dureza la brillantez y su color blanco plateado (Miranda, 2018).

El cromo está presente en estado natural en el ambiente en bajas concentraciones ya sea en rocas, plantas, suelos, animales, en humos y gases volcánicos, y esta puede ser transportada a los cuerpos de agua de forma natural a causa del viento (Cipriano, 2021).

El cromo se encuentra en varios estados de oxidación, siendo los más comunes, el Cr<sup>+3</sup> y el Cr<sup>+6</sup>. Donde el primero es un oligoelemento, indispensable para procesos bioquímicos y fisiológicos necesarios para la vida, específicamente tiene acciones en el metabolismo de la glucosa, el colesterol y los ácidos grasos, además de desempeñar un papel muy importante en diferentes reacciones enzimáticas mientras que el segundo, es un elemento altamente tóxico para el ser humano y está clasificado por la IARC (International Agency for Research on Cancer) en el grupo I (cancerígeno comprobado en humanos) ya que en exposición ocupacional produce cáncer en el sistema respiratorio. El cromo hexavalente es un agente oxidante fuerte y, mismo que en presencia de materia orgánica, se reduce a Cr<sup>+3</sup>. Sin embargo, niveles elevados de Cr<sup>+6</sup> pueden superar la capacidad reductora del ambiente y persistir como contaminante (Moreno & Téllez, 2020).

### **2.2.11.1 Uso del cromo en las curtiembres.**

El uso de dicromato de potasio  $K_2Cr_2O_7$  es el responsable de la formación de  $Cr^{+6}$  en los vertimientos y lodos dentro de la industria del curtido de cueros, este compuesto es usado para el proceso de curtido y basificado (Mitra et al., 2017).

### **2.2.11.2. Toxicidad del Cromo.**

Los efectos biológicos del cromo dependen del estado de oxidación. El  $Cr^{+6}$  es la forma más tóxica del este metal, esto debido a que atraviesa sin dificultad las membranas biológicas y puede ser transportado de manera activa hacia el interior de las células. El  $Cr^{+6}$  es peligrosamente tóxico para todas las formas de vida, siendo mutagénico y carcinogénico en el hombre y mutagénico en bacterias (Cipriano, 2021).

Se ha planteado que la toxicidad del  $Cr^{+6}$  se debe básicamente a que, al igual que otros metales, produce estrés oxidativo, este proceso dentro de la célula genera intermediarios reducidos de cromo que en presencia de  $H_2O_2$ , funcionan como catalizadores de una reacción tipo Fenton, provocando la formación de Especies Reactivas de Oxígeno (ERO) (Meneses et al., 2018), lo cual conlleva a un daño oxidativo, produciendo peroxidación de lípidos, oxidación de proteínas y daños a los ácidos nucleicos .

Por otro lado, el  $Cr^{+3}$  es relativamente inocuo debido a su insolubilidad e incapacidad para atravesar las membranas biológicas; esta especie constituye un oligoelemento indispensable para procesos bioquímicos y fisiológicos en células superiores, en cantidades muy pequeñas. El  $Cr^{+3}$  específicamente tiene acciones en el metabolismo de la glucosa, el colesterol y los ácidos grasos, además de desempeñar un papel importante en diferentes reacciones enzimática (Flores, 2018).

### **2.2.12. *Vicia faba***

Es una planta herbácea del género *Vicia*, crece de forma recta y erguida, los tallos son relativamente fuertes y pueden alcanzar hasta 1.6 m de altura. Las hojas salen del tallo en forma alternada. Las flores se agrupan de 5 a 8 en un extremo de la espiga. Sus frutos son legumbres, en forma de vainas, casi cilíndrica (Smither-Kopperl 2019), su interior recubierto de lana esto hace que las aguas duren y produce buenas semillas.

La *Vicia faba* es uno de los cultivos de leguminosas muy importantes a nivel mundial, la producción de haba, según (Sánchez 2019) indica que al año se produce aproximadamente



16,318 toneladas, la composición química de la misma es 90% de las proteínas, minerales, lípidos, carbohidratos, minerales, fibras, además posee un tejido esponjoso de aspecto afieltrado de color blanco.



**Figura 4-2:** *Vicia faba*

**Fuente:** (Smither-Kopperl 2019)

## CAPITULO III

### 3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Metodología

##### 3.1.1. Tipo y Diseño de investigación

La investigación es de tipo experimental, donde la meta a alcanzar es la viabilidad de remoción de  $\text{Cr}^{+3}$  del agua residual a partir del material adsorbente. Para lo cual se utilizarán tres filtros cada uno contendrá material adsorbente con diferente tamaño de partícula, una vez filtrada la muestra con los diferentes filtros se determinará el contenido de cromo hexavalente para de esta manera determinar cuál de ellos nos permiten alcanzar el objetivo planteado.

El estudio es de tipo exploratorio, ya que el tema a investigar es poco estudiado y no ha sido abordado con la profundidad requerida con anterioridad. Resultan insuficientes las fuentes referenciales en el Ecuador sobre este campo investigativo, así como de la ausencia de estudios y procedimientos que permitan optimizar la adsorción del  $\text{Cr}^{+3}$  en las fibras vegetales. Así, el estudio permite tener más herramientas relacionadas con este problema poco estudiado en el contexto de la curtiembre, a partir de la propuesta una vez validado el proceso de bioadsorción. Cabe recalcar que la investigación es de tipo cuantitativo, al medir y determinar los valores óptimos de adsorción del  $\text{Cr}^{+3}$  de las partículas de haba (*Vicia faba*) como material adsorbente.

La presente investigación, posee un diseño de investigación estrictamente experimental enfocados en evaluar la capacidad de remoción de  $\text{Cr}^{+3}$  en las aguas residuales provenientes del proceso de curtiembre, se busca evaluar mediante procesos experimentales realizados en un laboratorio la viabilidad de aplicar la vaina de haba (*Vicia faba*) como un agente filtrante adicional en el proceso de tratamiento de las aguas residuales de la empresa de curtiembre “EL AL-CE”.

##### 3.1.2. Método de investigación

Para el desarrollo del proyecto se utilizó el método de investigación deductivo, ya que se verificó la capacidad de adsorción del  $\text{Cr}^{+3}$  de las aguas residuales de curtiembre aplicando material particulado de la vaina de haba. Para ello tomamos como punto de partida el análisis de la cantidad de cromo contenido en una muestra de agua sin tratar y lo comparamos con los resultados obtenidos en las muestras de agua filtrada para de esta manera determinar cuál de ellas

tuvo mayor eficiencia en la remoción del  $\text{Cr}^{+3}$ .

### 3.2. Enfoque de la investigación

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo, ya que después de determinar la cantidad de  $\text{Cr}^{+3}$  se realizó una evaluación de eficiencia de cada uno de los filtros utilizados en función al tamaño de partícula y la capacidad de remoción.

### 3.3. Identificación de las variables

#### 3.3.1. Variable dependiente

- Concentración de  $\text{Cr}^{+3}$  en el agua filtrada

#### 3.3.2. Variable independiente

- Capacidad de adsorción
- Tiempo de contacto
- Tamaño de partícula del material adsorbente

#### 3.3.3. Operacionalización de variables

**Tabla 1-3:** Operacionalización de variables

Variable	Definición	Dimensión	Indicadores	Ítems	Instrumentos
Concentración de $\text{Cr}^{+3}$ en el agua	El $\text{Cr}^{+3}$ es un elemento natural no muy toxico, se puede encontrar en rocas, animales, plantas y el suelo. Pero este elemento al convertir en el $\text{Cr}^{+6}$ si se somete a procesos de oxidación lo que causa efectos negativos en la salud humana.	Concentración del $\text{Cr}^{+3}$ en el agua (g/L, mg/mL (ppm))	Concentración de $\text{Cr}^{+3}$	mg/L $\text{Cr}^{+3}$	Espectroscopia de absorción atómica

Capacidad de adsorción	Es la cantidad de Cr <sup>+3</sup> que puede adsorber la biomasa antes de saturarse.	mg/L	Concentración de Cr <sup>+3</sup>	mg/L Cr <sup>+3</sup>	Espectroscopia de absorción atómica
Tiempo de contacto	Es el tiempo en el que el líquido permanece junto al medio filtrante.	Tiempo	Minutos	min	Cronometro
Tamaño de partícula del material adsorbente	Tamaño efectivo de partícula se define como la abertura de la malla por la cual pasa sólo el 10% (en peso) de una muestra representativa del material filtrante.	Tamaño de partícula	Tamaño de partícula	mm	Tamiz

Realizado por: Buñay N. 2022

### 3.3.4. Matriz de consistencia

**Tabla 2-3:** Matriz de consistencia

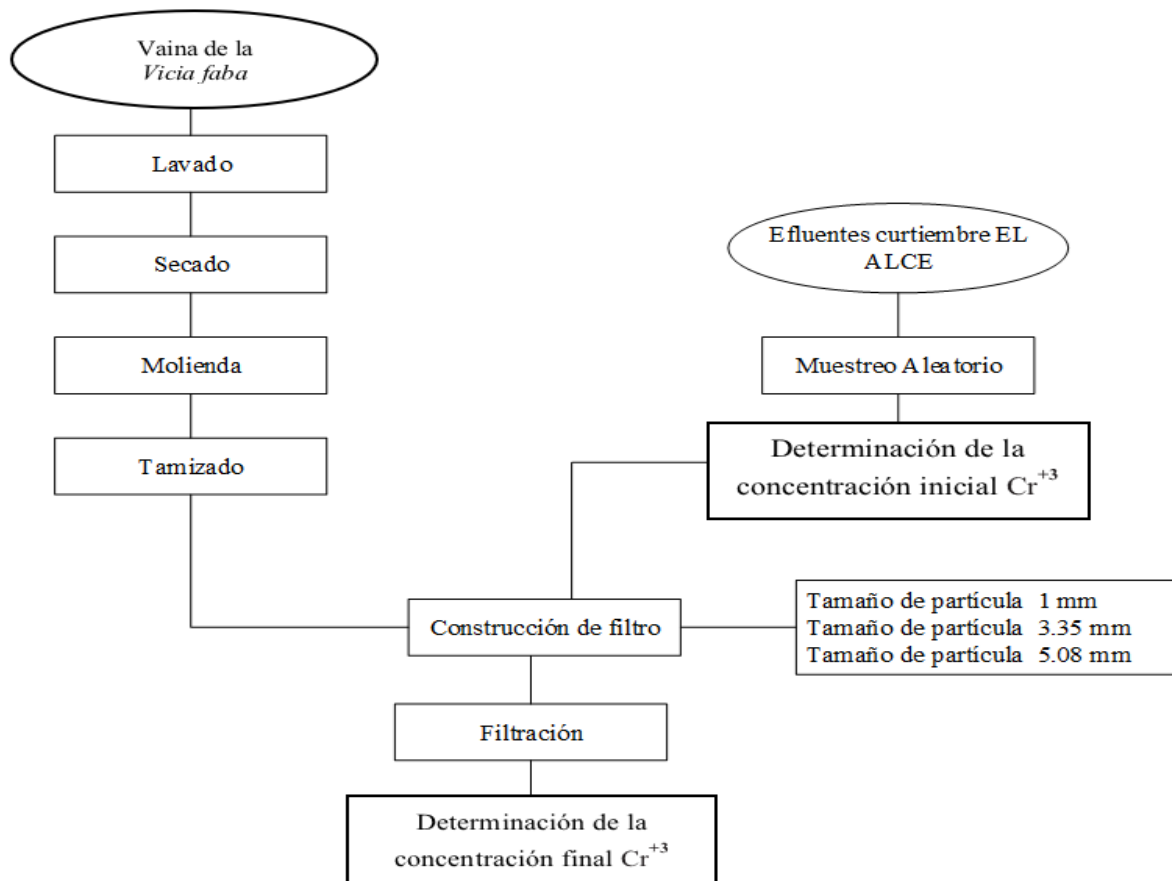
Formulación del problema		Objetivo General		Hipótesis General		
¿Cómo evaluar la adsorción de $\text{Cr}^{+3}$ de aguas residuales de la curtiembre “EL AL-CE” del cantón Guano mediante filtración con polvo de <i>Vicia faba</i> para reducir el nivel de contaminación?		Adsorción de $\text{Cr}^{+3}$ de aguas residuales de la curtiembre “EL AL-CE” del cantón Guano mediante filtración con polvo de <i>Vicia faba</i> para reducir el nivel de contaminación.		El polvo de la vaina de haba resultará un eficaz adsorbente para el $\text{Cr}^{+3}$ presente en el agua residual del proceso de curtiembre.		
Preguntas directas	Objetivo específico	Hipótesis específica	Variables	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
¿Cuáles son las condiciones en las que actualmente está descargando las aguas residuales provenientes del proceso de curtiembre de la	Diagnosticar las condiciones de funcionamiento actual de la curtiembre “EL AL-CE” mediante la caracterización de las aguas residuales del proceso.	La concentración de $\text{Cr}^{+3}$ del agua residual descargadas por parte de la curtiembre “EL AL-CE”, es susceptible de ser disminuida	Concentración del $\text{Cr}^{+3}$ en el agua	Concentración de $\text{Cr}^{+3}$	3500-Cr B	Espectrofotómetro UV- Visible

empresa “EL AL-CE”?						
¿Qué condiciones adecuadas influyen significativamente en el proceso de adsorción del Cr <sup>+3</sup> presente en aguas residuales de la curtiembre?	Determinar las condiciones adecuadas para la adsorción del Cr <sup>+3</sup> presente en aguas residuales de la curtiembre mediante estudios en columnas.	El polvo de la vaina de haba si determinará las condiciones adecuadas para la adsorción del Cr <sup>+3</sup> presente en aguas residuales.	Tiempo de contacto	Tiempo (min)	Cronometro	Cronometro
¿Cuál es el porcentaje máximo de la adsorción del Cr <sup>+3</sup> en medios acuosos mediando el polvo de la vaina seca de habas como material adsorbente?	Calcular el porcentaje máximo de la adsorción del Cr <sup>+3</sup> en medios acuosos mediando el polvo de la vaina de habas como agente adsorbente.	El polvo de la vaina de haba resultará un material óptimo para adsorción del Cr <sup>+3</sup> en medios acuosos.	Capacidad de adsorción	Capacidad máxima de adsorción	-	-

<p>¿Es posible validar el proceso de columnas de adsorción para disminuir los niveles de Cr<sup>+3</sup> de las aguas residuales de curtiembre?</p>	<p>Validar el experimento en calidad del procedimiento para disminuir los niveles de Cr<sup>+3</sup> de las aguas residuales de curtiembre.</p>	<p>El material adsorbente si disminuirá los niveles de Cr<sup>+3</sup> de las aguas residuales de curtiembre.</p>	<p>Tamaño de partícula del material adsorbente</p>	<p>Tamaño de partícula</p>	<p>.</p>	<p>Tamiz</p>
---	---	---	--	----------------------------	----------	--------------

Realizado por: Buñay N. 2022

### 3.4. Diseño de la investigación



**Figura 1-3:** Representación esquemática del diseño de la investigación

Realizado por: Buñay N. 2022

### 3.5. Población de estudio

Se realizaron 3 muestreos aleatorios mismos que fueron sometidos a análisis de laboratorio para determinar la cantidad de  $\text{Cr}^{+3}$  presente en cada muestra inicialmente, posterior a ello cada muestra fue filtrada 3 veces en cada uno de los filtros de lecho fijo que se elaboraron con diferentes tamaños de partícula del material filtrante de 1mm, 3.35mm y 5,08mm respectivamente, para posterior a ello determinar si los filtros habían adsorbido el  $\text{Cr}^{+3}$  e identificar cuál de ellos tuvo mayor rendimiento.

### 3.6. Unidad de análisis

Es la concentración de  $\text{Cr}^{+3}$  en mg/L presente en el agua residual.



### **3.7. Selección de la muestra**

Se tomaron 3 muestras de manera aleatoria de la descarga de efluentes, para cada una se aplicaron 4 pruebas la primera se realizó previo al proceso de filtración y las otras 3 pruebas al resultado obtenidos tras la filtración en los diferentes filtros, repitiendo el procedimiento para cada muestra.

### **3.8. Tamaño de la muestra**

La investigación se aplicará al 100% de la muestra.

### **3.9. Técnica de recolección de datos primarios y secundarios**

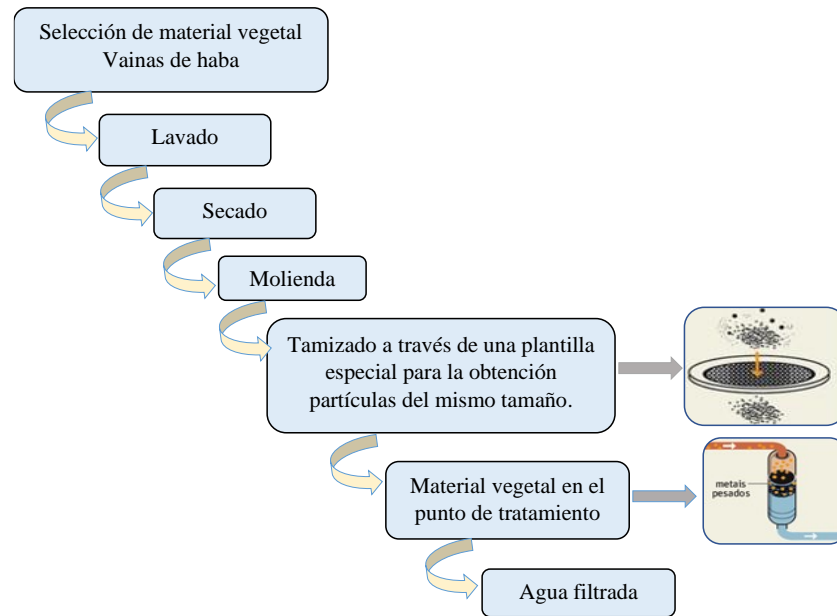
Los datos primarios son obtenidos mediante los ensayos experimentales

1. Las vainas de haba se recolectaron en el Barrio Armenia de la Parroquia Lican y en el mercado mayorista de la ciudad de Riobamba.
2. La vaina seca se trituró a 3 tamaños de partícula en milímetros, y la toma de muestra representativa se realizó mediante la técnica de cuarteo para su posterior utilización en el filtro.
3. Para el análisis inicial del agua residual de la Curtiembre, el muestreo se realizó de acuerdo la Norma Técnica Ecuatoriana 2169:2013 con un tipo de muestreo puntual, y la NTE 2176:2013 para agua industrial, donde se tomaron 3 muestras de agua de acuerdo con su circulación por las variaciones considerables a través del tiempo de  $Cr^{+3}$ . La concentración de  $Cr^{+3}$  inicial de las muestras de agua residual se determinó por el método de Oxidación de  $Cr^{+3}$  a  $Cr^{+6}$ .
4. La evaluación de la capacidad de remoción del  $Cr^{+3}$  será determinado en función de la diferencia entre la concentración de cromo inicial y la concentración de cromo después de ser sometido al medio filtrante.
5. Los datos adicionales que puedan ser requeridos se tomarán por medición directa, por el uso de dispositivos de medición apropiados.

### **3.10. Tratamiento y diseño experimental**

Para poder determinar si la aplicación del material filtrante utilizado en este trabajo investigativo es viable se necesita verificar el grado de adsorción de  $Cr^{+3}$  para lo cual se debe comparar el valor inicial con aquellos obtenidos tras los procesos de filtrado con los diferentes filtros.

En función a los valores obtenidos tras los análisis se plantea realizar un análisis de varianza para determinar si el tamaño de partícula del medio filtrante tiene una incidencia significativa en la obtención de los resultados.



**Figura 2-3:** Diseño experimental

Realizado por: Buñay N. 2022

### 3.10.1. Elaboración de los filtros

Para la elaboración de los filtros se utilizó el material filtrante (vaina de haba) en 3 diferentes tamaños.

La preparación del material filtrante consistió en secar las vainas de *Vicia faba* en un secador tipo estufa estufa a nivel de laboratorio Marca PRECISION Thelco Modelo 18 con una temperatura máxima de operación de 200 °C, equipo perteneciente al Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, como se observa en la Figura 4-3, el secado se realiza a 65°C durante un periodo de 46-48 horas para asegurar una completa evaporación del contenido de agua presente en las vainas de haba, una vez que se eliminó el contenido de agua de las vainas de *Vicia faba* se llevó a cabo la trituration proceso que puede verse en la Figura 5-3, mismo que se realizó en el laboratorio de procesos industriales.



**Figura 3-3:** Secado de las vainas de *Vicia faba*



**Figura 4-3:** Molienda y trituración de la vaina de *Vicia faba*

El tamizado es una técnica de separación de partículas que se fundamenta en su tamaño, el tamiz consta de una malla metálica constituida por barras tejidas y que dejan un espacio entre sí por donde se hace pasar el material previamente triturado. Las partículas de menor tamaño, o finos, pasan a través de las aberturas del tamiz, mientras que las de mayor tamaño o colas no pasan.

El material que se hace pasar a través de una serie de tamices de diferentes tamaños se separa en fracciones clasificadas por tamaños, es decir fracciones cuyas partículas se conocen por su tamaño máximo y mínimo. Bajo esta premisa para la ejecución del presente trabajo investigativo contamos con 3 tamaños de partícula de 1 mm, 3,35 mm y 5,08 mm respectivamente.



**Figura 5-3:** Tamizaje de la vaina de *Vicia faba triturada*

Una vez realizado el tamizado se construyó el filtro de lecho fijo de 22cm de altura con 8cm diámetro, en el fondo del filtro se colocó una malla plástica fina para impedir la obstrucción del orificio del agujero con las partículas dificultando la salida del agua filtrada, estos filtros constan de un lecho empacado que se conoce como material filtrante *Vicia faba*, en el filtro se colocó 56.69 gamos de vainas de haba y 600 mL de agua residual, estos filtros consiste en hacer pasar una corriente del efluente a tratar a través del lecho en donde los contaminantes son adsorbidos. En el caso de absorción física, se considera que la conexión física del adsorbato sobre el adsorbente tiene lugar de forma rápida. En la Figura 7-3 se muestra un esquema de los filtros de lecho fijo que se utilizaron.



Tamaño de  
partícula 1mm



Tamaño de partícula  
3,35mm



Tamaño de  
partícula 5,08mm

**Figura 6-3: Esquema de filtros de lecho fijo**

Realizado por: Buñay N. 2022

Una vez elaborados los filtros piloto de lecho fijo conforme a las especificaciones citadas en la Tabla 3-3, el agua filtrada que se obtuvo fue colocada en recipientes debidamente etiquetados para proceder con el análisis químico y determinar la nueva concentración de  $Cr^{+3}$  presente en el agua tratada a nivel de laboratorio.

**Tabla 3-3:** Diseño de muestras

Materiales	Muestra de Agua (3 muestreos aleatorios)	Obtenida en la descarga de efluentes
<b>El material filtrante a utilizar vaina de haba</b>		El efecto del tamaño de partícula del material filtrante: a) Sin filtrar A b) Tamaño 1 mm muestras tipo B c) Tamaño 3,35 mm muestras tipo C d) Tamaño 5,08 mm muestras tipo D
<i>Serie muestra</i>	<i>Tamaño de partícula del medio filtrante</i>	<i>Denominación de la muestra</i>
<b>Muestra 1</b>	Sin filtrar	M1-A
	Tamaño 1 mm	M1-B
	Tamaño 3,35 mm	M1-C
	Tamaño 5,08 mm	M1-D
<b>Muestra 2</b>	Sin filtrar	M2-A
	Tamaño 1 mm	M2-B
	Tamaño 3,35 mm	M2-C
	Tamaño 5,08 mm	M2-D
<b>Muestra 3</b>	Sin filtrar	M3-A
	Tamaño 1 mm	M3-B
	Tamaño 3,35 mm	M3-C
	Tamaño 5,08 mm	M3-D

**Realizado por:** Buñay N. 2022

Los filtros fueron construidos con un diámetro de 8 cm y una altura de 22 cm, el tiempo de residencia de la muestra fue determinado utilizando un cronometro a partir del cual se determinó el caudal.

### ***3.10.2. Método Normalizado para el Análisis de Aguas Potables y Residuales 3500-Cr, oxidación de Cr<sup>+3</sup> a Cr<sup>+6</sup>***

El Método de referencia aplicado en el presente trabajo investigativo es el detallado en la edición 22 de los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales 3500-Cr B (“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”. 22th Edition. USA, 3-67 y 3-68, Method 3500-Cr B., 2012), el procedimiento es aplicable a aguas naturales, residuales y tratadas. La medición de la absorción del complejo formado, pueden verse afectado por el color y la turbiedad. Esta última puede disminuirse con filtración y/o centrifugación previa. Para aquellas muestras con color, es preciso analizar un blanco de muestra leyendo la absorción de ésta a 540 nm sin adicionar los reactivos para el desarrollo del color. Para aguas residuales debe aplicarse filtración y corrección del color. La reacción con difenilcarbazida es casi específica para cromo. Las sales de molibdeno hexavalente y de mercurio reaccionan dando color con el reactivo, pero con intensidades mucho más bajas que para el cromo y son tolerables concentraciones hasta 200 mg/L. El vanadio sólo causa problemas a concentraciones 10 veces superiores a las del cromo. El hierro en concentraciones mayores de 1 mg/L puede producir coloración amarilla pero no causa inconvenientes si se lee a la longitud de onda adecuada. No obstante, ninguna de las sustancias antes mencionadas se halla habitualmente en nuestras aguas a niveles tales que pueda interferir en la determinación del cromo.

#### ***3.10.2.1. Recolección y preservación***

Las muestras pueden ser recogidas en frascos plásticos o de vidrio. En función de lo que se busca determinar.

#### ***3.10.2.2. Equipos y materiales***

- Espectrofotómetro ultravioleta-visible UV-VIS para trabajar a 540 nm con celdas de 5 cm de paso óptico.
- Vidriería: vasos de precipitados, agitadores de vidrio, volumétricos (la cual no debe lavarse con mezcla crómica).

#### ***3.10.2.3. Reactivos***

Para preparar los reactivos, patrones y muestras, se utilizará agua desionizada. Todos los reactivos son de grado analítico, excepto que se indique lo contrario.

Solución patrón de cromo hexavalente: utilizar solución trazable de 0.02 a 5 mg/L. De forma alternativa pesar 141.45 mg de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ), disolverlos y enrasar con agua en un matraz aforado de 100 mL, previa adición de  $HNO_3$  concentrado para ajustar el  $pH < 2$  (2-5 mL).

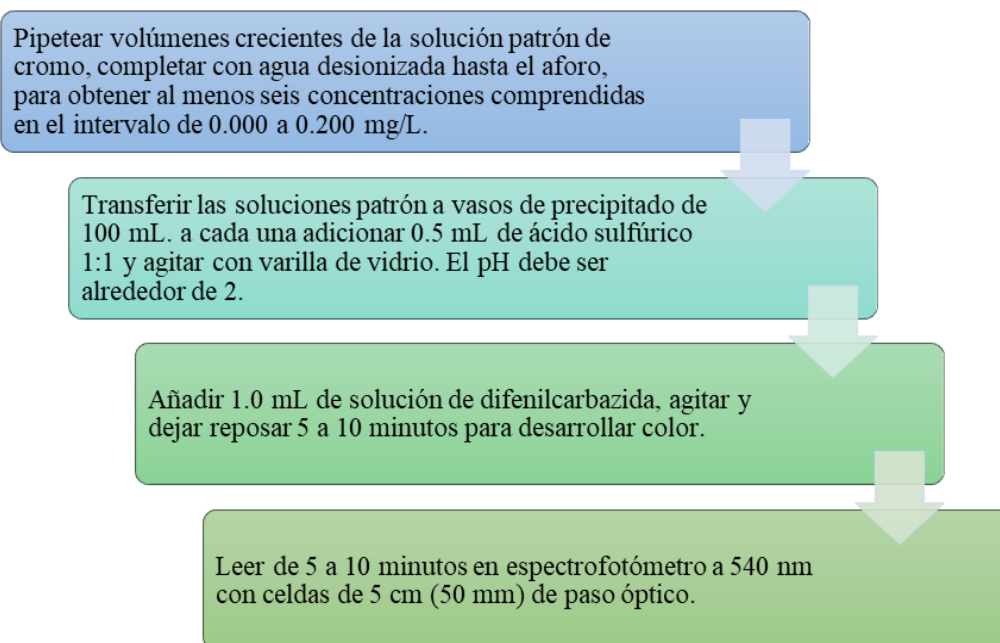
Solución de Difenilcarbazida al 0.5% (m/v): esta solución debe prepararse al momento de su uso, por lo cual se tendrá en cuenta el volumen necesario. Habitualmente 10 mL son suficientes, lo que implica pesar 50 mg de 1.5-difenilcarbazida (difenilcarbohidrazida<sup>1</sup>) y disolverlos en 10 mL de acetona.

Solución de ácido Sulfúrico 1:1 o de 50%: utilizar solución comercial o de forma alternativa, tomar 100 mL de ácido sulfúrico concentrado y llevarlo hasta 200 mL en balón aforado con agua.

#### 3.10.2.4. Procedimiento

Las condiciones ambientales no influyen para la realización de este ensayo.

##### A. Preparación de la curva de calibración para determinación de $Cr^{+6}$ :



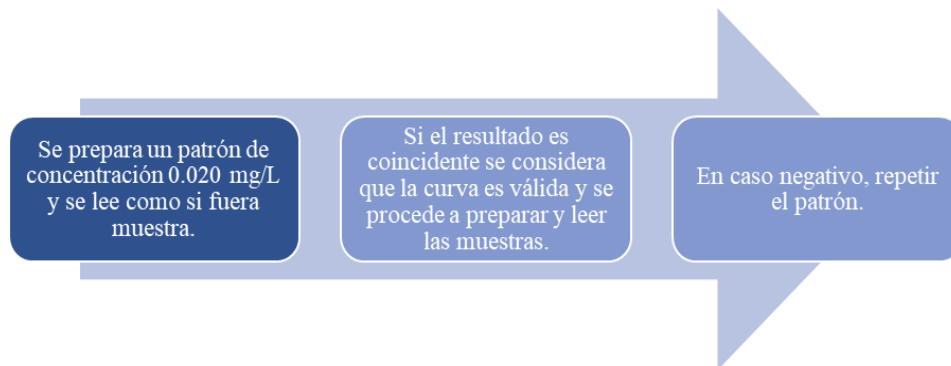
**Figura 7-3:** Preparación de la curva de calibración para determinación de  $Cr^{+6}$

**Realizado por:** Buñay N. 2022

**Fuente:** ("Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater").

<sup>1</sup> Indicador y acomplejante en la identificación de cromo hexavalente –  $Cr^{+6}$

B. Verificación de la curva de calibración:

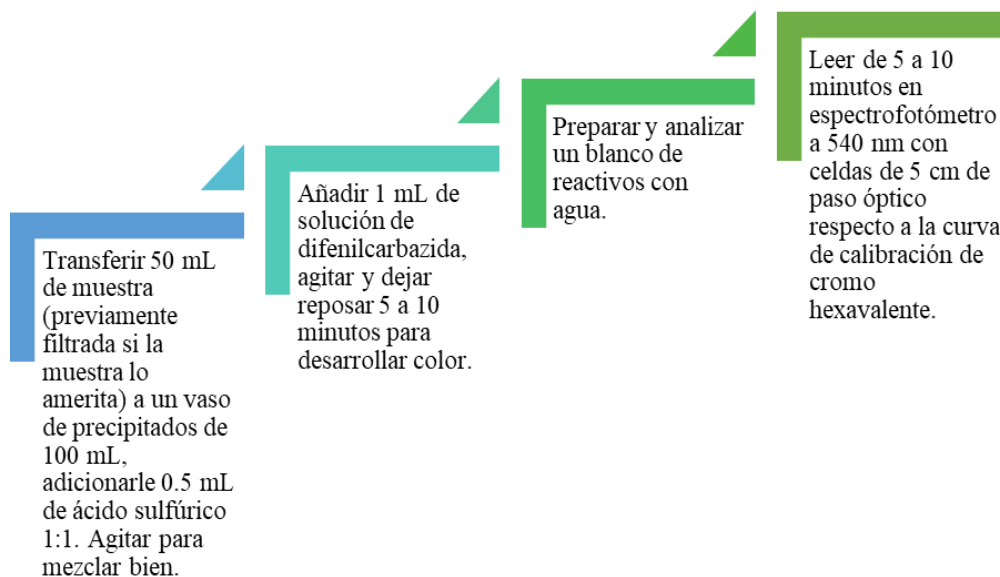


**Figura 8-3:** Verificación de la curva de calibración para determinación de Cr<sup>+6</sup>

**Realizado por:** Buñay N. 2022

**Fuente:** ("Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". 22th Edition.

C. Determinación de cromo hexavalente en muestras:



**Figura 9-3:** Determinación de cromo hexavalente en muestras objeto de estudio

**Realizado por:** Buñay 2022

**Fuente:** ("Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater".



## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizó el agua residual procedente de la curtiembre “EL-ALCE”, el muestreo se realizó antes del tratamiento que se realiza para su disposición final, para el desarrollo del presente trabajo se tomaron tres muestras, en el primer análisis se obtuvo una concentración inicial de 133 mg/L de  $\text{Cr}^{+3}$ , en el segundo análisis se obtuvo 130 mg/L y en la tercera muestra se tuvo una concentración de 120,1 mg/L de  $\text{Cr}^{+3}$ .

Es necesario indicar que la curtiembre “EL-ALCE” cumple con el Anexo 1 del libro VI de la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua, ya que se realiza un tratamiento previo a la descarga de efluentes al alcantarillado. La norma indica que los efluentes que van a la alcantarilla tienen como límite máximo permisible 0,5 mg/L de  $\text{Cr}^{+6}$ . El muestreo que se realizó para llevar a cabo este trabajo de investigación se lo hizo aguas arriba de la planta de tratamiento.

Las vainas del haba fueron acondicionadas con la finalidad de reducir su tamaño para de esta manera hacer crecer los poros de su estructura y que pudieran ser utilizadas como bioadsorbente.

Se realizó la caracterización del agua residual proveniente de la curtiembre “EL-ALCE” de acuerdo a los resultados obtenidos y que pueden revisarse en el anexo A se tiene:

- **PH:** Según los resultados del análisis físico – químico obtenido en este parámetro tiene un valor de 7,13 lo que significa que está dentro de los límites permisible que de acuerdo al TULSMA: Libro VI Anexo 1, está entre 5 a 9 Uph para descargas de efluentes al sistema de alcantarillado público, indicando que el agua es básica o alcalina y no puede haber vida acuática en ella; entonces este parámetro contribuye con la contaminación de medio ambiente.
- **Color:** Según los resultados obtenidos en el análisis del efluente se observa que es de 9500 Unid. Pt-Co, el límite permisible de este parámetro no se encuentra en TULSMA: Libro VI Anexo 1; este es un parámetro físico y no existe relación directa con el grado de contaminación, muestra la presencia de sustancias suspendidas y es de aspecto desagradable.
- **Aceites y grasa:** Los resultados derivados del análisis físico – químico muestran un valor de 419 mg/l, por lo que se encuentra por encima del límite permisible para descargas de

efluentes al sistema de alcantarillado público que es de 100 mg/l (TULSMA: Libro VI Anexo 1 Tabla 11).

- **Cromo VI:** Conforme a los resultados obtenidos en el análisis físico - químico del efluente establece que es de 27 mg/l, valor que se encuentra por encima del límite permisible para descargas de efluentes al sistema de alcantarillado público que es de 0,5 mg/l (TULSMA: Libro VI Anexo 1 Tabla 11).
- **Nitratos:** En función al análisis físico – químico realizado el valor para nitrato es de 4,3 mg/l, estos son compuestos solubles y estables siendo la forma más oxidada del nitrógeno, existe presencia por que los cueros contienen estiércol y por descomposición de materia animal que al mezclar con agua da paso a la obtención de nitrato y en altas concentraciones llega a ser potencialmente peligroso para el consumo humano.
- **Sulfatos:** Mediante el análisis del efluente se puede establecer que el valor de este parámetro es de 10800 g/l, encontrándose muy elevado del límite permisible de acuerdo con el valor establecido en TULSMA que indica que el límite permisible es de 400 mg/l; lo que convierte al agua en un medio corrosivo.
- **Sulfuros:** A través del análisis realizado del efluente se establece que el valor del sulfuro es de 12 mg/l, que se encuentra por encima del valor límite permitido para descargas de efluentes al sistema de alcantarillado el límite máximo permisible es de 1 mg/l.
- **Cromo total:** tras realizar el análisis físico – químico se puede determinó que el valor de este parámetro es de 88 mg/l, el límite permisible de este parámetro no se encuentra en TULSMA.
- **Sólidos suspendidos:** se determinó el valor de 341 mg/l encontrándose fuera del límite permisible de acuerdo a lo que establece el TULSMA que indica un valor de 220 mg/l, estos sólidos se encuentra en fase sólida en el agua en forma de partículas sumamente fina de material orgánico e inorgánico pudiendo ser retenidos por filtros y causando turbidez al agua.
- **Carbonatos:** Según los resultados del análisis realizado se obtiene un valor de 0 mg/L  $\text{CO}_3$  límite permisible para este parámetro en descargas al sistema de alcantarillado de acuerdo con TULSMA es de 0,1 mg/ $\text{CO}_3$ ;

#### 4.1. Análisis de los resultados

Una vez realizados los tres filtros con el material bioadsorbente con tamaños de partícula 1mm, 3.35 mm y 5.08 mm respectivamente se procedió a filtrar las muestras de agua obtenidas en el

punto de descarga de los efluentes de la curtiembre “EL-ALCE”, posterior a ellos se realizaron los correspondientes análisis químicos para determinar la cantidad de  $Cr^{+3}$  presente en el agua tras su tratamiento de esta manera poder comparar con el contenido de  $Cr^{+3}$  presente en el agua sin tratar. Se realizan 3 muestreos aleatorios, de cada muestra tomada se realiza 4 pruebas la primera se realizó a la muestra antes de la filtración y las otras 3 pruebas corresponderán al resultado obtenidos tras la filtración en los diferentes filtros, para corroborar los resultados obtenidos las muestras correspondientes a la serie S3 fueron enviadas al laboratorios de “*Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos*” de la ciudad de Riobamba, en el cual mediante Métodos Normalizados APHA, AWWA, WPCF por oxidación de  $Cr^{+3}$  a  $Cr^{+6}$  3500-Cr-B, se determinó la cantidad de  $Cr^{+3}$  presente en las muestras tratadas y sin tratar respectivamente.

**Tabla 1-4: Condiciones de filtración – experimento 1**

<i>Muestra</i>	<i>Flujo <math>V_T</math> de la muestra en litros -tiempo de residencia en min (L/min)</i>	<i>Tiempo total de Residencia (min)</i>	<i>Radio del filtro (cm)</i>	<i>Altura total de lecho (cm)</i>	<i>Vol. Total de muestra filtrada (L)</i>
<b>M1-B</b>	0,041	12,2	4	11	0,5
<b>M1-C</b>	0,041	12,3	4	11	0,5
<b>M1-D</b>	0,041	12,2	4	11	0,5
<b>M2-B</b>	0,054	9,3	4	11	0,5
<b>M2-C</b>	0,053	9,35	4	11	0,5
<b>M2-D</b>	0,054	9,26	4	11	0,5
<b>M3-B</b>	0,063	8,0	4	11	0,5
<b>M3-C</b>	0,068	7,4	4	11	0,5
<b>M3-D</b>	0,062	8,1	4	11	0,5

**Realizado por:** Buñay N. 2022

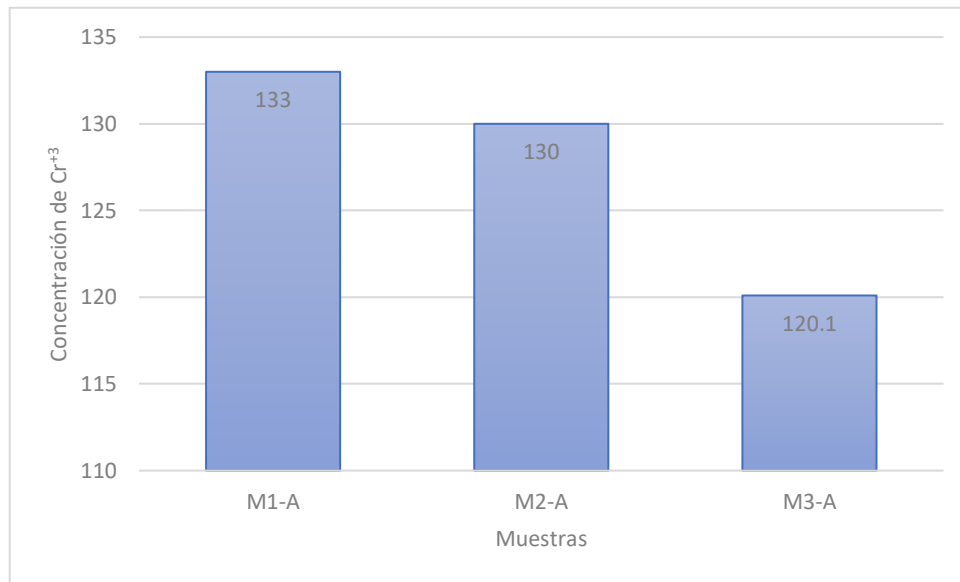
En la tabla anterior se describe los parámetros bajo los cuales se realizó el proceso de filtrado, en el cual el tiempo de residencia fue determinado con un cronómetro desde que se colocó la muestra en el filtro de lecho fijo empaquetado con vaina de haba, su paso por el medio filtrante hasta que el volumen total que se vertió fue recogido.

**Tabla 2-4:** Análisis químico – determinación de  $\text{Cr}^{+3}$  en las muestras de estudio, experimento 1

	<i>M1</i> $\text{Cr}^{+3}$ (mg/L)	<i>M2</i> $\text{Cr}^{+3}$ (mg/L)	<i>M3</i> $\text{Cr}^{+3}$ (mg/L)
A	133	130	120,1
B	44	42	38
C	52	46	40,5
D	56	50	44,3

Realizado por: Buñay N. 2022

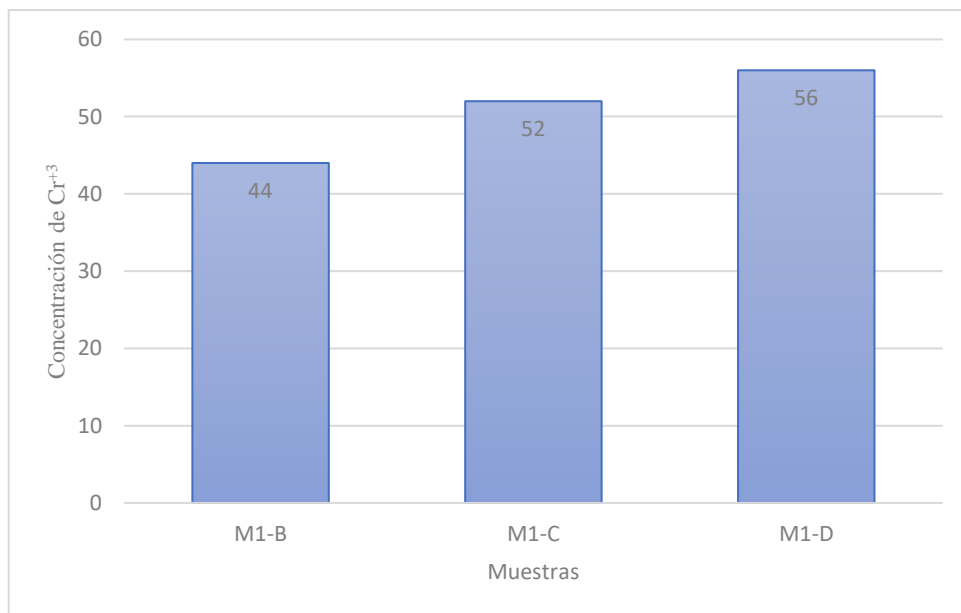
\* A: Sin filtrar; B: Tamaño 1 mm; C: Tamaño 3,35 mm; D: Tamaño 5,08 mm



**Gráfica 1-4:** Concentración inicial de  $\text{Cr}^{+3}$  de las muestras M1, M2 y M3 sin filtrar

Realizado por: Buñay N. 2022

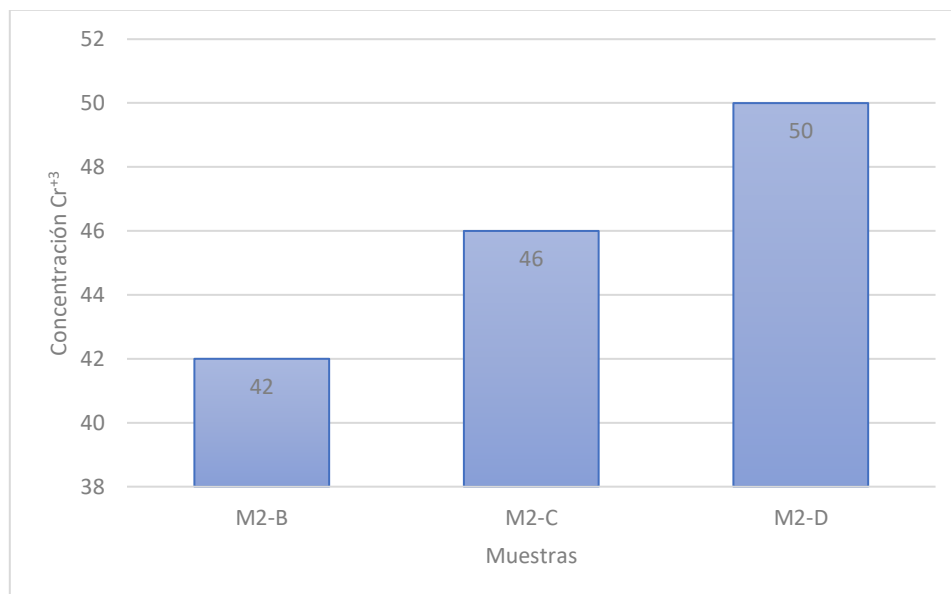
La muestra de la serie M3 se enviaron al laboratorio “*Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos*” para validar los resultados obtenidos en las muestras de las series M1 y M2 respectivamente. A continuación, en la gráfica 2-4 se recogen los resultados obtenidos tras realizar la determinación de contenido de  $\text{Cr}^{+3}$  en la muestra M1 utilizando los diferentes filtros respectivamente.



**Gráfica 2-4:** Concentración final de Cr<sup>+3</sup> en la M1.

**Realizado por:** Buñay N. 2022 porcentaje

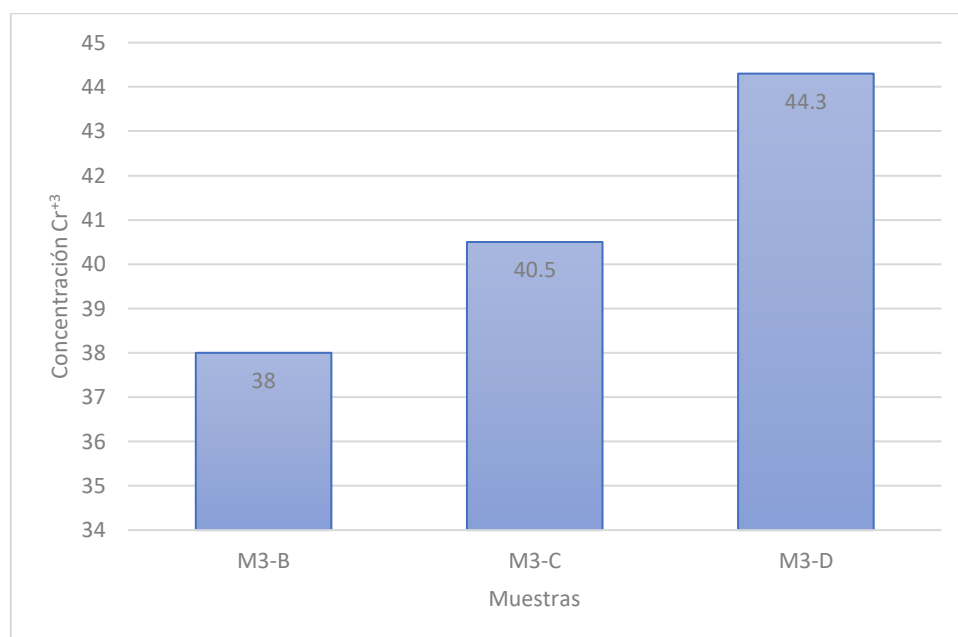
La muestra M2 fue filtrada utilizando filtros con tamaños de partícula de 1mm, 3.35 mm y 5.08 mm respectivamente en la Grafica 2-4 se puede observar los resultados que se obtuvieron para cada uno.



**Gráfica 3-4:** Concentración final de Cr<sup>+3</sup> en la M2.

**Realizado por:** Buñay N. 2022

Con la muestra M3 se procedió de la misma forma que en los casos anteriores, los resultados obtenidos para la concentración final de  $\text{Cr}^{+3}$  se muestran en la Gráfica 4-4.



**Gráfica 4-4:** Concentración final de  $\text{Cr}^{+3}$  en la M3.

**Realizado por:** Buñay N. 2022

Conforme a los resultados obtenidos podemos afirmar que mientras más pequeño es el tamaño de la partícula del biomaterial adsorbente mayor es la cantidad de  $\text{Cr}^{+3}$  retirado del agua residual objeto de estudio, si nos fijamos en la gráfica se identifica claramente dicho patrón a medida que aumenta el tamaño de partícula aumenta también la cantidad de  $\text{Cr}^{+3}$  en el agua, lo que supone que la eficiencia de nuestro material filtrante está dada por el tamaño de partícula del mismo en el lecho de filtración.

Sin embargo, los resultados obtenidos no son los deseados razón por la cual se repitió el proceso experimental modificando las condiciones de filtrado, para lo cual se estableció aumentar el tiempo de residencia de la muestra en el filtro de lecho fijo, el tiempo se fijó en 30 minutos para todas las muestras, además se duplicó el radio y la altura del lecho, en la Tabla 3-4 se especifican las condiciones con las que se trabajaron.

**Tabla 3-4: Condiciones de filtración – experimento 2**

Muestra	Flujo VT de la muestra en litros -tiempo de residencia en min (L/min)	Tiempo total de Residencia (min)	Radio del filtro (cm)	Altura total de lecho (cm)	Vol. Total de muestra filtrada (L)
M1-B	0,017	30	8	22	0,5
M1-C	0,017	30	8	22	0,5
M1-D	0,017	30	8	22	0,5
M2-B	0,017	30	8	22	0,5
M2-C	0,017	30	8	22	0,5
M2-D	0,017	30	8	22	0,5
M3-B	0,017	30	8	22	0,5
M3-C	0,017	30	8	22	0,5
M3-D	0,017	30	8	22	0,5

Realizado por: Buñay N. 2022

En la Tabla 4-4, se pueden ver los resultados obtenidos tras realizar el análisis químico de determinación de  $Cr^{+3}$ , después de modificar la variable tiempo, así como las dimensiones de los filtros. De acuerdo a los resultados obtenidos podemos claramente determinar que la adsorción del metal se da en aproximadamente en un 99%.

**Tabla 4-4: Análisis químico – determinación de  $Cr^{+3}$  en las muestras de estudio, experimento 2**

	M1 $Cr^{+3}$ (mg/L)	M2 $Cr^{+3}$ (mg/L)	M3 $Cr^{+3}$ (mg/L)
A	133	130	120,1
B	1,85	1,82	1,67
C	1,79	1,75	1,62
D	1,3	1,27	1,17

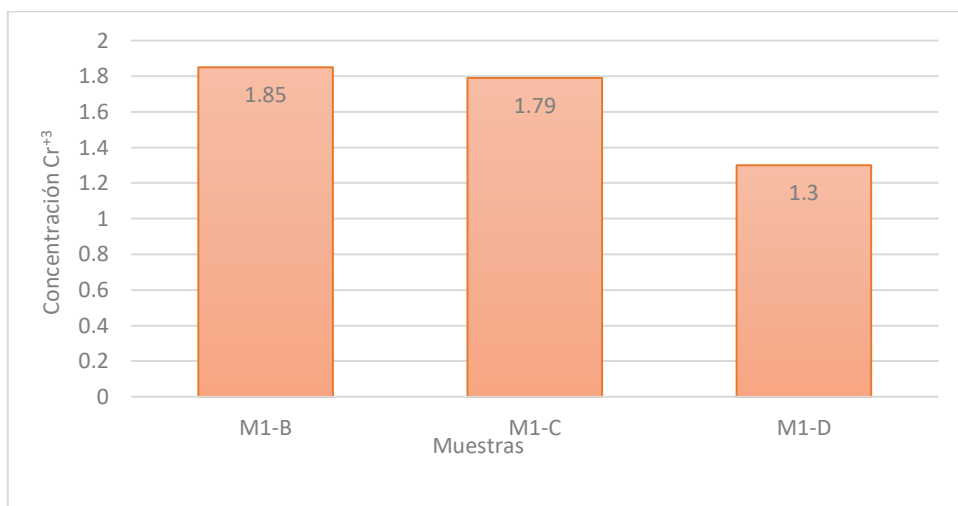
Realizado por: Buñay N. 2022

\* A: Sin filtrar; B: Tamaño 1 mm; C: Tamaño 3,35 mm; D: Tamaño 5,08 mm

Claramente se puede observar que el uso de *vicia faba* como adsorbente permite reducir drásticamente el contenido de  $Cr^{+3}$  en el agua residual de la curtiembre “EL – ALCE”.

En la repetición del experimento en la cual se aumentó el tiempo de contacto, así como la cantidad de material filtrante se tiene un mejor resultado, esto se establece en función a los

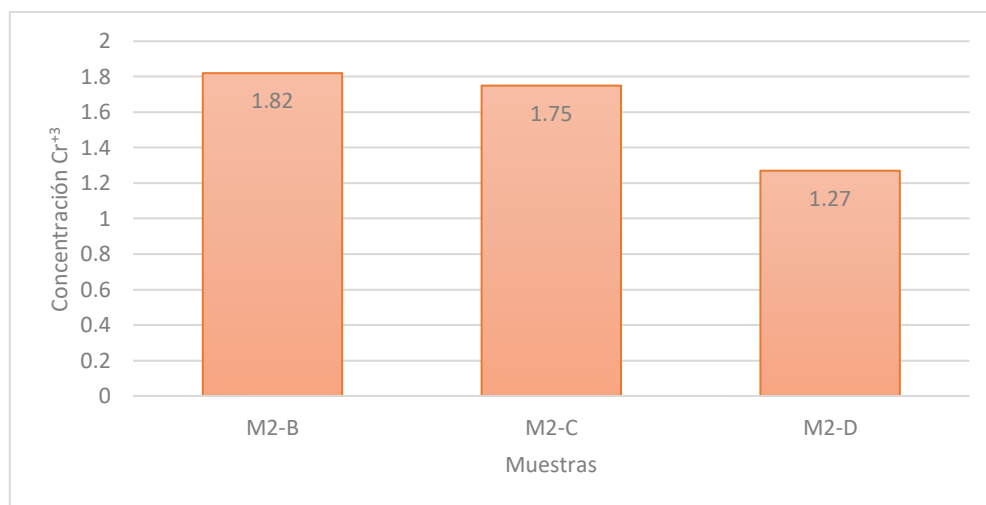
valores obtenidos como resultado de los análisis físico – químicos practicados a las muestras de agua, después de ser sometidas al proceso de filtración.



**Gráfica 5-4:** Concentración final de Cr<sup>3+</sup> en la M1 – experimento 2

**Realizado por:** Buñay N. 2022

En la Gráfica 5-4 podemos ver los resultados obtenidos tras la filtración de la muestra M1 cuya concentración inicial de Cr<sup>3+</sup> es de 133 mg/L, tras el proceso de filtración podemos ver que la remoción del metal es considerable.

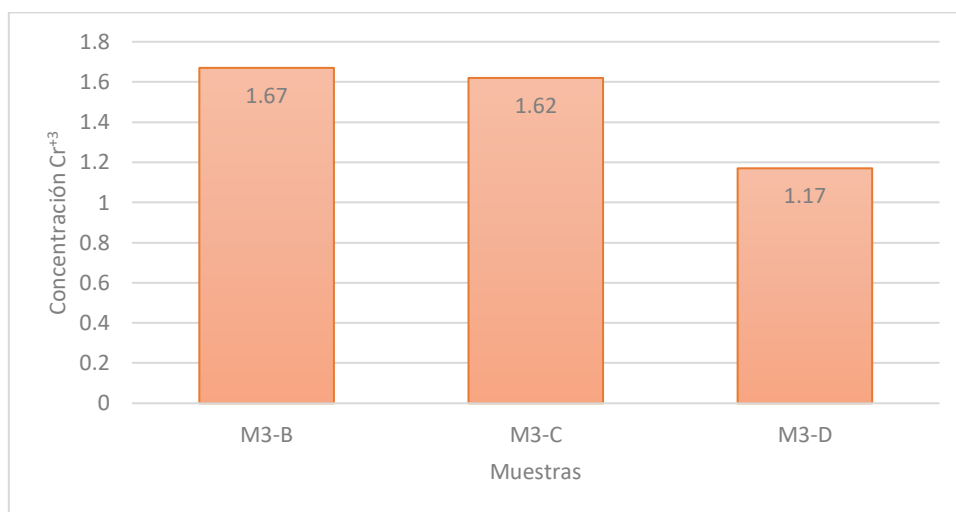


**Gráfica 6-4:** Concentración final de Cr<sup>3+</sup> en la M2 – experimento 2

**Realizado por:** Buñay N. 2022



De igual manera la Gráfica 6-4 muestra los resultados conseguidos después de realizar la filtración de la muestra M2 cuya concentración inicial de  $\text{Cr}^{+3}$  es de 130 mg/L, los resultados obtenidos demuestran que como en el caso anterior se logra una buena remoción del metal presente en los efluentes de la curtiembre “EL-ALCE”.



**Gráfica 7-4:** Concentración final de  $\text{Cr}^{+3}$  en la M3 – experimento 2

**Realizado por:** Buñay N. 2022

En la Grafica 7-4 se exponen los resultados obtenidos una vez filtrada la muestra M3, lo cual permite verificar que tras el proceso de filtración la concentración final de  $\text{Cr}^{+3}$  es bastante baja en comparación con el valor de la concentración inicial de dicha muestra lo cual supone una buena remoción del metal.

#### ***4.1.1. Validación del experimento en calidad de procedimiento para disminuir los niveles de $\text{Cr}^{+3}$ de las aguas residuales de la curtiembre***

Para la validación del experimento en calidad de procedimiento para la disminución de los niveles de  $\text{Cr}^{+3}$  se aplicó el análisis de varianza ANOVA para determinar si existe una diferencia significativa entre las medias de los resultados obtenidos en función de la concentración final de  $\text{Cr}^{+3}$  en las muestras objeto de estudio.

- Hipótesis nula: El método es repetible
- Hipótesis alterna: El método no es repetible
- Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

**Tabla 5-4:** Obtención de valores para análisis de varianza experimento 1

	<i>Determinación de Cr<sup>+3</sup> (mg/L)</i>			
	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>	
Filtro 1 mm	68.4	69.1	71.4	
Filtro 3.35 mm	66.3	67.7	69.5	
Filtro 5.08 mm	63.1	63.9	66.5	Suma totales
<i>PROMEDIO</i>	<i>65.9</i>	<i>66.9</i>	<i>69.1</i>	<i>202.0</i>
$T_c$	<i>197.8</i>	<i>200.7</i>	<i>207.4</i>	<i>605.9</i>
$n_c$	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>9</i>
$\sum x^2$	<i>13055.9</i>	<i>13441.3</i>	<i>14350.5</i>	<i>40847.6</i>
$T_c^2/n_c$	<i>13041.6</i>	<i>13426.8</i>	<i>14338.3</i>	<i>40806.7</i>

Realizado por: Buñay N. 2022

Suma de cuadrados entre grupos

$$SST = \sum (T_c^2/n_c) - \frac{(\sum X)^2}{2}$$

$$SST = 16.2$$

Suma de cuadrados dentro de grupos

$$SSE = \sum X^2 - \sum (T_c^2/n_c)$$

$$SSE = 40.9$$

Grados de libertad entre grupos

$$K - 1$$

$$3 - 1$$

$$2$$

Grados de libertad dentro de grupos

$$N - K$$

$$9 - 3$$

$$6$$

**Tabla 6-4:** Análisis de varianza

<i>FUENTE DE VARIACION</i>	<i>SUMA DE CUADRADOS</i>	<i>GRADOS DE LIBERTAD</i>	<i>CUADRADOS MEDIOS</i>
Entre grupos	16.2	2	8.1
En los grupos	40.9	6	6.8
<b>F</b>			1.18

Realizado por: Buñay N. 2022

- El valor  $F = 1,18$  es la función de prueba
- Grados de libertad = 2 en el numerador y 6 en el denominador
- El valor  $F_{\left(\frac{5}{12}\right)} = 5,14$  es el valor crítico de la función

**Tabla 7-4:** Obtención de valores para análisis de varianza experimento 2

	<i>Determinación de Cr+3</i>			
	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>	
Filtro 1 mm	98.6	98.6	98.7	
Filtro 3.35 mm	98.7	98.7	98.8	
Filtro 5.08 mm	99	99	99.1	Suma totales
<i>PROMEDIO</i>	98.8	98.8	98.9	296.4
$T_c$	296.3	296.3	296.6	889.2
$n_c$	3	3	3	9
$\sum x^2$	29264.7	29264.7	29323.9	87853.2
$T_c^2/n_c$	29264.6	29264.6	29323.9	87853.0

Suma de cuadrados entre grupos

$$SST = \sum (T_c^2/n_c) - \frac{(\sum X)^2}{2}$$

$$SST = 0.0$$

Suma de cuadrados dentro de grupos

$$SSE = \sum X^2 - \sum (T_c^2/n_c)$$

$$SSE = 0.3$$

Grados de libertad entre grupos

$$K - 1$$

$$3 - 1$$

$$2$$

Grados de libertad dentro de grupos

$$N - K$$

$$9 - 3$$

$$6$$

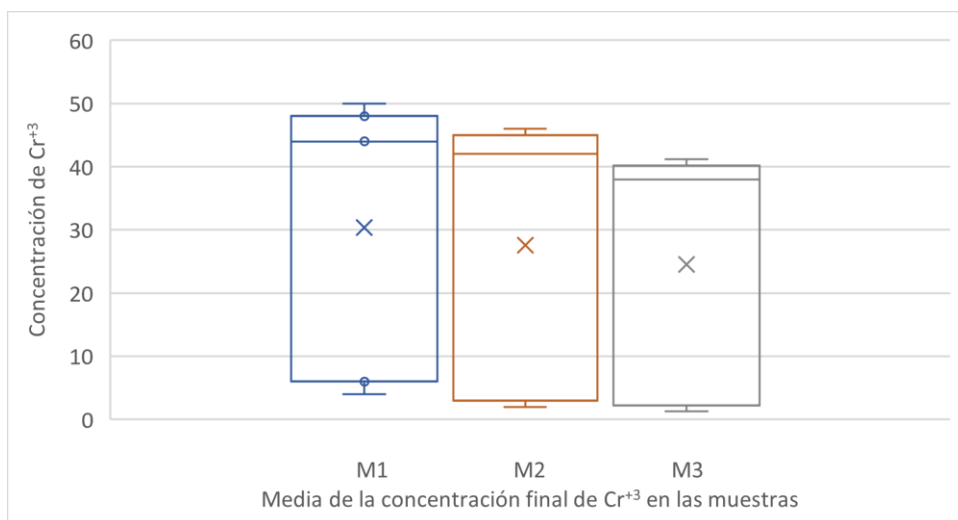
**Tabla 8-4:** Análisis de varianza experimento 2

<i>FUENTE DE VARIACION</i>	<i>SUMA DE CUADRADOS</i>	<i>GRADOS DE LIBERTAD</i>	<i>CUADRADOS MEDIOS</i>
Entre grupos	0.0	2	0.0
En los grupos	0.3	6	0.0
		<i>F</i>	0.23

**Realizado por:** Buñay N. 2022

- El valor  $F = 0,23$  es la función de prueba
- Grados de libertad = 2 en el numerador y 6 en el denominador
- El valor  $F_{\left(\frac{5}{12}\right)} = 5,14$  es el valor crítico de la función

De conformidad con los resultados obtenidos tras aplicar el análisis de varianza ANOVA podemos establecer que el valor de la función de prueba es menor que el valor crítico de la función de tal modo aceptamos la hipótesis nula que indica que todas las medias de los resultados obtenidos en los análisis químicos practicados a las muestras en estudio no presenta diferencias significativas, lo que significa que ninguna de las variables tiene relación con la variable regresora. Por tanto, podemos afirmar que el método es repetible.



**Gráfica 8-4:** Gráfica de cajas y bigotes media de la concentración final de  $\text{Cr}^{+3}$  en las muestras objeto de estudio

**Realizado por:** Buñay N. 2022

En función de la gráfica obtenida para el intervalo de confianza de 95% se puede indicar que no existe una diferencia estadística significativa entre muestras, lo que supone que la aplicación de la vaina de *Vicia faba* para retirar  $\text{Cr}^{+3}$  de aguas residuales es favorable en cualquiera de los tamaños de partícula aplicados y el proceso experimental es repetible.

## 4.2. Comprobación de Hipótesis

### 4.2.1. Hipótesis General

De conformidad con los resultados obtenidos tras realizar los análisis químicos a las diferentes muestras de agua puedo argumentar que el polvo de la vaina de haba resulta un eficaz adsorbente para el  $\text{Cr}^{+3}$  presente en el agua residual del proceso de curtiembre “EL AL-CE”.

### 4.2.2. Hipótesis Específicas

- Una vez realizado el análisis a las muestras previamente filtradas utilizando la vaina de la *vicia faba* podemos aseverar que la concentración de  $\text{Cr}^{+3}$  del agua residual descargadas por parte de la curtiembre “EL AL-CE”, es susceptible de ser disminuida, esto se verifica al comparar los valores de la concentración inicial en las diferentes muestras con los valores de la concentración final de  $\text{Cr}^{+3}$  tras realizar el filtrado de dichas muestras utilizando los filtros de lecho fijo con material filtrante de 1 mm, 3.35mm y 5.08 mm respectivamente.
- Tras realizar pruebas de filtrado con 3 tamaños de partícula 1 mm, 3.35 mm y 5.08 mm

respectivamente podemos corroborar que la utilización de la vaina de haba como medio filtrante en un filtro de lecho fijo determina las condiciones adecuadas para la adsorción del  $\text{Cr}^{+3}$  presente en las aguas residuales provenientes de la curtiembre EL - ALCE.

- Al realizar una comparación entre los resultados obtenidos tras el análisis químico de determinación de la concentración de  $\text{Cr}^{+3}$  tanto en la muestra inicial como en las muestras finales obtenidas después de realizar el proceso de filtrado utilizando la vaina de haba en 3 tamaños de partícula 1 mm, 3.35 mm y 5.08 mm correspondientemente podemos verificar que el polvo de la vicia faba resulta un material óptimo para adsorción del  $\text{Cr}^{+3}$  en medios acuosos.
- De conformidad con los resultados de los análisis químicos es necesario precisar que el material adsorbente disminuye la concentración de  $\text{Cr}^{+3}$  de las aguas residuales provenientes de la curtiembre EL - ALCE.

#### **4.3. Discusión de resultados**

Si bien es cierto el  $\text{Cr}^{+3}$  no es considerado tóxico por tal razón el “ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA” no especifica un límite permisible para dicho elemento en efluentes, sin embargo, conforme a los resultados obtenidos tras el trabajo de investigación desarrollado podemos afirmar que la aplicación de la vaina de *Vicia faba* como material adsorbente para reducir el contenido de  $\text{Cr}^{+3}$  en aguas residuales provenientes de la curtiembre “EL AL-CE”, ha permitido lograr el objetivo planteado como tema de estudio.

Para desarrollar el presente trabajo de titulación utilizamos tres tamaños diferentes de partícula de la vaina de *Vicia faba* para determinar cuál de ellas presenta un mejor rendimiento pudiendo establecer que al utilizar el filtro con material filtrante cuyo tamaño de partícula es de 5.08 mm presenta mayor capacidad de adsorción respecto de los filtros en los que el tamaño de partícula es de 1 mm y 3.35 mm respectivamente, aunque la brecha entre la cantidad adsorbida en cada uno de los filtros no es grande si hay una diferencia que permite pensar que mientras más pequeña es la partícula los resultados obtenidos serán mucho más satisfactorios.

Rosas (2019) en su trabajo “Caracterización y remoción de Cromo (III) de aguas residuales de curtiembres del parque industrial de río seco utilizando hueso de olivo (olea europea) procesado como biosorbente” determina una remoción máxima de 67.84 de Cromo (III), obtenido con un

tamaño de partícula de 250  $\mu\text{m}$  y con una concentración de biosorbente de 20 g/L esto fue comparado con una solución sintética bajo las mismas condiciones de concentración y tamaño de partícula, cuyo valor máximo de remoción fue de 66.82% .

Hashem et al., (2020) en su investigación sobre la adsorción con el biocarbón de jacinto de agua para la adsorción de cromo trivalente de aguas residuales de curtidería indica que la capacidad máxima de adsorción de iones de cromo en biocarbón fue del 99 % en el proceso de tratamiento por lotes.

Hemalatha et al., (2020) estudiaron la adsorción de zinc y cromo de aguas residuales industriales utilizando el pecíolo, hojas y polvo de raíz del jacinto. Para el presente estudio se realizó sobre la remediación de iones metálicos de zinc y cromo de aguas residuales de la industria de galvanoplastia utilizando biomasa seca de macrófito acuático – jacinto de agua. Para lo cual se realizaron estudios de adsorción por lotes seguidos de columna, el biosorbente preparado a partir de la raíz mostró una eliminación máxima de zinc (Zn) del 98,9 % y el tallo mostró una eliminación de cromo (Cr) del 96,4% respectivamente.

Cárdenas y Ortega (2015) en su trabajo se investigó la dinámica de adsorción de Cr (VI) de soluciones acuosas en columna de lecho fijo utilizando aserrín y su carbón activo como adsorbente con la finalidad de evaluar la eficiencia máxima de remoción y como resultado final se obtuvo una eficiencia de remoción de 95 % de Cr (VI).

López (2020) en su trabajo de investigación fue remover el cromo hexavalente de aguas contaminadas utilizando cáscara de plátano como adsorbente con un tamaño de partícula de aproximadamente 600  $\mu\text{m}$ . Los resultados obtenidos muestran que al aumentar el pH disminuye el porcentaje de remoción y la capacidad de adsorción, no obstante, a pH 3 y 3,5 la biomasa remueve más del 92% de cromo hexavalente y al aumentar la concentración aumenta la capacidad de adsorción de la cáscara de plátano. Por lo tanto, la cáscara de plátano tiene gran potencial como adsorbente para la remoción de cromo hexavalente en aguas.

En base a los resultados obtenidos y los varios trabajos de investigación que se han realizado entorno a la biomasa y su utilización en la remoción de cromo y otros metales pesados presentes en aguas residuales industriales podemos afirmar que su aplicación es una excelente alternativa no solo por el rendimiento que su empleo supone, sino también por su bajo costo y la facilidad con la cual se puede obtener este material.

Tras realizar el cálculo de la capacidad de adsorción de las vainas de *Vicia faba* como material adsorbente se puede decir que las vainas de haba tienen la capacidad de adsorción del  $Cr^{3+}$  de las aguas residuales con los tres tamaños de partícula de 1mm, 3.35mm y 5.08 mm, así como indica en la tabla 7-4.

**Tabla 9-4:** Cuadro comparativo del % de adsorción

Experimento 1				Experimento 2			
	<i>M1</i> <i>Cr<sup>3+</sup> (mg/L)</i>	<i>M2</i> <i>Cr<sup>3+</sup> (mg/L)</i>	<i>M3</i> <i>Cr<sup>3+</sup> (mg/L)</i>		<i>M1</i> <i>Cr<sup>3+</sup> (mg/L)</i>	<i>M2</i> <i>Cr<sup>3+</sup> (mg/L)</i>	<i>M3</i> <i>Cr<sup>3+</sup> (mg/L)</i>
1mm	68.4	69.1	71.4	1mm	98.6	98.6	98.7
3.35mm	66.3	67.7	69.5	3.35mm	98.7	98.7	98.8
5.08mm	63.1	63.9	66.5	5.08mm	99.0	99.0	99.1

Realizado por: Buñay N. 2022

De acuerdo a la tabla la capacidad máxima de adsorción en el experimento 1 es de 71.4% con el tamaño de partícula de 1mm, con el tamaño de filtro de 11cm por 4 cm diámetro. Después de la modificación del tamaño del filtro de 22cm de altura por 8cm diámetro se realizó el filtrado con los tres tamaños de partícula y se puede decir que los tres tamaños de partícula tienen una capacidad alta de adsorción, pero el tamaño de partícula 5.08 llega a un punto de 99%.



## CONCLUSIONES

- Se utilizó los filtros piloto de lecho fijo elaborados con vaina de haba triturada en tres tamaños diferentes de 1mm, 3.35 mm y 5.08 mm respectivamente para tratar a nivel de laboratorio efluentes provenientes de la curtiembre “EL AL-CE” del cantón Guano con el objeto de reducir la concentración de  $\text{Cr}^{+3}$  mediante el proceso de adsorción.
- El proceso de curtición está relacionado con la contaminación de las aguas, debido a que emplea grandes cantidades en todas sus etapas. Las aguas residuales se van cargando con proteínas solubles liberadas por los cueros y con remanentes químicos de los productos utilizados, mediante la caracterización de las aguas residuales del proceso de la curtiembre “EL AL-CE” se pudo establecer que las condiciones de funcionamiento actual responde a un SGA que busca minimizar los efectos nocivos que supone el proceso industrial de curtiembre al medio ambiente, es importante recalcar que el principal problema reside en la posibilidad de que el  $\text{Cr}^{+3}$  se transforme en cromo  $\text{Cr}^{+6}$  por medio de la oxidación, llegando a ser éste mucho más móvil y más tóxico, el cromo trivalente se convierte en hidróxidos insolubles en el agua. Estas sales envejecen y se vuelven cada vez menos solubles, permaneciendo sólo una pequeñísima parte en solución. Sólo una pequeña parte de sales de cromo trivalentes puede ser absorbida por las plantas, por lo que el cromo no puede acumularse en la cadena alimentaria, con ello se conocen los efectos del cromo a corto plazo, es muy difícil prever las consecuencias en un mediano y largo plazo.

Es importante indicar que el muestreo se realiza antes de que los efluentes ingresen a la planta de tratamiento de aguas residuales con la que cuenta la curtiembre “EL AL-CE” razón por la cual la concentración de  $\text{Cr}^{+3}$  es elevada, de acuerdo a este particular no se puede determinar las condiciones de funcionamiento actual de la curtiembre en función de la caracterización de las aguas residuales objeto de estudio. Sin embargo, esta empresa cuenta con un sistema de gestión ambiental que supone un adecuado funcionamiento de la planta ya que la concentración final de  $\text{Cr}^{+3}$  en el agua que se descarga a la alcantarilla se encuentra bajo parámetros conforme lo establece el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).

- Se determinó que las condiciones adecuadas para la adsorción del  $\text{Cr}^{+3}$  presente en aguas residuales de la curtiembre mediante un biofiltro empacado con polvo de la vaina de haba depende de la capacidad de adsorción que presenta el material utilizado para lo que se considera generalmente como proporcional al área superficial específica, que no es otra cosa que la proporción del área superficial total que está disponible para la adsorción. Cuanto más

finamente dividido y más porosos sean los adsorbentes, mayor será el rendimiento esperado de adsorción por unidad de peso de adsorbente.

- En función a los datos experimentales los porcentajes máximos de adsorción del  $\text{Cr}^{+3}$  en medios acuosos utilizando el polvo de la vaina de habas como agente adsorbente son de 99% correspondientes al filtro cuyo material filtrante tiene un tamaño de partícula de 5.08 mm.
- Se valida el procedimiento experimental realizado basado en la utilización de un filtro de lecho fijo empaquetado con vaina de haba (*Vicia faba*) con tamaños de partícula de 1 mm, 3.35 mm y 5,08 mm respectivamente, mediante la aplicación del análisis de varianza podemos verificar que dicho proceso es replicable, ya que los resultados obtenidos no presentan diferencias significativas.

## RECOMENDACIONES

- En función de los resultados obtenidos se recomienda el uso de la vaina de haba como material bioadsorbente para retirar las trazas de  $\text{Cr}^{+3}$  presentes en los efluentes procedentes de curtiembres, para obtener resultados satisfactorios se recomienda un tiempo de residencia elevado, mientras mayor es el tiempo de contacto mejor es la remoción del metal de los efluentes.
- Se observa durante el desarrollo experimental del presente trabajo de investigación que mientras menor es el tamaño de partícula aumenta la capacidad de remoción de cromo razón por la cual se recomienda para estudios posteriores trabajar con un tamaño de partícula menor a 5.08 mm para poder corroborar si lo antes descrito se cumple.
- Conforme a la revisión bibliográfica realizada en la cual se puede ver que diferentes residuos orgánicos son utilizados para remoción de plomo y otros metales pesados se recomienda experimentar con la vaina de *Vicia faba* para remover otros metales que también se encuentran presentes en las aguas residuales industriales e identificar mediante comparación de los resultados obtenidos frente a que metal tiene un mejor desempeño.
- Reutilizar el cromo extraído nuevamente en el proceso de curtido.
- Efectuar el análisis costo – beneficio en función de los resultados obtenidos para determinar si desde el punto de vista económico esta práctica es favorable.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adewoye, L.T., Mustapha, S.I., Adeniyi, A.G., Tijani, J.O., Amoloye, M.A. and Ayinde, L.J., (2017). *optimization of nickel (ii) and chromium (III) removal from contaminated water using sorghum bicolor*. *Nigerian Journal of Technology*, vol. 36, no. 3, pp. 960-972–972. ISSN 2467-8821. DOI <http://dx.doi.org/10.4314/njt.v36i3.41>.
- Acosta, H., Barraza, C., & Albis, A. (2017). Adsorption of chromium (VI) using cassava peel (manihot esculenta) as biosorbent: A kinetic study. *Ingeniería y Desarrollo. Universidad Del Norte*, 35. <https://doi.org/10.14482/inde.35.1.8943>
- Beltrán, A., Rosero, C., Cargua, F. and Echeverría, M., (2019). Potencial de *Zantedeschia aethiopica L.* para la rehabilitación de suelos contaminados con cromo hexavalente en zonas alto andinas de Ecuador. vol. 68, pp. 92–98.
- Cárdenas, S. y Ortega, J., 2015. Modelamiento y simulación de una columna de adsorción de lecho fijo para la remoción de Cr (VI) de soluciones acuosas utilizando aserrín como adsorbente. , pp. 209.
- Chipana, L. J. (2020). *Propuesta para implementar un sistema de gestión ambiental ISO 14001:2015 para mejorar el desempeño en la Curtiembre Inversiones Junior S.A.C. 2018*. Universidad Nacional de Trujillo.
- Cipriano, F. (2021). *Biorremediación de cromo hexavalente presente en aguas residuales de la industria de la curtiembre por microalgas la división chlorophyta*. Universidad Católica Sedes Sapientiae.
- Córdova A. and Medina M. (2019). *Biorremoción con semilla de papaya arequipeña (Vasconcellea pubescens) para cromo total en efluentes de curtiembres, Arequipa*. S.I.: Universidad Católica de Santa María.
- Cueltan, D., Molina, D., & Diaz, E. (2020). Proceso de curtiembre norma ISO 14001:2015. *EADIAZCA*.
- Durán, G., Bayón Jiménez, M., Bonilla, A., Durán, G., Bayón Jiménez, M., & Bonilla, A. (2020). Habitar ante la cotidianidad de la contaminación del agua: contestaciones a las actividades extractivas en las periferias urbanas de Ecuador. *Antipoda. Revista de Antropología y*

*Arqueología*, 2020(39), 17–39. <https://doi.org/10.7440/ANTIPODA39.2020.02>

Flores, C. J. M. (2018). *Propuesta de simulación de remoción parcial de cromo en suelos contaminados utilizando como fitorremediador el Tagete sp marigold* [Universidad Nacional De San Agustín]. file:///C:/Users/usuario/Downloads/QUflcojm.pdf

García, O., & Ramírez, L. (2019). *Evaluación de una propuesta para el sistema de tratamiento de aguas residuales de curtiembre y marroquinería*. Fundación Universidad de América.

Ger, J. (2017). *Análisis del bagazo de caña de azúcar como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la curtiembre los tres Juanes, provincia de Tungurahua* [Univerdidad Técnica de Ambato]. <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/5301/Mg.DCEv.Ed.1859.pdf?sequence=3>

González, M., & Morales, T. (2020). Unidad didáctica y lúdica para explicar el fenómeno de contaminación del agua. *Zona Próxima*, 32, 41–50. <https://doi.org/10.14482/ZP.32.370>

Hashem, A., Hasan, M., Momen, A., Payel, S. y Nur-a-tomal, S., 2020. Water hyacinth biochar for trivalent chromium adsorption from tannery wastewater [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100022>.

Hemalatha, D., Narayanan, R.M. y Sanchitha, S., 2020. Materials Today: Proceedings Removal of Zinc and Chromium from industrial wastewater using water hyacinth ( *E . crassipes* ) petiole , leaves and root powder : Equilibrium study. *Materials Today: Proceedings* [en línea], no. xxxx. ISSN 2214-7853. DOI 10.1016/j.matpr.2020.10.725. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.725>.

Leguizamón Cruz, J. L. (2018). *Design of an elaboration map processes macroprocess within the tannery*. Universidad Militar Nueva Granada.

López, H., & Lacayo, R., (2020). *Remoción de cromo hexavalente en aguas contaminadas utilizando cáscara de plátano (Musa paradisiaca) como adsorbente*. Revista Torreón Universitario, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, pág. 73 - 83 <https://doi.org/10.5377/torreon.v8i23.9534>

Luna, E. (2018). Estudio del modelo de gestión de calidad para el proceso de elaboración de

calzado de la empresa Curtiembre Renaciente S.A. Universidad Técnica de Machala.

Mendes, L. (2019). Tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación acoplada a un MBR para minimizar el ensuciamiento de la membrana y obtener efluentes de alta calidad. Univerdad de Alicante.

Meneses, Y., Patiño, P., & Betancur, J. (2018). Remoción de cromo en aguas residuales industriales mediante el uso de biomasa de *Spirulina* sp, sedimentación primaria y precipitación química. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(1), 141–152. <https://doi.org/10.22490/21456453.2326>

Ministerio del Ambiente. (2017). Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente. [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)

Miranda, J. C. (2018). Estudio de adsorción de cromo (III) de aguas residuales de curtiembres con la utilización de compost [Universidad de las Américas]. <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/9815/1/UDLA-EC-TIAM-2018-24.pdf>

Mitra, S., Sarkar, A., & Sen, S. (2017). Removal of chromium from industrial effluents using nanotechnology: a review. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 2(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/S41204-017-0022-Y>

Moreno, C., & Téllez, E. (2020). Evaluación del potencial de biosorción de Cromo mediante microalgas nativas aisladas del río Tunjuelito en Bogotá D.C, para descontaminación por cromo hexavalente (Vol. 2507, Issue February). Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., Gallo, J. A., Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., & Gallo, J. A. (2020). Water contamination by heavy metals, analysis methods and removal technologies. A review. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9–18. <https://doi.org/10.31908/19098367.0001>

Paz, O. (2020). Biorremoción de cromo total en los efluentes de curtiembres, empleando vainas de arvejas *pisum sativum* para obtener agua categoría 3 D 2 D.S. 004-2017 minam en Arequipa 2018. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Pintado, K. (2018). Comparación de la biosorción y desorción de metales pesados mediante el

uso de marlo de maíz (zea mays) en aguas contaminadas. Universidad Politécnica Salesiana.

Quintero, G., Quijano, A., & Melendez, I. (2018). Genotoxic effect of wastewater from the San Faustino- Norte De Santander-Colombia Tannery. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2, 8–16.

Quiroz, K. B. (2020). Análisis de la contaminación del ecosistema acuático por vertimiento de efluentes. In *Universidad Científica del Sur*. Universidad Científica del Sur.

Quishpe, Á., De la Torre, E., & Guevara, A. (2017). Tratamiento de efluentes líquidos de la industria de curtido mediante precipitación química, adsorción con carbón activado y rizofiltración. *Revista Politécnica*, 31(1).  
[https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/200/pdf](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/200/pdf)

Reyes, J. (2021). Evaluación de la biofiltración como tecnología de desodorización en el tratamiento de residuos orgánicos [Universidad de Córdoba].  
<https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/>

Rodríguez, A., Campos, A., & Pérez, A. (2019). Obtención y caracterización de materiales adsorbentes a partir de cascarilla de arroz. *Revista Mutis*, 9(1), 29–39.  
<https://doi.org/10.21789/22561498.1515>

Ruiz, Á. A. (2018). La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(2).

Rosas, Y., (2019). Caracterización y remoción de cromo (III) de aguas residuales de curtiembres del parque industrial de rio seco utilizando hueso de olivo (olea europea) procesado como biosorbente. S.l.: s.n.

“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”. 22th Edition. USA, 3-67 y 3-68, method 3500-Cr B., 2 188 (2012). <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v2i3.27>

Tejada, C., Villabona, Á., & Ruiz, V. (2017). Biomasa residual para remoción de mercurio y cadmio: una revisión waste biomass for the removal of mercury and cadmium. *Ingenium*, 6(14), 11–21.

Tena, T. N., & Garay, A. E. (2019). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales en la comunidad campesina San Juan de Churin. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

Verdugo, J., 2017. Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara de la mandarina (Citrus Reticuata Var. Clementina). S.l.: Universidad Politécnica Salesiana.

Zaruma, P., Proal, J., Hernández, I., & Salas, H. (2018). Textile Industrial Dyes and optimal wastewater effluents treatments: A short review. Revista de La Facultad de Ciencias Químicas, Instituto Politécnico Nacional, 19(18), 38–48.  
<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/2216>



## ANEXO

### Anexo A: Caracterización del agua residual de la curtiembre "EL-ALCE"



#### INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Srta Nelly Buñay  
Fecha : 10 de marzo del 2022  
Tipo de muestra: Agua residual de la industria de curtiembre  
Localidad: Canton Guano

Determinaciones	Unidades	**Método	Resultados
Color aparente	Und Co/Pt	2120-C	9.500
pH	Unid	4500-H-B	7.13
Conductividad	m Siems/cm	2510-B	64.94
Turbiedad	UNT	2130-B	224.0
Carbonatos	mg/L	2320-C	0.0
Bicarbonatos	mg/L	2320-C	663.0
Sulfatos	g/L	4500-SO4-E	10.80
Nitratos	mg/L	4500-NO3-E	4.30
Cromo VI	mg/L	3500-Cr-B	27.0
Cromo total expr. Como Cromo VI	mg/L	3500-Cr-B	88.0
Aceites y grasas	mg/L	5520-B	419.0
Sulfuros	mg/L		12.0
Sólidos suspendidos	mg/L	2540-C	341.0
Sólidos Disueltos	g/L	2540-C	39.0

\*\* Métodos Noemalizados de Análisis de Agua WWA

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid  
Contáctanos: ☎0998580374 ☎032 942 322  
Saqmic Laboratorio  
Riobamba - Ecuador

## Anexo B: Determinación de la concentración de Cr<sup>+3</sup> después de la filtración – experimento 1



### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 20 de agosto del 2021

Análisis solicitado por: Srta. Nelly Janeth Buñay Cando

Tipo de muestras: Agua residual de industria de curtiembres

Localidad: Cantón Guano

#### Análisis Químico

Parámetros	Unidades	Método	Resultados
Cromo III	mg/L	Oxidación del Cromo III a Cromo VI. 3500-Cr-B	133.0

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF.

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada

## Anexo C: Determinación de la concentración de $\text{Cr}^{+3}$ después de la filtración – experimento 2



### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 18 de febrero del 2022  
Análisis solicitado por: Srta. Nelly Buñay  
Tipo de muestras: Agua residual de industria de curtiembres  
Localidad: Cantón Guano

#### Análisis Químico

Parámetro de análisis	Muestras	Filtro Tamaño de partícula	Unidades	Resultados
Cromo III	M1	1.0 mm	mg/L	1.67
	M2	3.35 mm	mg/L	1.62
	M3	5.08 mm	mg/L	1.17

Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF. \* Oxidación del Cromo III a Cromo VI.  
3500-Cr-B

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.  
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO  
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada