



**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

**REMOCIÓN DE CROMO VI CON PANCA DE MAIZ COMO BIOSORBENTE EN  
MUESTRAS SINTÉNTICAS A NIVEL DE LABORATORIO, 2023**

**Línea de investigación:**

**Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Salas Silva, Juan Carlos

**Asesor:**

Sernaque Aucchuasi, Fernando Antonio

ORCID: 0000-0003-1485-5854

**Jurado:**

Zamora Talaverano, Noe Sabino

Valdivia Orihuela, Braulio Armando

Rivera Murillo, Jhoana Juliana

**Lima - Perú**

**2024**



# “REMOCIÓN DE CROMO VI CON PANCA DE MAIZ COMO BIOSORBENTE EN MUESTRAS SINTÉTICAS A NIVEL DE LABORATORIO, 2023”

## INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

3%

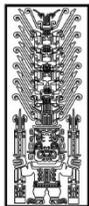
PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a> Fuente de Internet	6%
2	<a href="https://tesis.ucsm.edu.pe">tesis.ucsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="https://pdfs.semanticscholar.org">pdfs.semanticscholar.org</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
6	<a href="https://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="https://repositorio.upagu.edu.pe">repositorio.upagu.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="https://repositorio.unajma.edu.pe">repositorio.unajma.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%



**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

REMOCIÓN DE CROMO VI CON PANCA DE MAIZ COMO BIOSORBENTE EN

MUESTRAS SINTÉNTICAS A NIVEL DE LABORATORIO, 2023

Línea de investigación

Tecnologías para Residuos y Pasivos Ambientales. Biorremediación

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental**

**Autor:**

Salas Silva, Juan Carlos

**Asesor:**

Sernaque Aucahuasi, Fernando Antonio

ORCID:0000-0003-1485-5854

**Jurado:**

Zamora Talaverano, Noe Sabino

Valdivia Orihuela, Braulio Armando

Rivera Murillo, Jhoana Juliana

**Lima – Perú**

**2024**

## ÍNDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>8</b>
<b>I.Introducción.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1.Descripción y formulación del problema .....</b>	<b>10</b>
1.1.1. Descripción del problema .....	10
1.1.2. Formulación del Problema.....	12
1.1.2.1 Problema General.....	12
1.1.2.2 Problemas Específicos.....	12
<b>1.2.Antecedentes .....</b>	<b>13</b>
1.2.1. Antecedentes Internacionales.....	13
1.2.2. Antecedentes Nacionales .....	17
<b>1.3.Objetivos .....</b>	<b>20</b>
1.3.1. Objetivo General.....	20
1.3.2. Objetivos Específicos.....	20
<b>1.4.Justificación .....</b>	<b>21</b>
<b>1.5.Hipótesis .....</b>	<b>22</b>
1.5.1. Hipótesis General.....	22
1.5.2. Hipótesis Específicas .....	22
<b>II. Marco Teórico.....</b>	<b>24</b>
<b>2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación .....</b>	<b>24</b>
2.1.1. Metales Pesados .....	24

2.1.2.	Cromo .....	24
2.1.3.	Toxicidad del Cr <sup>+6</sup> .....	25
2.1.4.	Remoción de Metales.....	26
2.1.5.	Bioadsorción .....	27
2.1.6.	Bioadsorción de Metales Pesados.....	26
2.1.7.	Biomateriales .....	27
2.1.8.	Tipos de Bioadsorción .....	30
2.1.9.	Fisicoquímica del proceso de Bioadsorción .....	30
2.1.10.	Mecanismos de Bioadsorción de cromo .....	32
2.1.11.	Maíz (Zea Maíz).....	32
2.1.12.	Prueba de Jarras .....	34
<b>2.2.</b>	<b>Marco Conceptual.....</b>	<b>35</b>
2.2.1.	Definición de Términos .....	35
2.2.2.	Marco Legal Ambiental .....	36
<b>III.</b>	<b>Método.....</b>	<b>39</b>
<b>3.1.</b>	<b>Tipo de investigación.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.</b>	<b>Ámbito temporal y espacial.....</b>	<b>39</b>
3.2.1.	Ámbito temporal .....	39
3.2.2.	Ámbito espacial .....	40
<b>3.3.</b>	<b>Variables .....</b>	<b>40</b>
3.3.1.	Variable Independiente .....	40
3.3.2.	Variable Dependiente.....	40

<b>3.4.Población y muestra .....</b>	<b>42</b>
3.4.1. Población.....	42
3.4.2. Muestra .....	42
<b>3.5.Instrumentos .....</b>	<b>42</b>
3.5.1. Técnicas .....	42
3.5.2. Instrumentos.....	42
3.5.3. Equipos y Materiales.....	42
<b>3.6.Procedimientos .....</b>	<b>43</b>
3.6.1. Preparación del Bioadsorbente y Muestras.....	43
3.6.2. Ensayos del Jar Test.....	44
3.6.3. Determinación de Cr VI.....	45
3.6.4. Análisis Final .....	45
<b>3.7. Análisis de datos .....</b>	<b>46</b>
<b>IV. Resultados.....</b>	<b>47</b>
<b>4.1.Caracterización de la Solución Patrón y Solución Estándar de Cr VI .....</b>	<b>47</b>
<b>4.2. Dosificación de Biosorbente .....</b>	<b>48</b>
4.2.1. Tratamiento con Cáscara de Maíz para una Concentración de Cr VI a 10ppm ...	48
4.2.2. Tratamiento con Cáscara de Maíz para una Concentración de Cr VI a 20ppm.....	50
4.2.3. Tratamiento con Cáscara de Maíz para una Concentración de Cr VI a 30ppm.....	52
4.2.4. Tratamiento con Cáscara de Maíz para una Concentración de Cr VI a 40ppm.....	54
4.2.5. Tratamiento con Cáscara de Maíz para una Concentración de Cr VI a 50ppm.....	56
<b>4.3. Eficiencias para el Cr VI a 10, 20, 30, 40 y 50 ppm.....</b>	<b>58</b>

<b>4.4. Análisis Estadístico Inferencial .....</b>	<b>63</b>
<b>V. Discusión de resultados.....</b>	<b>76</b>
<b>VI. Conclusiones.....</b>	<b>79</b>
<b>VII. Recomendaciones.....</b>	<b>80</b>
<b>VIII. Referencias</b>	
<b>Bibliográficas.....</b>	<b>81</b>
<b>IX. Anexos.....</b>	<b>86</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Materiales Biosorbentes usados para la adsorción de Metales Pesados.....	29
<b>Tabla 2</b> Clasificación Taxonómica del Maíz .....	33
<b>Tabla 3</b> Operacionalización de Variables de Investigación .....	41
<b>Tabla 4</b> Resultados de la Caracterización de la Solución Patrón y Solución Estándar.....	48
<b>Tabla 5</b> Resultados del primer ensayo Cr VI vs Cáscara de Maíz.....	49
<b>Tabla 6</b> Resultados del segundo ensayo Cr VI vs Cáscara de Maíz .....	51
<b>Tabla 7</b> Resultados del tercer ensayo Cr VI vs Cáscara de Maíz .....	53
<b>Tabla 8</b> Resultados del cuarto ensayo Cr VI vs Cáscara de Maíz .....	55
<b>Tabla 9</b> Resultados del quinto ensayo Cr VI vs Cáscara de Maíz .....	57
<b>Tabla 10</b> Resultados de las eficiencias para Cromo a 10ppm.....	59
<b>Tabla 11</b> Resultados de las eficiencias para Cromo a 20ppm.....	60
<b>Tabla 12</b> Resultados de las eficiencias para Cromo a 30 ppm.....	61
<b>Tabla 13</b> Resultados de las eficiencias para Cromo a 40 ppm.....	62
<b>Tabla 14</b> Resultados de las eficiencias para Cromo a 50 ppm.....	63
<b>Tabla 15</b> Datos agrupados para análisis estadístico.....	64
<b>Tabla 16</b> Resultados de la prueba de Homogeneidad de varianzas.....	69
<b>Tabla 17</b> Resultados de la prueba de Homogeneidad de varianzas para dosis .....	70
<b>Tabla 18</b> Análisis de los mejores Tratamientos y dosis aplicadas.....	75
<b>Tabla 19</b> Matriz de Consistencia.....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Concentración de Cr 10 mg/l vs. Dosis de Maíz.....	50
<b>Figura 2</b> Concentración de Cr 20 mg/l vs. Dosis de Maíz.....	52
<b>Figura 3</b> Concentración de Cr 30 mg/l vs. Dosis de Maíz.....	54
<b>Figura 4</b> Concentración de Cr 40 mg/l vs. Dosis de Maíz.....	56
<b>Figura 5</b> Concentración de Cr 50 mg/l vs. Dosis de Maíz.....	58
<b>Figura 6</b> Prueba de Normalidad de la información obtenida de la investigación.....	68
<b>Figura 7</b> Análisis de Homogeneidad de las varianzas en resultados de la investigación (1).....	69
<b>Figura 8</b> Análisis de Homogeneidad de las varianzas en resultados de la investigación (2).....	71
<b>Figura 9</b> Resultados de la prueba ANOVA aplicada en los tratamientos.....	72
<b>Figura 10</b> Resultados de la prueba ANOVA aplicada a las Dosis.....	72
<b>Figura 11</b> Prueba de Comparación Tukey para tratamientos.....	73
<b>Figura 12</b> Prueba de Comparación Tukey para las Dosis aplicadas.....	74

## RESUMEN

El incremento de contaminación por metales pesados es un peligro inminente para el medio ambiente y para los seres humanos, es así como el  $\text{Cr}^{+6}$  es uno de estos metales más comunes que se desechan en diferentes efluentes industriales. Actualmente se tiene una gran necesidad por encontrar métodos eficientes y económicos para remover el Cr (VI) en las aguas residuales. En este sentido, la presente investigación plantea como objetivo evaluar la capacidad de bioadsorción de la panca de maíz “Zea mays” para la remoción de  $\text{Cr}^{+6}$  en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, bajo esta premisa, la pregunta de investigación es la siguiente, ¿Cómo será la capacidad de bioadsorción de la panca de maíz Zea mays para la remoción de  $\text{Cr}^{+6}$  en muestras sintéticas a nivel de laboratorio?, en este contexto, un biosorbente natural es un compuesto orgánico capaz de remover metales pesados en este caso particular  $\text{Cr}^{+6}$ , cuya característica representativa es su capacidad de biodegradación que presenta. Por lo antes indicado, la pregunta de investigación se responde con el desarrollo de pruebas experimentales realizadas a través de ensayos conocidas como prueba de Jarras, en el cual se trabajó con distintas dosis de bioabsorbente, y a diferentes concentraciones de  $\text{Cr}^{+6}$ , con la finalidad de lograr remover las máximas cantidades de Cromo en las muestras de estudio. Los resultados finales obtenidos en la remoción con el absorbente natural de panca de maíz muestran eficiencias óptimas de 78.10%, 75.15% y 71.93% para concentraciones de 10, 20 y 30 mg/l de  $\text{Cr}^{+6}$  con la dosis de 25 gr de dicho absorbente, con lo que se concluye que el bioabsorbente tiene una capacidad óptima para la remoción de Cromo VI.

*Palabras claves:* bioadsorción, contaminación de agua, biosorbente.

## ABSTRACT

The increase in contamination by heavy metals is an imminent danger for the environment and for human beings, this is how Cr+6 is one of the most common metals that are discarded in different industrial effluents. Currently there is a great need to find efficient and economical methods to remove Cr (VI) in wastewater. In this sense, the objective of this research is to evaluate the bioadsorption capacity of "Zea mays" corn flakes for the removal of Cr+6 in synthetic samples at the laboratory level, under this premise, the research question is the following, how will the bioadsorption capacity of Zea mays corn flakes be for the removal of Cr+6 in synthetic samples at the laboratory level? In this context, a natural biosorbent is an organic compound capable of removing heavy metals in this case particular Cr+6, whose representative characteristic is its biodegradation capacity that it presents. Due to the aforementioned, the research question is answered with the development of experimental tests carried out through tests known as the Jarras test, in which different doses of bioabsorbent were used, and at different concentrations of Cr+6, with the purpose of to achieve the removal of the maximum amounts of Chromium in the study samples. The final results obtained in the removal with the natural absorbent of corn husk show optimum efficiencies of 78.10%, 75.15% and 71.93% for concentrations of 10, 20 and 30 mg/l of Cr+6 with a dose of 25 gr of said absorbent, with which it is concluded that the bioabsorbent has an optimal capacity for the removal of Chromium VI.

*Keywords:* bioadsorption, water pollution, biosorbent.

## I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, hay una gran problemática por los elevados índices de contaminación por metales pesados tales como el Cromo. El Cr es uno de los iones de metales pesados que está más frecuente en aguas residuales industriales y en cuerpos naturales en sus dos estados de oxidación estables:  $\text{Cr}^{+3}$  y  $\text{Cr}^{+6}$ ; siendo el  $\text{Cr}^{+3}$  parcialmente inofensivo e inmóvil, pero en soluciones acuosas el  $\text{Cr}^{+3}$  logra un proceso de óxido-reducción y pasa a  $\text{Cr}^{+6}$ , el cual, se mueve con facilidad mediante el agua y suelos, alterando de esta forma la flora y fauna presente en estos ecosistemas; también cabe resaltar que el  $\text{Cr}^{+6}$  es un agente oxidante que puede absorberse mediante la piel. (Garces y Coavas, 2012).

La gran preocupación que genera este metal es su concentración en los cuerpos de agua, según la OMS la máxima concentración de Cr para el consumo en el agua es de 0,05 ppm, pero actualmente existen reportes de concentraciones de hasta 450 ppm en los efluentes líquidos; es así que su concentración al ser tan elevada comienza a ser tóxica, lo cual genera serios efectos sobre el funcionamiento de los ecosistemas y así mismo se vuelve una amenaza para la salud humana, ya que el  $\text{Cr}^{+6}$  al estar presente en el organismo humano puede causar: Erupciones cutáneas, problemas estomacales, úlceras, problemas respiratorios, daños al sistema inmune, daño en los riñones e hígado, cáncer de pulmón e incluso la muerte.

La eliminación del Cromo en el ambiente aumenta la contaminación ambiental lo que ocasiona que los tratamientos sean más costosos para las industrias, es por ello por lo que se necesita encontrar un método de remoción eficiente y accesible. En la actualidad se han desarrollado diversos métodos para el tratamiento de efluentes contaminados con cromo, entre ellos tenemos: precipitación, oxidación, reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento

electroquímico, tecnologías de membrana y recuperación por evaporación. Estos métodos han resultado bastante costosos e ineficientes especialmente cuando la concentración de los metales es muy baja; es así como para lograr remover el Cromo (VI) se ha considera el método de bioadsorción el cual presenta resultados eficientes, especialmente con materiales orgánicos.

Es así como la bioadsorción se presenta como una alternativa bastante atractiva para la remoción de Cromo (VI), ya que no sólo remueve metales pesados, sino que emplea desechos sin utilidad como bioadsorbentes para sus procesos (Garces y Coavas, 2012).

Por lo mencionado anteriormente, y con la necesidad de realizar trabajos que contribuyan sobre la problemática y así brindar los alcances y limitaciones al emplear este tipo de procedimiento, la presente investigación plantea como objetivo evaluar la capacidad de bioadsorción de la panca de maíz “Zea mays” para la remoción de Cromo hexavalente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.

## **1.1. Descripción y formulación del problema**

### **1.1.1. Descripción del problema**

La contaminación de los recursos naturales por Cr VI (Cromo Hexavalente) proveniente de procesos naturales y actividades y antropogénicas se ha convertido en un serio problema ambiental. Aunque se han publicado muchos artículos sobre la remoción de cromo, aún no se cuenta con una comprensión completa sobre los mecanismos involucrados en la remediación con diferentes adsorbentes (Rajapaksha et al., 2022).

La presencia de cromo en la naturaleza se origina como parte de actividades geogénicas y antropogénicas extensivas, se manifiesta con un impacto significativo en los ecosistemas naturales

y la salud de las personas. Se vienen aplicado varios métodos para eliminar el cromo VI (Cr Hexavalente) de compartimientos ambientales acuáticos, incluido procesos de adsorción a través de diferentes adsorbentes, considerado como una alternativa más común y de bajo costo (Sinha et al., 2022).

Los metales pesados se presentan como uno de los mayores problemas ambientales y ecológicos en el planeta. La presencia de metales pesados en aguas residuales y naturales provoca efectos tóxicos a los seres vivos y al ambiente. En cuanto a la presencia de metales pesados como  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  y otros, el cromo lo podemos encontrar en los efluentes industriales de curtiembres y galvanizados, quien provoca efectos graves en los seres humanos y organismos, y a su vez impacta negativamente en el suelo y las aguas subterráneas. De su toxicología se sabe que la cantidad excesiva de cromo afecta los pulmones y conlleva a perturbaciones respiratorias en los seres humanos. Debido a la gran cantidad de curtiembres e industrias de galvanizado, la contaminación por cromo en efluentes industriales y las soluciones acuosas supera los límites máximos permisibles. La adsorción es uno de los métodos rentables que se utilizan ampliamente para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales industriales y comerciales (Yogeshwaran y Priya, 2017).

La presencia de cromo en los diferentes cuerpos de agua está dada principalmente por actividades antropogénicas que provienen generalmente de aguas residuales industriales, como por ejemplo los vertimientos de industrias siderúrgicas, cementeras, mineras y de pinturas. Este tipo de industrias antes mencionadas descargan agua que contienen  $\text{Cr}^{6+}$ , así tenemos de acuerdo a lo reportado por (Raji y Anirudhan, 1998) citado por (Sarkar y Das, 2016), mencionan que el  $\text{Cr}^{6+}$  es tóxico para animales, seres humanos y también está reconocido como cancerígeno. La

acumulación en exceso de  $\text{Cr}^{6+}$  en los seres humanos provoca dermatitis, ulceraciones y reacciones alérgicas de la piel.

La presencia de iones metálicos presente en aguas residuales naturales o industriales y su alto impacto ha sido objeto de investigaciones en las ciencias ambientales durante mucho tiempo. Diversos iones metálicos, son detectados comúnmente en aguas naturales como efluentes industriales tales como cromo, cobre, plomo, zinc y hierro, en este sentido la prioridad está por la regulación de estos contaminantes a nivel de descarga (Hasan et al., 2008).

La recuperación de metales pesados se ha convertido en uno de los problemas más preocupantes en este mundo. Durante mucho tiempo, diferentes industrias vertieron sus efluentes a los recursos hídricos como lagos, ríos, etc., sin ningún tratamiento previo. Las tenerías son un ejemplo del tipo de industrias que vierten efluentes con alta concentración de Cr VI (Cromo Hexavalente), dentro de su toxicología éste afecta directamente a los pulmones con efectos carcinogénicos (Yogeshwaran y Priya 2017).

### **1.1.2. Formulación del Problema**

#### **1.1.2.1. Problema general**

¿Cómo será la capacidad de bioadsorción de la panca de maíz *Zea mays* para la remoción de cromo hexavalente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, 2023?

#### **1.1.2.2 Problemas específicos**

¿Cuál es la caracterización de las diferentes concentraciones Cr VI en las muestras sintética a nivel de laboratorio?

¿Cuál será la dosis óptima de la panca de maíz *Zea mays* como biosorbente natural para la remoción de cromo hexavalente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio?

¿Cuál será la eficiencia de la panca de maíz *Zea mays* como biosorbente natural para la remoción de cromo hexavalente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio?

## **1.1. Antecedentes**

### **1.1.1. Antecedentes Internacionales**

Andrade (2023), en su estudio sobre: “Determinación de la capacidad de bioadsorción de cromo hexavalente en aguas residuales que provienen de la industria de curtiembres utilizando la cáscara de limón”, planteó realizar este estudio mediante la evaluación de parámetros como el tamaño de partícula y tiempo de contacto que debe tener el bioadsorbente con el agua residual; así mismo desarrolló las respectivas isothermas de adsorción y un estudio cinético. Dentro de la metodología se procedió a usar cascara de limón como materia prima del bioadsorbente, el cual antes se caracterizó mediante el análisis elemental y FTIR-ATR, luego la muestra de agua residual de la curtiembre se puso en contacto con el bioadsorbente con una agitación constantes a diferentes concentraciones y condiciones de pH. Empleando el método colorimétrico que se basa en la reacción del Cr VI con 1,5-difenilcarbazida en medio ácido se calculó la concentración final de Cr VI. Obteniéndose que las mejores condiciones se dieron a un pH de 2,5; con un tamaño de partícula de 0,5 mm y una concentración de 12 g/L logrando un porcentaje de adsorción de 89,77%, a estas condiciones se realizó las isothermas de adsorción donde la que mejor se ajustó a los datos obtenidos fue la Langmuir con una capacidad de adsorción de 1,7 mg/g, es así como se realizó un modelo cinético obtenido un modelo de pseudo- segundo orden. Concluyéndose que la cáscara de limón presenta una óptima capacidad de adsorción de Cr VI en aguas residuales a un pH bajo, con un tamaño de partícula pequeño y a una concentración mayor de bioadsorbente.

Puente (2019), en su investigación sobre: “Determinación de la Eficiencia de Bioadsorción

de Cromo Hexavalente con restos de Moringa Oleifera en Medio Acuoso”, planteó como objetivo: Determinar la eficiencia de bioadsorción de Cr (VI) en medio acuoso, con restos de la poda y cosecha de la planta de Moringa oleífera, mediante pruebas de jarras. Dentro de la metodología se tiene que la preparación del absorbente parte de un proceso de secado, triturado y tamizado con tamices número: 40, 50 y 70, para luego ser caracterizados mediante ensayos de microscopía electrónica de barrido (SEM), contenido de humedad, lignina, celulosa y hemicelulosa. La Moringa oleífera se somete a diversas formas de acondicionamiento con el fin de activar el material y hallar el bioadsorbente ideal para el tratamiento, por lo que se sometió a 110°C por 24 horas, lavado hidrotérmico hasta el desprendimiento de color, lavado con ácido para lo cual se usó HCl 1M, lavado con base para lo cual se usó NaOH 0.5N y carbonización utilizando una mufla a 450°C por 1 hora. Para los ensayos de laboratorio se empleó una solución acuosa de Cr (VI) empleando K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>. Las pruebas experimentales se hicieron con un reactor discontinuo por lotes (Batch) con ayuda de una prueba de jarras con vasos de precipitación de 1 L, a pH 7 y una velocidad de agitación de 150 rpm. Obteniéndose como resultados una remoción del 97.91% del contaminante en 60 minutos de tratamiento, así mismo se evidencia que entre los 30 y 40 minutos se cumple con el LMP de Cr (VI) para descargas al alcantarillado según la legislación ecuatoriana.

Kumar et. al (2018), en su artículo científico sobre: “Removal of Cr (VI) from synthetic solutions using water caltrop shell as a low-cost biosorbent”, indican que la cáscara de abrojo de agua (WC) se empleó como un biosorbente potencial para la eliminación de iones Cr (VI) de soluciones acuosas. El espectro FT-IR de WC mostró diferentes grupos funcionales, como el grupo carboxilo, el grupo amino y los grupos hidroxilo. obteniéndose una capacidad de biosorción de 98,04 mg/g a pH 2,0, con una concentración inicial de Cr (VI) de 100 mg/L, con una dosis de

biosorbente de 1 g/L, y velocidad de rotación de 100 rpm y tiempo de equilibrio de 60 min. El proceso de biosorción sigue la isoterma de adsorción de Langmuir ( $R^2 = 0,989$ ) y el modelo cinético de pseudo segundo orden ( $R^2 = 0,998$ ) con un factor de separación entre 0,11 y 0,37. Concluyendo que los parámetros termodinámicos revelan que el proceso de biosorción es endotérmico, espontáneo e impulsado por la entropía a concentraciones más bajas.

Garcés y Coavas (2012), en su estudio sobre “Evaluación de la Capacidad de Adsorción en la Cáscara de Naranja (*Citrus Sinensis*) modificada con Quitosano para la Remoción de CR (VI) en aguas Residuales” planteó como objetivo: Evaluar la capacidad de adsorción de la cáscara de naranja modificada con Quitosano como biomasa residual para la remoción de cromo hexavalente presente en aguas residuales. En este estudio se analizó la adsorción de Cr (VI) con cáscara de naranja y cáscara de naranja modificada con quitosano, lo cual se realizó colocando en contacto la biomasa con una solución, que contenía 100 ppm de Cr (VI); los ensayos se realizaron considerando los factores que afectan la adsorción de Cr (VI) los cuales son: la concentración de la biomasa, el tamaño de partícula y el pH. Obteniéndose como resultados que la cáscara de naranja presenta gran capacidad de adsorción a diferencia de la cáscara de naranja modificada con quitosano; es así que la cáscara de naranja presentó un porcentaje máximo de remoción de 66.8%, mientras que la cáscara de naranja modificada con quitosano mostró un porcentaje de remoción de 61.24%. La concentración de adsorbente, el pH y la relación (g/L) de solución son importantes en el proceso de adsorción, también se demostró que, a pH más bajos, relación g/L superiores y mayor concentración de sorbente, la adsorción por de estas dos biomasas presenta mayor efectividad, ya que al incrementar el pH, el grado de protonación de la superficie se reduce y en consecuencia también se amenora la adsorción del tóxico.

Arias (2019), en su investigación sobre “Evaluación de la capacidad de Remoción de CR (VI) en solución con una mezcla de cáscara de naranja y cáscara de banano como Bioadsorbente” planteó como objetivo: Determinar la capacidad de remoción de Cr VI en solución mediante adsorción con mezcla de cáscara de naranja y cáscara de banano como bioadsorbente. En este estudio determinó calculó la capacidad de remoción de Cr (VI) en agua sintética empleando una mezcla de cáscara de naranja y cáscara de banano como bioadsorbente. Dentro de la metodología se procedió a lavar la cáscara de naranja con agua tibia, agua fría y etanol, luego se realizó el proceso de desmetoxilación empleando NaOH durante 2 horas para eliminar los azúcares y ácido cítrico; posterior se pasa a secar cáscaras en una estufa (a 105°C), triturar y sumergir en una solución de CaCl<sub>2</sub> durante 24 horas en un agitador shaker; culminado este tiempo se filtró el material y se secó nuevamente para finalmente ser tamizado. Para tratar la cáscara de banano se procedió a lavarlas en una solución de NaClO durante 5 minutos, luego se eliminó los residuos de fruta, posteriormente se secaron las cáscaras por 2 horas y media y para finalizar se trituró en un molino pulverizador. Una vez obtenido el material bioadsorbente se pasó a preparar agua sintética a una concentración de 52,46 ppm. En total se realizaron 27 ensayos por duplicado para un total de 54, a los cuales se les ajustó el pH según los valores seleccionados, se agregó las cantidades de bioadsorbente correspondientes para completar el valor total de mezcla y se llevaron a agitación por 24 horas. Concluyéndose que la mezcla de cáscara de naranja y cáscara de banano como bioadsorbente en diferentes cantidades y proporciones de mezcla, aumentan el porcentaje de remoción de Cr<sup>6+</sup> que se encuentra para las muestras de agua sintética en un rango entre 82 y 97%; y para los duplicados entre 76 y 98%, la cáscara de banano tiene mejor capacidad de remoción a un pH de 5 y la cáscara de naranja a un pH de 3. Obteniéndose que la cantidad de

bioadsorbente que logró la mayor remoción fue de 10 g (25% naranja - 75% banano) en 100 ml de solución; demostrando que la mezcla de estos dos materiales orgánicos incrementa el porcentaje de remoción de Cr y la DQO y COT arrojaron que la cáscara de naranja genera un gran aporte de carga orgánica.

### **1.1.2. Antecedentes Nacionales**

Silva (2021), en su estudio que realizó sobre: “Capacidad de Biosorción de Cromo Hexavalente en Medio Acuoso Usando la Borra de Café”, planteó como objetivo general: Determinar la capacidad de biosorción de cromo hexavalente en medio acuoso usando la borra de café a nivel de laboratorio. En la presente investigación se procedió a usar la borra de café con la finalidad de determinar la remoción de Cr VI en medio acuoso, empleando como fuente de Cr al dicromato  $K_2Cr_2O_7$ ; para los ensayos se usó los factores como: tiempo de contacto de 30 y 90 min, concentración de metal de 10 y 50 ppm y el número de partícula a través de los tamices N° 10 y N° 100, dicho estudio se manejó bajo condiciones de pH ácido, agitación constante y utilizando 1g de borra de café. Obteniéndose como resultado un 97.79% de remoción, indicando la eficiencia de la borra de café en el proceso de biosorción. Concluyéndose que se necesita como mínimo 30 minutos de contacto para lograr un buen porcentaje de remoción de hasta 95%; se logró mejores resultados a concentraciones de 50 ppm con un porcentaje de remoción mayor al 90% y en cuanto al tamaño de partícula se observó el mismo nivel de eficiencia de remoción.

Bravo y Landa (2020), en su investigación sobre: “Efecto del pH en la adsorción de cromo hexavalente por la pectina de *Citrus reticulata* en soluciones sintéticas”, plantearon como uno de sus objetivos específicos: Determinar porcentaje de remoción de cromo hexavalente a diferentes pH. Dentro de la metodología se aplicaron 10 tratamientos divididos en 2 grupos con

concentraciones de 10 mg/L y 20 mg/L de sulfato básico de cromo, la pectina fue extraída por hidrólisis acida y vertida en una cantidad de 0.5 gr por tratamiento, con una variación de pH de 2 a 6. Luego se determinó el cromo residual por espectrofotometría de absorción atómica y se calculó el porcentaje de remoción de Cr (IV). Obteniéndose como resultados que para la concentración inicial de 10 mg/L, el porcentaje de remoción fue de 78 % y 80% a un pH 4 y 5 respectivamente, y para la concentración inicial de 20mg/L, el porcentaje de remoción fue de 88% a un pH 3 y 6, concluyendo que el pH es un parámetro fundamental en el proceso de adsorción y la pectina de *Citrus reticulata* es un bioadsorbente óptimo para remover Cr VI.

Huallpa (2017), en su investigación sobre “Biosorción con panca de maíz (*Zea mays*) para la remoción de Arsénico en aguas contaminadas a nivel de laboratorio, 2017” en cuyo estudio tienen como objetivo: Determinar en qué medida la biosorción con panca de maíz (*Zea mays*) remueve arsénico en aguas contaminadas a nivel de laboratorio. En esta investigación se procedió a realizar la preparación del biosorbente producido de la panca de maíz al cual se hizo una modificación química con una solución de  $H_2SO_4$ , con el fin de aumentar el porcentaje de Lignina y activar los grupos funcionales presentes en el biosorbente, luego se preparó una solución patrón de 100 mg As/L la cual se diluyó con agua destilada para lograr una concentración final de 0,113 mg As/L con lo que se trabajó todos los tratamientos. Seguido se procedió a medir los parámetros fisicoquímicos: pH, temperatura, conductividad y concentración inicial del As, el proceso de biosorción se realizó en el Jarr Test pre acondicionada con un tiempo de agitación de 60 minutos y velocidad de agitación de 200 rpm, se generó 6 tratamientos con 500 ml de agua por muestra; cada tratamiento se le hizo 3 réplicas, se agregó a cada muestra distintas dosis del biosorbente desde 0,5; 1 y 1,5g así mismo tamaños de partícula de 250 y 600um, una vez terminado el

tratamiento se filtraron las muestras y se preservaron con HCl para luego ser con el espectrofotómetro de adsorción atómica realizar las lecturas finales de la concentración de As. De los 6 tratamientos, se obtuvo que el tratamiento (T6 replica 1) fue el que obtuvo mayor capacidad de remoción de As, el cual tuvo una dosis de 1,5g y condiciones de tamaño de partícula de 250um, logrando este tratamiento un porcentaje de remoción de 37,16%.

Paredes y Valle (2020), en su estudio sobre: “Evaluación de la Capacidad de adsorción de la cáscara de limón (*Citrus Limón* (L.) *Burm. F.*) Para la Remoción de Cromo (VI) de Aguas Residuales de la Empresa “Textilera – Hualhuas”, plantearon como uno de sus objetivos específicos: Determinar la cantidad de cáscara de limón como adsorbente, para la remoción de Cromo (VI) de aguas residuales de la empresa “textilera-Hualhuas”. Dentro de la metodología empleada en esta investigación se parte que la textilera de la zona genera aguas residuales con concentraciones de cromo (VI) de 50,37 ppm, para lo cual se emplea adsorción con materia orgánica en este caso cáscara de limón para reducir estas concentraciones. Es así como se procedió a tratar la cáscara de limón con NaOH a una concentración de 0,2 molar y con agitación constante por 2 horas, luego se puso en contacto con solución de  $\text{CaCl}_2$  a 0,2 molar durante 10 horas. Posterior con cantidades de 50, 60 y 80 g de este adsorbente se puso en contacto con de 500 ml de solución de Cromo (VI) por 8, 10 y 12 horas con agitación constante a 80 RPM. Obteniéndose como resultados una reducción de la concentración de Cr (VI) desde 50.37 ppm a 2 ppm para una dosis de 60 g de adsorbente y 10 horas de contacto que representa un 96% de remoción de Cr (VI) de la solución textil.

Muñiz (2016), en su estudio sobre: “Eficiencia del biosorbente de coronta de maíz para la adsorción del Cromo Hexavalente en aguas residuales de la industria Curtiembre Huachipa -

2016”, planteó como objetivo: Determinar la eficiencia del biosorbente de coronta de maíz para la adsorción de Cromo Hexavalente en aguas residuales de la industria curtiembre – Huachipa 2016. Dentro de la metodología empleada se procedió a modificar la coronta de maíz químicamente, poniéndola en contacto 6 horas en solución con Ácido sulfúrico, se eligió este tratamiento, ya que aumenta el porcentaje de lignina y porosidad del biosorbente, también este tratamiento produce hidrólisis de la hemicelulosa ácidos carboxílicos, los cuales sirven como sitios activos para la remoción de Cromo Hexavalente; mientras que la determinación del Cr VI se realizó por el método colorimétrico según el método SM3500 – Cr el cual se cuantifica a través de un espectrofotómetro a una longitud de onda de 540 nm. Cabe resaltar que todos los tratamientos se realizaron mediante la prueba de jarras, a 100 rpm, 500 ml de muestra, pH y temperatura constante, adicionando 0,250 g de biosorbente, a diferentes tiempos de contacto, 10 min (A), 20 min (B), 30 min (C), 60 min (D) y 90 min (E) respectivamente. Concluyéndose que el biosorbente de coronta de maíz es muy eficiente para tratar aguas contaminadas con Cr, logrando un porcentaje de remoción de 83.5% con el tratamiento T1, a 60 min de tiempo de contacto con 100 r.p.m.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Evaluar la capacidad de bioadsorción de la panca de maíz “Zea mays” para la remoción de Cromo hexavalente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, 2023.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Caracterizar el Cr VI a diferentes concentraciones preparado como muestras sintéticas a nivel de laboratorio.

Determinar la dosis óptima de la panca de maíz “Zea mays” como biosorbente natural para

la remoción de Cromo hexavalente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.

Determinar la eficiencia de la panca de maíz “Zea mays” como biosorbente natural para la remoción de Cromo hexavalente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.

### **1.3. Justificación**

La justificación teórica se basa en el entendimiento de los procesos llevados a cabo para alcanzar la remoción de metales en general, donde el mecanismo de coagulación y floculación pasa por las siguientes etapas: i) compresión de la doble capa, ii) precipitación – neutralización de la carga, iii) captura de un precipitado del hidróxido metálico conocido como captura por barrido y iv) adsorción y puente interparticular. Los floculantes naturales presentan una ventaja comparativa en relación con los de naturaleza inorgánica, los biofloculantes podemos tenerlos como polisacáridos o polímeros naturales, entre los cuales tenemos el quitosano, el alginato de sodio, la celulosa, los taninos, entre otros.

La justificación metodológica se basa en la aplicación de la prueba de jarras ampliamente utilizada en los procesos de coagulación y floculación, el cual permite operar a velocidades constantes o número de revoluciones, un volumen de trabajo, tiempos de agitación y dosificaciones de acuerdo con las necesidades del investigador. El Jar Test es una técnica que permite encontrar las dosis óptimas para la remoción de contaminantes en base al uso de compuestos o sustancias orgánicas e inorgánicas, generando un precipitado final y formación de un sedimento más estable.

La justificación práctica, se fundamenta en que el tratamiento aplicado permitirá que los usuarios en general no queden expuestos a sustancias tóxicas como el cromo VI, causando problemas de toxicidad severa ya que se ha demostrado sus efectos carcinogénicos, se basa en la reducción del cromo hexavalente en el medio ambiente el cual es considerado altamente tóxico, y

por lo general son vertidos a los cuerpos receptores como lagos y ríos, que muchas veces son utilizados por los pobladores como bebida de animales o riego de vegetales y en otros casos como uso poblacional.

La justificación Ambiental, se basa en que la investigación usará compuestos orgánicos considerado un desecho como la panca de maíz, con características biodegradables que no dejará residuos en el ambiente como en el caso de los compuestos inorgánicos. La investigación pretende reemplazar el uso de un coagulante químico por un orgánico, el cual es de naturaleza biodegradable, en este sentido el uso de un floculante natural elaborado a partir de la panca de maíz ayudará en la fijación de metales pesados como el cromo hexavalente, haciendo posible su fijación y remoción. A nivel industrial puede ayudar también a reducir considerablemente el uso de coagulantes inorgánicos y minimizando los costos operativos de gran manera, apostando por el consumo de sustancias biodegradables como la panca de maíz.

#### **1.4. Hipótesis**

##### **1.4.1. Hipótesis General**

La evaluación de la capacidad de bioadsorción de la panca de maíz “Zea mays” permitirá conocer el nivel de remoción de Cromo hexavalente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, 2023.

##### **1.4.2. Hipótesis Específicas**

- La caracterización de la muestras sintéticas conteniendo diferentes concentraciones de Cr VI se remocionan con los niveles de pH.
- La panca de maíz Zea mays como biosorbente natural presenta una dosis óptima de remoción de Cromo hexavalente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.

- La panca de maíz *Zea mays* como biosorbente natural tiene una elevada eficiencia en la remoción de Cromo hexavalente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

#### 2.1.1 Metales Pesados

Los metales pesados son compuestos químicos que poseen una elevada densidad y poseen propiedades tóxicas, entre los principales tenemos: As, Cr, Cd y Pb. Estos metales pesados son elementos naturales que se encuentran en toda la corteza de la tierra, y como característica principal no pueden ser degradados o destruidos fácilmente y se pueden acumular en ecosistemas bióticos y abióticos. La gran parte de la contaminación y exposición humana se da por actividades antropogénicas como la minería y fundición; la corrosión del metal también es fuente de contaminación. Sin embargo, existen informes donde la meteorización y erupciones volcánicas son contribuyen a la contaminación por metales pesados. Por otro lado, se considera que los metales pesados son elementos traza ya que están en concentraciones muy bajas (rango de  $\mu\text{g/L}$  a menos de  $10 \text{ mg/L}$ ) en diversas. La biodisponibilidad es afectada por diferentes factores físicos como la temperatura, la asociación de fase y adsorción; también es influenciado por factores químicos que contribuyen en el equilibrio termodinámico, la cinética de complejación etc. (Pacheco, 2016).

#### 2.1.2. Cromo

Es un elemento metálico que se encuentra de forma natural en rocas, animales, plantas y en el suelo, donde se suele interactuar con otros elementos originando diversos compuestos. El Cr posee 3 formas principales: Cr (0), Cr (III) y Cr (VI). Se puede encontrar Cr en distintos productos como: madera tratada con dicromato de cobre, en los cueros curtidos con sulfato crómico, artículos

de acero inoxidable. En el aire, suelo y agua existe Cr luego de ser liberado por industrias como industria de galvanoplastia, curtido de cuero, producción de textiles y en la manufactura de productos a base de Cr; sin embargo, puede liberarse al quemar gas natural, petróleo o carbón (Pacheco, 2016).

El Cromo es d Color Blanquecino opaco con numero atómico 24, en la naturaleza lo encontramos en forma de cromita generando un gran interés geoquímico; el Cr presenta dos estados de oxidación Cr III y Cr VI, siendo este último y más dañino ya que es fácil de absorberse por la piel ocasionando efectos nocivos para l salud (Pintado, 2018).

El Cr es uno de los metales más utilizados gracias a sus propiedades oxidantes y ácidas; dentro de los compuestos más resaltantes que se forman a partir del Cr VI tenemos al dicromato d potasio y sodio. Cabe resaltar que el Cr es uno de los elementos más contaminantes en el ambiente puesto que química y biológicamente no se descomponen con facilidad (Pintado, 2018).

### **2.1.3. Toxicidad del Cr<sup>+6</sup>**

**Agua:** En sistemas acuáticos, la toxicidad de los compuestos solubles del Cr varía en función a la temperatura, pH y dureza del agua. El Cr (III) tienen gran estabilidad, a diferencia de los compuestos del cromo (VI).

**Plantas:** el Cr VI puede generar daños al sistema radicular. Los efectos tóxicos que el cromo ocasiona en las plantas han sido descritos en función a pruebas vasculares. No sólo diversas especies sino también diferentes partes internas de las plantas presentan maneras distintas de asimilar el cromo y en el tipo de lesiones que les causa. E

**Seres humanos:** gracias a su insolubilidad, el cromo metálico no es tóxico en el agua. Los distintos compuestos del Cr<sup>+6</sup> generan más amenazas debido a sus efectos genéticos. Los daños

que causan los compuestos del  $\text{Cr}^{+6}$  no sólo ha sido demostrado experimentalmente con animales, sino también se confirmó con estudios epidemiológicos realizados a grupos humanos expuestos a esta sustancia en su lugar de trabajo (Garces y Coavas, 2012).

#### **2.1.4. Remoción de metales**

Los metales pesados como el cobre, cadmio, mercurio, cromo y plomo se hallan en las aguas residuales, siendo resultado de diversos procesos industriales y, como consecuencia de su toxicidad sus concentraciones deben reducirse a niveles muy bajos antes de ser descargados

Hay que resaltar que los metales pesados no pueden degradarse, sino transformarse o removerse del medio, es así como hay una diversidad de métodos convencionales para la remoción de metales pesados. Así tenemos métodos fisicoquímicos, como, precipitación química, intercambio iónico, oxidación o reducción, tratamientos electroquímicos y filtración han sido empleados constantemente para la remoción de metales pesados de las descargas de diferentes desechos industriales. Los Métodos físicos, como es el caso de la sedimentación y/o filtración, se aplican para la remoción del precipitado del agua tratada. Este proceso necesita: que se regule el pH, se agregue un precipitante químico y floculación.

Otro tradicional método que se tiene para la remoción de metales pesados de soluciones acuosas es la adsorción, el proceso de adsorción comprende la separación de una sustancia que está en una fase fluida, en la superficie de un adsorbente sólido. Los procesos de adsorción son inestables, y producen un método parcialmente simple en cuanto a la remoción de contaminantes o impurezas de líquidos o gases. Los adsorbentes más empleados a nivel industrial son: carbón activado, gel de sílice, alúmina, y aquellos que tengan una estructura superficial porosa y, por ende, una considerable área superficial. La biosorción cumple algunos requisitos para emplear materiales

naturales y/o residuos industriales (Dávila, 2012).

### **2.1.5. Bioadsorción**

Para tratar grandes volúmenes de efluentes contaminados las resinas de intercambio iónico son muy costosas, es por ellos que se emplea microorganismos o residuos orgánicos como alternativa muy eficiente y menos costosa. Es por ello que la bioadsorción es un proceso fisicoquímico que involucra procesos de adsorción y absorción de moléculas e iones; esta técnica poco convencional tiene como fin la remoción de metales pesados en aguas residuales provenientes de distintas industrias, empleando como sorbente diferentes materiales de origen biológico ya sea vivo o muerto como: algas, hongos, bacterias, desechos agrícolas y algunos biopolímeros. Estos materiales son poco costosos y están disponibles en la naturaleza, transformar dichos materiales a un biosorbente no resulta caro. Todo proceso de bioadsorción embarga una fase sólida (biomasa) y una fase líquida (agua) que mantiene disuelta la sustancia de interés que será adsorbida en este caso: los iones de los metales pesados (Pacheco, 2016).

Para la eficiencia de un proceso de bioadsorción se debe tener afinidad entre los grupos funcionales del contaminante y la biomasa ya que el primero debe ser atraído hacia este último y enlazado por diferentes mecanismos (Pacheco, 2016).

El proceso de captación de metales se cataloga de la siguiente manera:

**Bioacumulación:** Adsorción de las especies metálicas a través de mecanismos de acumulación al interior de las células de biomasa vivas.

**Biosorción:** adsorción de los iones en la superficie de la célula. Esto puede darse por intercambio iónico, precipitación, complejación o atracción electrostática (Pacheco, 2016).

### **2.1.6. Bioadsorción de Metales Pesados**

La bioadsorción es la técnica de extracción de mezclas donde se emplean diversos tipos de biomasa mediante procedimientos no metabólicos, - bio indica que el adsorbente es de origen orgánico. En la bioadsorción, de acuerdo con el componente asociado a la colaboración entre el exterior del material y el contaminante, podemos reconocer la reacción física, que involucra la cooperación de los poderes de fascinación con el exterior del adsorbente, y la reacción química que se origina con el desarrollo de enlaces compuestos. La recuperación de los metales es sencilla y la biomasa se mantiene como un intercambiador de partículas. Esta estrategia emplea pocos materiales como adsorbente, y logra la recuperación del metal luego del tratamiento (Bravo, 2020).

### **2.1.7. Biomateriales**

Los biosorbentes son materiales que se originan de la flora microbiana, algas, plantas, biomasa residual, desechos agroindustriales o algunos biopolímeros: Los biomateriales ingresan a tratamientos fisicoquímicos sencillos y de bajo costo para mejorar su capacidad de biosorción en los procesos de remoción de metales o recuperación de especies metálicas en solución. La calidad del biosorbente está en base a la cantidad de sorbato que atare y retiene. Todos los biomateriales poseen características en su estructura (rigidez, porosidad, festividad, entre otras) y composición química (grupos funcionales o sitios activos para la unión con los iones metálicos) que permiten la formación de fuertes enlaces con los iones metálicos, también determinan las posibles modificaciones químicas o físicas que se presentan para incrementar el potencial de adsorción del biomaterial (Pacheco, 2016).

**Tabla 1.**

*Materiales biosorbentes usados para la adsorción de metales pesados*

<b>Tipos de Absorbente</b>	<b>Biosorbente</b>
	<b>Penicilium</b>
<b>Organismos Vivos</b>	<b>Aspergillus Rizopus</b> <b>Paecilomyces</b>
	<b>Cáscara de Tamarindo</b>
<b>Biomasa</b>	<b>Cáscara de Naranja</b> <b>Cebada</b>
	<b>Bentonita-Quitosano</b>
<b>Biomasa</b>	<b>Quitosano</b> <b>Epiclorhidrinatрифосфато</b>
<b>Carbones Activados</b>	<b>Carbón activado a partir Esccherichi coli y carbón activado a partir de Arthrobacter viscous. Carbón activado a partir de cáscara de coco.</b>
	<b>Biomasa reticulada con glutraldehido</b>
<b>Modificación</b>	<b>Biomasa reticulada con cloruro de calcio</b>

## Química

### Biomasa modificada con ácido cítrico

---

	<b>Arena</b>
<b>otros materiales</b>	<b>Zcolita</b>
	<b>Cenizas Volantes</b>

---

**Nota. (Pacheco, 2016).**

### 2.1.8. Tipos de Bioadsorción

Considerando las fuerzas de interacción entre las moléculas de adsorbente y adsorbato, se considera la presencia de 2 tipos de adsorción:

**Adsorción física:** Cuando se dan gracias a las fuerzas de Van del Waals como las interacciones tipo dipolo-dipolo, dipolo-dipolo inducido o fuerzas de dispersión, se emplea el término de adsorción física o fisisorción, este tipo de adsorción, la molécula adsorbida no se encuentra fija en un lugar específico de la superficie, sino que se encuentra libre de trasladarse en la interfaz.

**Adsorción química:** Cuando las fuerzas son enlaces covalentes se usa el término de adsorción química o quimisorción, en este caso el adsorbato forma enlaces fuertes en los centros activos del adsorbente, es parecida a una reacción química y necesita una transferencia de electrones entre adsorbente y adsorbato (Garces y Coavas, 2012).

### 2.1.9. Fisicoquímica del Proceso de bioadsorción

La bioadsorción se puede ver afectada de forma positiva o negativa, por algunas variables

como la temperatura, pH, tamaño de partículas o por la presencia de otros iones. Dichos parámetros pueden aumentar o disminuir la captación de los iones metálicos. Es así que el pH y el tamaño de partícula, son factores que influyen más en el proceso de bioadsorción utilizando biomasa y en todos los casos en los que se trabaja con materia orgánica, pero hay otros factores como la temperatura, velocidad de agitación, entre otros (Pacheco, 2016).

- **Efecto de la temperatura** Un incremento desmesurado de temperatura puede originar un cambio en la textura del sorbente y un deterioro del material que desembocan en una pérdida de capacidad de sorción (Pacheco, 2016).
- **Efecto de pH** El pH es el parámetro que controla los procesos de bioadsorción de metales en diferentes adsorbentes, debido al hecho, de que los iones hidrógeno se constituyen en un adsorbato fuertemente competitivo. La adsorción de iones metálicos depende de la naturaleza de la superficie adsorbente y de la distribución de las especies químicas del metal en la solución acuosa. El valor del pH de la fase acuosa es el factor más importante tanto en la adsorción de cationes como de aniones, siendo el efecto diferente en ambos; es así que mientras para la adsorción de cationes es favorable para valores de pH superiores a 4 - 5, la adsorción de aniones prefiere un valor bajo de pH, entre 1 - 5 y 4 (Pacheco, 2016).
- **Efecto del tamaño de partícula** La bioadsorción tiene lugar en el interior de las partículas, sobre las paredes de los poros en puntos específicos. La cantidad de adsorbato (solute) que puede adsorber es directamente proporcional al volumen, y este volumen es directamente proporcional al área externa y una partícula pequeña tiene mayor área superficial, es decir mayor área de la superficie interna por su cantidad de poros por unidad de masa (Pacheco, 2016).

- **Presencia de otros de iones** La presencia de iones en la disolución ocasiona que estos compitan con el metal en el interés de las zonas de sorción (Pacheco, 2016).

**2.1.1.0. Mecanismo de adsorción del Cromo.** Según investigaciones realizados en distintas especies de cromo en fase sólida y acuosa, se ha demostrado que el principal mecanismo de eliminación de Cr (VI) para diferentes biomateriales fue la reacción de *oxido-reducción* de Cr (VI) a Cr (III). Los bioadsorbentes pueden remover el Cr (VI) de medio acuoso mediante dos mecanismos:

- *Mecanismo de óxido-reducción directo*
- *Mecanismo de óxido-reducción indirecta*

Al usar la cáscara de Maíz como bioadsorbente se produce el mecanismo de óxido-reducción indirecta (Garces y Coavas, 2012).

El mecanismo de *óxido-reducción indirecta* se basa en 3 pasos:

1. La unión del  $\text{Cr}^{+6}$  a los grupos cargados negativamente, los cuales se encuentran en la superficie del biomaterial, entre estos grupos tenemos: los iones carbonilo y amino, presentes en la cáscara de maíz

2. La reducción del  $\text{Cr}^{+6}$  a  $\text{Cr}^{+3}$  por los grupos donadores de electrones adyacentes del bioadsorbente.

3. Liberación del  $\text{Cr}^{+3}$  reducido en la fase acuosa gracias a la repulsión electrónica entre los grupos con carga positiva y  $\text{Cr}^{+3}$ , proceso denominado elución o desorción (Garces y Coavas, 2012).

**2.1.11. Maíz (Zea Maíz).** El maíz (*Zea mays*) es una planta perteneciente a la familia de las gramíneas, tribu maideas siendo la única especie cultivada de este género, cuyo origen se cree

inicio en los trópicos de América Latina.

El maíz es una planta oriunda del Perú, esto quiere decir que nuestros antiguos peruanos lo domesticaron, gracias a las diversas variedades de este producto y el cultivo intensivo del maíz, los incas pudieron satisfacer la alimentación de su población y de esa manera se extendió su cultivo y consumo a lo largo y ancho del imperio incaico. Con la llegada de los españoles el maíz y otros productos como la papa, el camote, la quinua etc. fue llevado a España y de esa manera se expendió su cultivo y consumo del maíz a nivel mundial (García, 2021)

**Tabla 2**

*Clasificación Taxonómica del maíz*

<b>Reyno</b>	<b>Vegetal</b>
<b>División</b>	<b>Tracheophyta.</b>
<b>Sub- División</b>	<b>Pterapsidae.</b>
<b>Clase</b>	<b>Angiosperma</b>
<b>Subclase</b>	<b>Monocotiledoneae.</b>
<b>Orden</b>	<b>Graminales.</b>
<b>Familia</b>	<b>Graminea</b>
<b>Tribu</b>	<b>Graminea</b>
<b>Género</b>	<b>Zea</b>
<b>Especie</b>	<b>Mays.</b>
<b>Nombre Común</b>	<b>Zea Mays L.</b>

**Nota. (García, 2021)**

**2.1.1.2. Prueba de Jarras.** El método más representativa para determinar el comportamiento de los coagulantes y floculantes a escala pequeña es el ensayo de “Prueba de Jarras”, es un método de simulación de los procesos de coagulación y floculación, realizado a nivel de laboratorio; cuyo objetivo es determinar la dosis óptima mediante variables físicas y químicas de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, tales como; selección del coagulante, selección del pH óptimo, gradientes, tiempos de agitación, correlación de las velocidades de sedimentación, la eficiencia de remoción, entre otros (Castellanos y Tusarma, 2014).

En este proceso influyen factores químicos e hidráulicos, como:

- ✓ pH
- ✓ Temperatura
- ✓ Concentración de coagulante
- ✓ Secuencia de aplicación de las sustancias químicas
- ✓ Grado de agitación
- ✓ Tiempo de sedimentación

El pH juega el papel fundamental en el estudio de los fenómenos de coagulación-floculación, es así como una parte de la carga de las partículas coloidales que han absorbido iones  $\text{OH}^-$ , queda destruida por un aumento de la concentración de iones  $\text{H}_3\text{O}^+$  lo que genera una reducción de la estabilidad de la suspensión coloidal (Castellanos y Tusarma, 2014).

La temperatura del agua también influye en la eficiencia de la coagulación y en la velocidad de formación del flóculo. Mientras se reduce la temperatura del agua debe incrementar la dosis de productos químicos usados para coagular, con el fin de alcanzar la formación de flóculos adecuados (Castellanos y Tusarma, 2014).

El tiempo de agitación del coagulante es necesario para que el producto usado se difunda con la mayor rapidez posible. El tiempo de coagulación es rápido, menos de un segundo y la dosis óptima del coagulante exige que la neutralización sea total antes de que una parte del coagulante haya comenzado a precipitar.

El ensayo de jarras necesita como datos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua a tratar. La unidad de mezcla típica consiste en una serie de agitadores de paletas acoplados mecánicamente para operar a la misma velocidad, generalmente entre 10 a 300 rpm (Castellanos y Tusarma, 2014).

## **2.2 Marco Conceptual**

### **2.2.1 Definición de Términos**

- **Biosorción:** fenómeno de captación pasiva de iones metálicos o de otras sustancias. Se basa en el aprovechamiento de la propiedad que tienen algunos tipos de biomasas inactivas o muertas para enlazar y acumular a estos elementos a través de mecanismos de intercambio iónico, adsorción física y complejación (Silva, 2021).

Bioadsorción: proceso que permite la captación activa de iones metálicos a causa de diversas biomasas muertas o vivas (Silva, 2021).

- **Adsorción:** Acumulación de sustancias en una superficie o interfase. Este proceso puede darse en una interfase que separa a dos fases, como líquido-líquido, gas-líquido, gas-sólido, o líquido-sólido. El material que se concentra en la superficie o se adsorbe es llamado adsorbato y la fase adsorbente se llama adsorbente (Paredes y Valle, 2020)
- **Contaminación del Agua:** Es la modificación de su estado natural del agua. El agua contaminada sufre cambios físicos (color, temperatura, suspensiones, etc.), químicas

(composición, sustancias disueltas, etc.) o biológicas, por ello no cumple sus funciones ecológicas (Paredes y Valle, 2020)

- **Cromo:** Es un metal de transición bastante duro y poco alterable, su símbolo químico es Cr y su número atómico es 24, se encuentra en modo de terrones, gránulos, polvo o cristales y es soluble en ácido sulfúrico (Silva, 2021).
- **Medio acuoso:** Es una preparación líquida que posee una o más sustancias químicas (metales) solubles disueltas en agua (Silva, 2021).

### 2.3. Marco Legal Ambiental

La Constitución Política del Perú – Título III, Capítulo II: Del Ambiente y los Recursos Naturales. La Constitución Política del Perú de 1993, en su artículo 2º, inciso 22, establece que “Toda persona tiene derecho a la paz, la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida”. Asimismo, los artículos 66º, 67º, 68º y 69º establecen que los recursos naturales, renovables y no renovables son patrimonio de la Nación, siendo el Estado el promotor del uso sostenible de éstos.

Ley General de Salud N° 26842, del año 1997. Se reconoce la responsabilidad del Estado frente al cuidado de la salud del ambiente. Así tenemos en el Artículo N° 96 del capítulo IV, se alude que para la disposición de sustancias y productos peligrosos deben tomarse todas las medidas y precauciones necesarias para evitar daños a la salud y el ambiente. De igual modo, los artículos 99, 104 y 107 del Capítulo VIII, indican sobre los desechos y responsabilidades de las personas naturales o jurídicas, a no realizar descargas de compuestos o sustancias contaminantes al aire, agua o suelo.

*La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611, Conforme al artículo N°1. Toda persona tiene*

el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y tiene el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, para asegurar la salud, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y desarrollo sostenible del país.

En su Artículo N° 31 trata sobre el Estándar de Calidad Ambiental, y lo define como: La medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

*Ley N° 29338. Ley de Recursos Hídricos, del 31 de marzo de 2009*, esta ley tiene por finalidad normalizar el uso y gestión integrada del agua, la participación del Estado y los privados en dicha gestión, basándose en los principios de valoración del agua, priorizar el acceso al agua, participación de los ciudadanos y cultura del agua, seguridad jurídica, el respeto de los usos de agua por las comunidades campesinas y nativas, sustentabilidad, descentralización, prevención, eficiencia, gestión integrada y tutela jurídica; en este sentido se ha creado el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, siendo la Autoridad Nacional del Agua el ente rector y la máxima autoridad técnico normativa la cual está integrada por el Consejo Directivo, Jefatura, Tribunal de Resolución de Controversias Hídricas, Órganos Desconcentrados denominados Autoridades Administrativas del Agua y Administradores Locales del Agua; y Órganos de Apoyo.

*Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, D.S. N° 001-2010 - AG*, en su Artículo 103 trata sobre la protección del agua, indica que, la protección del agua tiene como finalidad la prevención y deterioro de su calidad; proteger y mejorar el estado de los cuerpos naturales y los

ecosistemas acuáticos; implantar medidas; específicas para eliminar o minimizar progresivamente las causas que generan su contaminación y degradación.

*D.L N° 1083-2008-ANA.* El presente decreto legislativo establece el marco normativo para promover el aprovechamiento racional y la conservación de los recursos hídricos motivando el desarrollo de una cultura de uso responsable entre todos los usuarios y operadores de infraestructura hidráulica, pública o privada. La ANA, fija los parámetros de eficiencia para el aprovechamiento de los recursos hídricos, los cuales son requisitos máximos y mínimos aplicables a cada tipo y forma de uso del recurso. La ANA brinda Certificados de Eficiencia en la cual consta el uso eficiente, así como Certificados de Creatividad, Innovación e Implementación para la Eficiencia del Uso del Agua.

*Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.* Compila las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N°002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N°023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N°015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo.

Las categorías establecidas para los estándares de calidad ambiental para agua son:

Categoría 1: Poblacional y Recreacional.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino-costeras y continentales.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

### **III. MÉTODO**

#### **3.1 Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo aplicada, porque pretende generar nuevos conocimientos de tal manera que puedan ser aplicados en la vida real para resolver un problema, de acuerdo a nuestros objetivos se pretende encontrar la dosis óptima de un floculante natural para remover concentraciones ya conocidas de Cromo hexavalente hasta alcanzar una máxima eficiencia, dependiendo de las dosis del floculante utilizado, el cual será desarrollado mediante un proceso operativo donde la muestra será acondicionada y preparada a nivel de laboratorio.

El diseño metodológico desde un punto de vista cuantitativo es experimental, y por su grado de manipulación de variables se encuentra dentro de los experimentales puros, debido a que se manipulará intencionalmente la variable independiente (Bioadsorción de la panca de maíz *Zea mays*) las veces que sea considerada, con la finalidad de poder observar el comportamiento o cambios en la variable dependiente (Remoción de Cromo hexavalente).

#### **3.2. Ámbito temporal y espacial**

##### **3.2.1. Ámbito temporal**

El presente trabajo de investigación será desarrollado durante los meses comprendidos entre mayo y agosto del 2023; y utilizando información bibliográfica comprendida entre los años 2012 al 2022. Los ensayos a nivel experimental serán desarrollados en los meses de mayo y junio, mientras que la búsqueda de información se inició en el mes de marzo hasta julio del 2023. Para la presentación final de la investigación el investigador a proyectado entregarlo al término del mes de agosto del 2023.

### **3.2.2. Ámbito espacial**

El trabajo de investigación, debido a que es un estudio experimental puro, sin un muestreo de campo, el ámbito espacial se circunscribe solamente al laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la UNFV. Las muestras serán preparadas en el mismo ambiente de trabajo operacional bajo condiciones controladas por el investigador. La ubicación geográfica del lugar de estudio corresponde a las coordenadas UTM: 277 097 E y 8 667 468 N, (LAGEMA-FIGAE-UNFV).

### **3.3. Variables**

#### **3.3.1. Variable Independiente**

Biosorción de la panca de maíz “Zea mays”.

#### **3.3.2. Variable Dependiente**

Remoción de Cromo hexavalente.

**Tabla 3. Operacionalización de Variables de Investigación**

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
<p><b>Variable Independiente</b> Bioadsorción de la panca de maíz "<i>Zea mays</i>".</p>	<p>Proceso de eliminación de solutos (i.e. metales pesados, compuestos orgánicos, etc.) de soluciones acuosas, mediante la adhesión pasiva a biomasa inerte. El proceso de biosorción tiene como característica principal la retención del metal en la superficie celular del biosorbente (Dávila, 2012).</p>	<p>Para realizar la bioadsorción se evaluarán los factores que intervienen y permiten desarrollar este proceso, estos factores son parámetros fisicoquímicos, propiedades del contaminante, propiedades de la biomasa y condiciones del medio (Concentración, dosis, tiempo, velocidad de agitación, volumen y otros)</p>	<p>BIOADSORCIÓN DE PANACA DE MAÍZ</p>	<p>Dosis (ml) Tiempo (Minutos) Velocidad de Agitación (RPM) Concentración (g/l)</p>
<p><b>Variable Dependiente</b> Remoción de Cromo hexavalente</p>	<p>Existen varios métodos para la remoción de metales pesados de efluentes como: electrodiálisis, intercambio iónico y ultrafiltración. Estos son algunos procesos que se emplean para la remoción de elevadas concentraciones de metales pesados (Kuyucak, 1990)</p>	<p>Para evaluar la remoción de Cromo VI se tomará en cuenta su concentración inicial de trabajo considerado por el investigador, para luego ser sometido a un proceso de tratamiento con floculantes naturales y observar sus nuevos niveles alcanzados, asimismo, tomaremos en cuenta los niveles de eficiencia obtenidos en cada caso.</p>	<p>PARAMETRO INORGANICO (Cromo hexavalente)</p>	<p>Concentración (mg/l) Eficiencia (%)</p>

### **3.4. Población y muestra**

#### **3.4.1. Población**

La población corresponde a la cantidad o volumen total de muestras sintéticas que se prepararán en el laboratorio (LAGEMA-UNFV), dichas muestras estarán preparadas a diferentes concentraciones de Cromo VI y corresponderán a un volumen total de 75 litros.

#### **3.4.2. Muestra**

El volumen de muestra para nuestro ensayo experimental es la misma que corresponde a la población, siendo un total de 75 litros. La cantidad mínima de volumen a trabajar es de 1000 ml por muestra, por lo cual se pretende obtener 5 litros por corrida, y se deberá incluir dos repeticiones, obteniéndose 15 litros por tratamiento. De la misma manera que la primera corrida se pretende realizar cuatro corridas adicionales con distintas concentraciones, llegándose a complementar con 60 litros más, y haciendo un total de 75 litros finales.

### **3.5. Instrumentos**

#### **3.5.1. Técnicas**

- Prueba de Jarras o Jar Test.
- Manual de bioseguridad de laboratorios-UNFV.
- Métodos Estandarizados para análisis de aguas naturales y residuales

#### **3.5.2. Instrumentos**

- Fichas de recolección de datos
- Fichas textuales
- Ficha de observación

#### **3.5.3. Equipos y materiales**

- Espectrofotómetro UV-Visible
- Floculador programable
- Balanza Analítica.
- Mortero
- Tamiz N° 80 ASTM
- Estufa de secado eléctrica

### **3.6. Procedimiento**

El procedimiento que se consideró para el desarrollo de nuestra investigación toma en cuenta cuatro procesos secuenciales: i) Preparación del bioadsorbente y muestras, ii) Corrida experimental, iii) Determinación de Cromo VI y; iv) Análisis final.

#### **3.6.1. Preparación del Bioadsorbente y Muestras**

En los ambientes del laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE, se preparó el bioadsorbente a partir de la panca de maíz.

El proceso se inició con un lavado general de la panca con agua potable y posteriormente con agua destilada.

Seguidamente se realizó un secado de la panca en la estufa eléctrica por un tiempo de 24 horas a una temperatura promedio de 75°C.

Una vez transcurrido el tiempo de secado, la panca se llevó a un triturador o licuadora industrial para reducir su tamaño hasta alcanzar un grano fino.

Terminado el proceso anterior se procedió a realizar un tamizado final de la muestra con el tamiz N° 120 (0.125 mm).

Posteriormente se procedió a pesar las cantidades de bioabsorbente de acuerdo con las dosis

consideradas en la investigación, siendo estas de 5, 10, 15, 20 y 25 g.

Habiendo quedado listo el bioabsorbente para el ensayo, se continuo con la preparación de las soluciones de Cromo VI, el cual inició con un Patrón de 1000 ppm. Estas muestras sintéticas fueron preparadas a partir de un soluto de Dicromato de Potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ), previamente secado en la estufa a  $105^\circ C$  por 2 horas.

A partir de la solución Patrón de Cromo VI, se procedió a preparar las soluciones estándar de 10, 20, 30, 40 y 50 ppm.

### **3.6.2. Ensayos de Jar Test**

- Los ensayos experimentales del tratamiento fisicoquímico fueron realizados mediante el Jar Test, para lo cual se acondicionó 5 jarras conteniendo las muestras con Cromo VI a diferentes concentraciones y un único volumen para todos los casos de 1 litro cada uno.
- La primera corrida fue trabajada con la concentración de 10 ppm de Cromo VI y 1 litro de muestra para las 5 jarras. El ensayo se realizó en el floculador programable donde las revoluciones consideradas fueron de 200 RPM en el rango rápido y de 50 RPM en el rango lento.
- El tiempo total de contacto considerado para todos los casos del ensayo fue de 30 minutos y otros 30 minutos de sedimentación final.
- Terminado el procedimiento anterior se procedió a tomar una cantidad de 200 ml de muestra sobrenadante de las 5 jarras y se realizó una filtración en envases plásticos de primer uso de 100 ml, correctamente rotulados con su codificación respectiva para la determinación de cromo VI final.
- De esta concentración de 10 ppm se realizaron dos replicas complementarias de tratamiento, con los mismos pasos ya indicados.

- Para el tratamiento de las muestras con concentraciones de 20, 30, 40 y 50 ppm se procedió exactamente igual de acuerdo con los pasos desarrollados con la muestra de 10 ppm, el cual tiene finalmente 5 tratamientos con 75 litros de muestra total.

### **3.6.3. Determinación del Cromo VI**

- Una vez obtenida la muestra filtrada en los envases de 100 ml se procedió a determinar la concentración de Cromo VI, el cual fue analizado y cuantificado en el espectrofotómetro UV-Visible aplicando el método colorimétrico.
- Se tomó una muestra de 50 ml de volumen y se acidificó ligeramente con ácido sulfúrico.
- Se procedió a preparar una solución acida de difenilcarbocida, tomando 0.2 g del soluto químicamente puro, diluyéndolo en una mezcla de alcohol etílico de 90° (100 ml) y una solución de ácido sulfúrico 1:10 (400 ml).
- Seguidamente, se procedió a preparar los estándares de Cromo VI, con concentraciones de 0.0, 2.5, 5.0 y 10 mg/l, en un volumen de 50 ml.
- Terminado el acondicionamiento de las muestras y estándares en un volumen de 50 ml y en medio acido se procedió a adicionar 2.5 ml de solución acida de difenilcarbocida, agitando ligeramente y dejando en reposo aproximadamente 10 minutos.
- Una vez desarrollado el color rojo-violeta se efectuó las lecturas en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 540 nm.
- Finalmente se elaboró la curva de calibración con los estándares preparados y se determinó las concentraciones finales de cada una de las muestras.

### **3.6.4. Análisis Final**

Concluida la determinación de Cromo hexavalente por el método colorimétrico en el espectrofotómetro UV-Visible, se procedió a evaluar los resultados finales operados en las pruebas

de jarras y analizar cuáles fueron las dosis óptimas para cada uno de los ensayos en relación con las diferentes concentraciones iniciales y finales.

Finalmente, se evaluó las eficiencias obtenidas de acuerdo con las dosis del bioabsorbente aplicado en cada una de las muestras, y con ello finalmente se procedió a elaborar los cuadros y graficas respectivas con la intención de observar el comportamiento de cada dosis óptima utilizada.

De acuerdo con los resultados finales obtenidos y evaluados analíticamente se obtuvo las conclusiones definitivas de nuestro trabajo de investigación.

### **3.7. Análisis de datos**

Para el análisis de datos cuantitativos se tomó en cuenta los niveles de medición de las variables y se aplicó la estadística que permitió describir las características principales de las variables dependientes e independientes, tomadas individualmente.

Se llevó a cabo un análisis y descripción cada una de las variables para lo cual se utilizó el programa Ms. Excel 2010; además se usó para presentar la estadística descriptiva tablas y gráficas de datos y para presentar la distribución de los datos se realizará empleando graficas lineales, todo esto con el propósito de conocer cuáles fueron las dosis más óptimas y determinar las eficiencias en la bioadsorción de Cromo hexavalente por el floculante natural y probar mediante la contratación de las hipótesis.

## IV. RESULTADOS

Con la finalidad de obtener las concentraciones de Cr VI en los diferentes tratamientos realizados con la panca de maíz, se optó por trabajarlos con variadas dosis, de manera que se pueda conocer las eficiencias para cada caso en particular.

Las dosis utilizadas en el tratamiento con panca de maíz fueron de 5, 10, 15, 20 y 25gr, para la remoción de Cr VI a 10, 20, 30, 40 y 50 ppm, el volumen de trabajo utilizado para todas las muestras fue de 1 litro, un tiempo de agitación de 30 minutos, con rangos rápidos de 200 rpm y rango lentos de 50 rpm con un tiempo de sedimentación de 30 minutos.

Cada tratamiento fue realizado por duplicado, y se elaboraron tablas y figuras en función a los promedios obtenidos, con la finalidad de que se pueda observar el comportamiento asumido al añadir diferentes dosis de adsorbente.

A continuación, tenemos los resultados de la caracterización de la muestra sintética creada en laboratorio, las dosis óptimas de la cáscara de maíz, las concentraciones obtenidas después del tratamiento; y las eficiencias finales de la cáscara de maíz en los diferentes tratamientos.

### 4.1. Caracterización de Cromo VI en muestra sintética.

A continuación, se muestran los resultados de la caracterización de las soluciones de Cromo VI: la solución Patrón de 1000 ppm y las muestras sintéticas de 10, 20, 30, 40 y 50 ppm preparadas a partir del ( $K_2Cr_2O_7$ ).

**Tabla 4**

*Resultados de la caracterización de la solución patrón y soluciones estándar*

<b>SOLUCIONES ESTANDARES DE Cr VI</b>						
Parámetro	1000ppm	10ppm	20 ppm	30ppm	40 ppm	50 ppm
pH	5.19	5.22	5.26	5.34	5.31	5.32

En la tabla 4 podemos observar los niveles de pH de las soluciones estándar obtenidas antes de iniciar los diferentes tratamientos con el adsorbente de cáscara de maíz.

## **4.2. Dosificación de Biosorbente**

### **4.2.1 Tratamiento con panca de maíz para una Concentración de Cromo al 10 ppm**

A continuación, se muestran los tres resultados del primer tratamiento, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

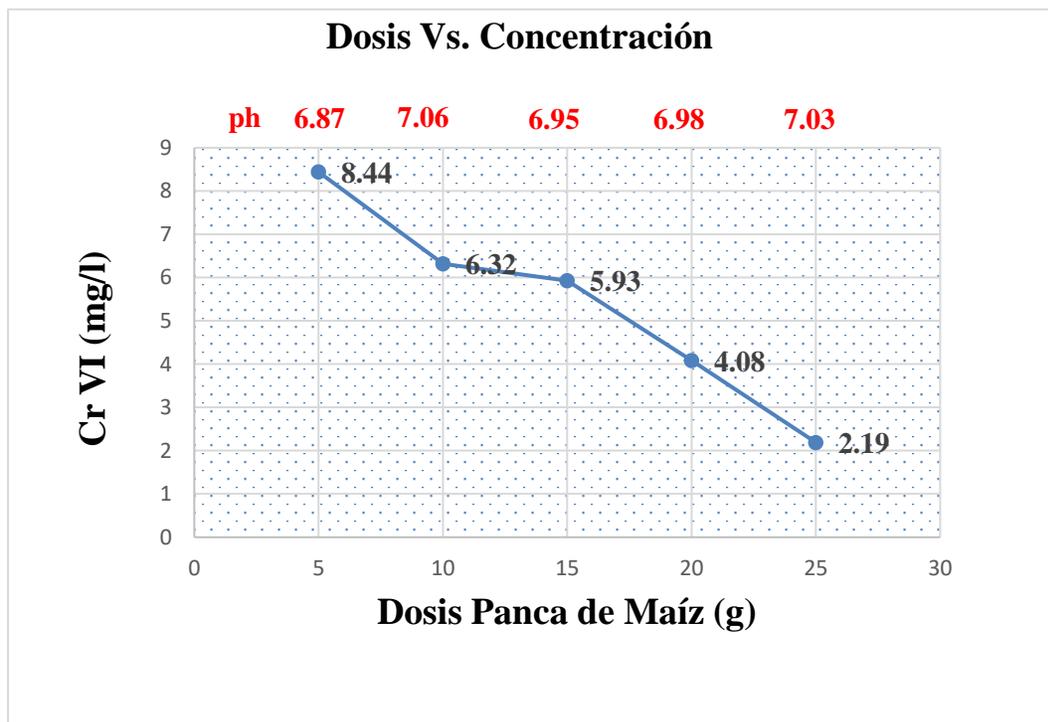
- Volumen de trabajo: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial de trabajo: 5.22
- Concentración Inicial de Cr VI: 10 ppm = 10 mg/l

**Tabla 5***Resultados del primer ensayo: Cromo VI Vs Panca de Maíz*

	<b>Dosis panca de maíz (g)</b>				
<b>Biosorbente</b>	<b>5g</b>	<b>10g</b>	<b>15g</b>	<b>20g</b>	<b>25g</b>
<b>Concentración</b>			10		
<b>Inicial Cr<sup>6+</sup> (mg/l)</b>					
<b>pH</b>	6.87	7.06	6.95	6.98	7.03
<b>Concentración Final</b>					
<b>Cr<sup>6+</sup> (mg/l)</b>	8.42	6.32	5.92	4.21	2.18
<b>Repeticiones</b>					
<b>1ra Repetición</b>	8.39	6.52	6.02	3.95	2.20
<b>2da Repetición</b>	8.51	6.12	5.85	4.08	2.19
<b>PROMEDIO</b>	<b>8.44</b>	<b>6.32</b>	<b>5.93</b>	<b>4.08</b>	<b>2.19</b>

**Figura 1**

*Concentración de Cr (10 mg/l) Vs. Dosis de panca de Maíz*



Del primer ensayo realizado, se puede observar en la figura, que al trabajar con una concentración inicial de 10 mg/l de Cromo, los niveles empiezan a disminuir hasta alcanzar un valor final de 2.19 mg/l con la dosis de 25 g del absorbente.

#### **4.2.2. Tratamiento con panca de maíz para una Concentración de Cromo al 20 ppm**

A continuación, se muestran los tres resultados del segundo tratamiento, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen de trabajo: 1L por muestra de tratamiento.

- pH inicial de trabajo: 5.26
- Concentración Inicial de Cr VI: 20 ppm = 20 mg/l

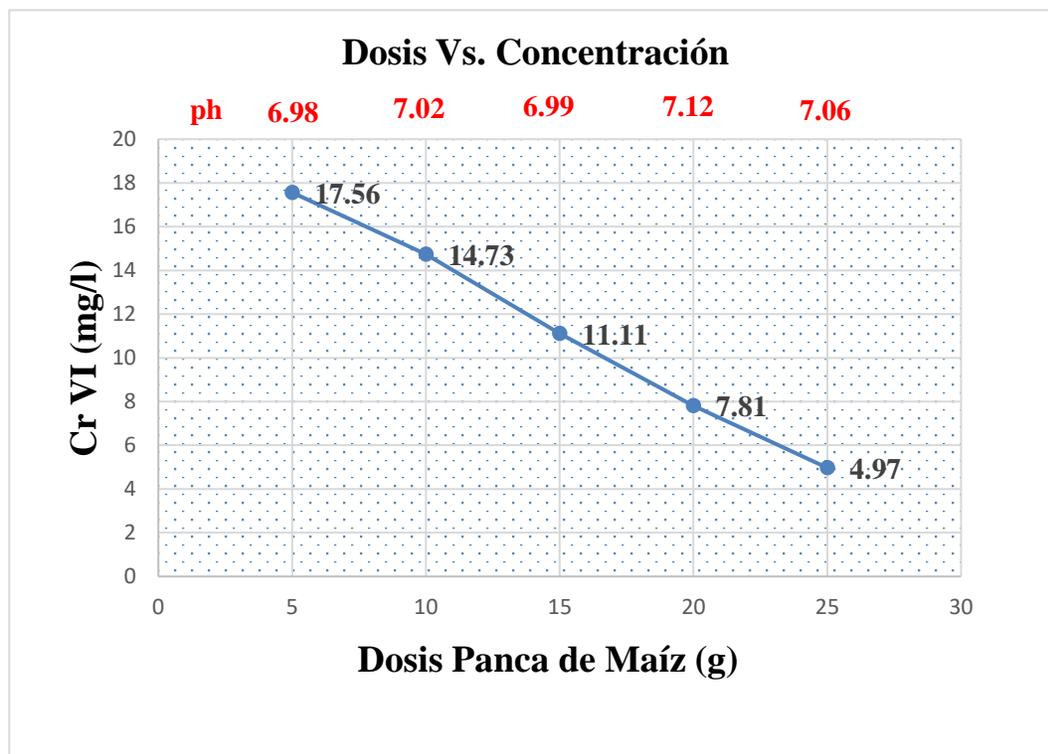
**Tabla 6**

*Resultados del segundo ensayo: Cromo VI Vs Panca de Maíz*

	<b>Dosis panca de maíz (g)</b>				
<b>Biosorbente</b>	<b>5g</b>	<b>10g</b>	<b>15g</b>	<b>20g</b>	<b>25g</b>
<b>Concentración</b>					
<b>Inicial Cr<sup>6+</sup> (mg/l)</b>			20		
<b>pH</b>	6.98	7.02	6.99	7.12	7.06
<b>Concentración</b>					
<b>Final Cr<sup>6+</sup> (mg/l)</b>	17.55	14.85	11.04	7.82	4.89
<b>Repeticiones</b>					
<b>1ra Repetición</b>	17.72	14.48	10.45	7.83	4.98
<b>2da Repetición</b>	17.41	14.87	11.84	7.78	5.04
<b>PROMEDIO</b>	<b>17.56</b>	<b>14.73</b>	<b>11.11</b>	<b>7.81</b>	<b>4.97</b>

**Figura 2**

*Concentración de Cr (20 mg/l) Vs. Dosis de panca de Maíz*



De los resultados obtenidos en el segundo ensayo realizado, se puede observar en la figura, que al trabajar con una concentración inicial de 20 mg/l de Cromo, los niveles empiezan a disminuir hasta alcanzar un valor final de 4.97 mg/l con la dosis de 25 g del absorbente.

#### **4.2.3. Tratamiento con panca de maíz para una Concentración de Cromo al 30 ppm**

A continuación, se muestran los tres resultados del tercer tratamiento, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen de trabajo: 1L por muestra de tratamiento.

- pH inicial de trabajo: 5.34
- Concentración Inicial de Cr VI: 30 ppm = 30 mg/l

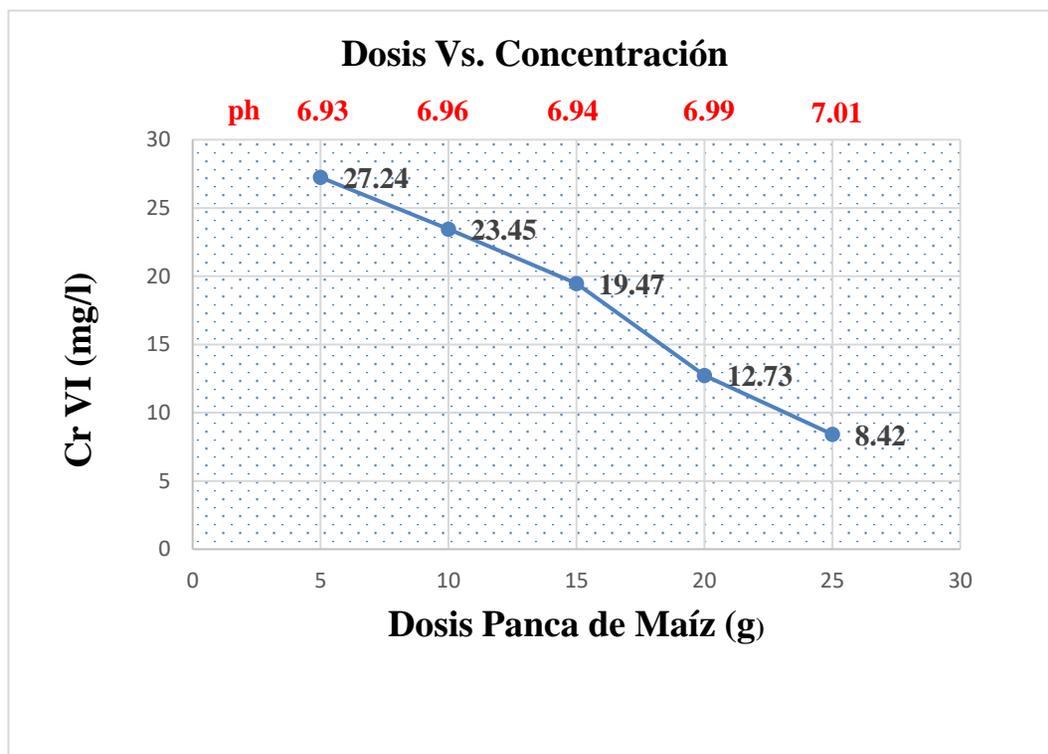
**Tabla 7**

*Resultados del tercer ensayo: Cromo VI Vs Panca de Maíz*

	<b>Dosis panca de maíz (g)</b>				
<b>Biosorbente</b>	<b>5g</b>	<b>10g</b>	<b>15g</b>	<b>20g</b>	<b>25g</b>
<b>Concentración</b>					
<b>Inicial Cr<sup>6+</sup></b> <b>(mg/l)</b>			30		
<b>pH</b>	6.93	6.96	6.94	6.99	7.01
<b>Concentración</b>					
<b>Final Cr<sup>6+</sup> (mg/l)</b>	27.26	23.53	19.33	12.44	8.55
<b>Repeticiones</b>					
<b>1ra Repetición</b>	27.48	23.52	19.49	12.86	8.08
<b>2da Repetición</b>	26.98	23.30	19.59	12.89	8.63
<b>PROMEDIO</b>	<b>27.24</b>	<b>23.45</b>	<b>19.47</b>	<b>12.73</b>	<b>8.42</b>

Figura 3

*Concentración de Cr (30 mg/l) Vs. Dosis Panca de Maíz*



De los resultados obtenidos en el tercer ensayo realizado, se observa en la figura, que al trabajar con una concentración inicial de 30 mg/l de Cromo, los niveles empiezan a disminuir hasta alcanzar un valor final de 8.42 mg/l con la dosis de 25 g del absorbente.

#### 4.2.4. Tratamiento con panca de maíz para una Concentración de Cromo al 40 ppm

A continuación, se muestran los tres resultados del cuarto tratamiento, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen de trabajo: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial de trabajo: 5.31
- Concentración Inicial de Cr VI: 40 ppm = 40 mg/l

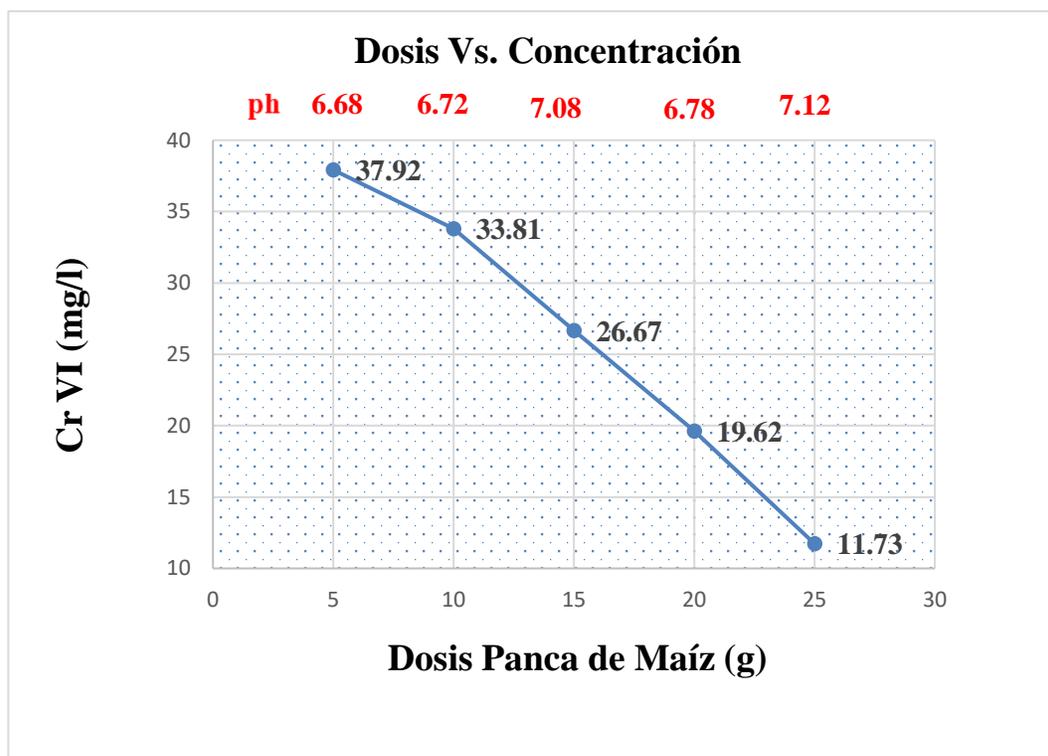
**Tabla 8**

*Resultados del cuarto ensayo: Cromo VI Vs Panca de Maíz*

	<b>Dosis panca de maíz (g)</b>				
<b>Biosorbente</b>	<b>5g</b>	<b>10g</b>	<b>15g</b>	<b>20g</b>	<b>25g</b>
<b>Concentración</b>					
<b>Inicial Cr<sup>6+</sup> (mg/l)</b>			40		
<b>pH</b>	6.68	6.72	7.08	6.78	7.12
<b>Concentración</b>					
<b>Final Cr<sup>6+</sup> (mg/l)</b>	37.90	33.82	27.02	19.62	11.75
<b>Repeticiones</b>					
<b>1ra Repetición</b>	37.97	33.29	26.78	20.16	11.63
<b>2da Repetición</b>	37.89	34.32	26.21	19.08	11.81
<b>PROMEDIO</b>	<b>37.92</b>	<b>33.81</b>	<b>26.67</b>	<b>19.62</b>	<b>11.73</b>

**Figura 4**

*Concentración de Cr (40 mg/l) Vs. Dosis Panca de Maíz*



De los resultados obtenidos en el cuarto ensayo realizado, se observa en la figura, que al trabajar con una concentración inicial de 40 mg/l de Cromo, los niveles empiezan a disminuir hasta alcanzar un valor final de 11.73 mg/l con la dosis de 25 g del absorbente.

#### **4.2.5. Tratamiento con panca de maíz para una Concentración de Cromo al 50 ppm**

A continuación, se muestran los tres resultados del quinto tratamiento, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen de trabajo: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial de trabajo: 5.32
- Concentración Inicial de Cr VI: 50 ppm = 50 mg/l

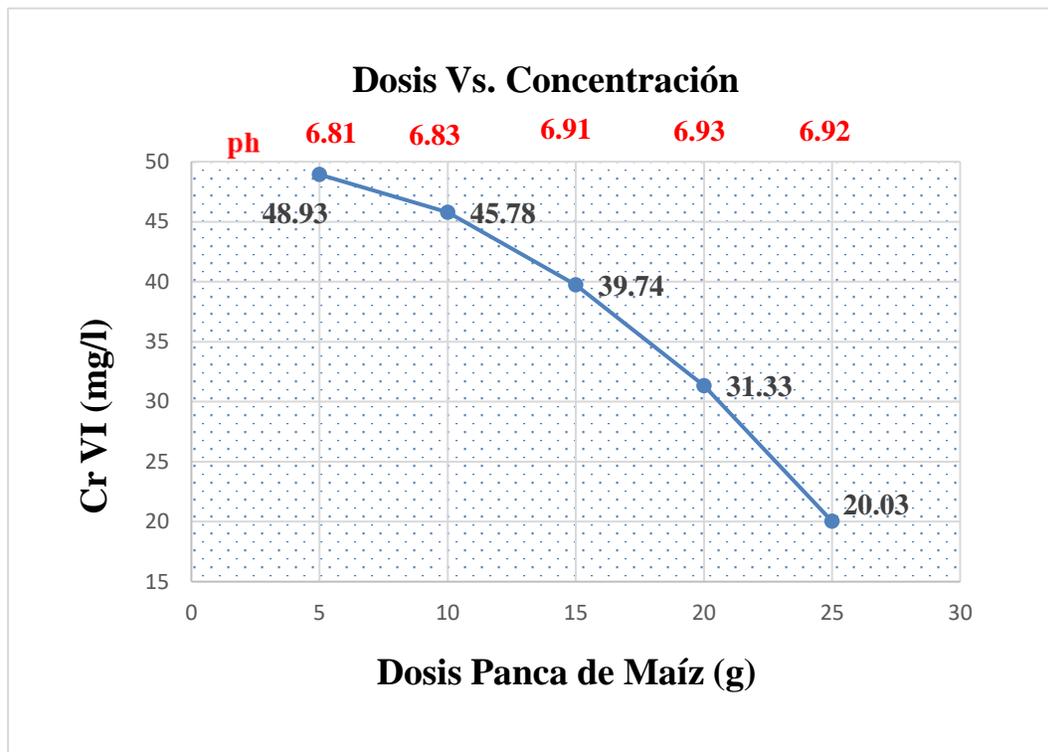
**Tabla 9**

*Resultados del quinto ensayo: Cromo VI Vs Panca de Maíz*

	<b>Dosis panca de maíz (g)</b>				
<b>Biosorbente</b>	<b>5g</b>	<b>10g</b>	<b>15g</b>	<b>20g</b>	<b>25g</b>
<b>Concentración Inicial</b>			50		
<b>Cr<sup>6+</sup> (mg/l)</b>					
<b>pH</b>	6.81	6.83	6.91	6.93	6.92
<b>Concentración</b>					
<b>Final Cr<sup>6+</sup> (mg/l)</b>	49.9	45.98	39.89	31.38	20.83
<b>Repeticiones</b>					
<b>1ra Repetición</b>	48.96	45.22	38.96	30.96	20.19
<b>2da Repetición</b>	47.84	46.14	40.37	31.65	19.07
<b>PROMEDIO</b>	<b>48.93</b>	<b>45.78</b>	<b>39.74</b>	<b>31.33</b>	<b>20.03</b>

**Figura 5**

*Concentración de Cr (50 mg/l) Vs. Dosis Panca de Maíz*



De los resultados obtenidos en el quinto ensayo realizado, se puede observar en la figura, que al trabajar con una concentración inicial de 50 mg/l de Cromo, los niveles empiezan a disminuir hasta alcanzar un valor final de 20.03 mg/l con la dosis de 25 g del absorbente.

#### **4.3. Eficiencia para Cromo VI a 10, 20, 30, 40 y 50 ppm**

A continuación, se muestran los resultados de las eficiencias finales de Cromo (VI) para cada tratamiento del estudio, para lo cual se tuvo en consideración las dosis de 5, 10, 15, 20 y 25 gr de absorbente de cáscara de maíz.

**Tabla 10***Resultados de las eficiencias para Cromo a 10 ppm*

<b>Cromo VI</b>	<b>10 ppm</b>				
<b>Dosis</b>	5g	10g	15g	20g	25g
<b>Biosorbente</b>					
<b>pH</b>	6.87	7.06	6.95	6.98	7.03
<b>[inicialCr<sup>6+</sup></b>	10				
<b>(mg/l)]</b>					
<b>[final Cr<sup>6+</sup></b>	8.44	6.32	5.93	4.08	2.19
<b>(mg/l)]</b>					
<b>% Eficiencia</b>	<b>15.6</b>	<b>36.8</b>	<b>40.7</b>	<b>59.20</b>	<b>78.10</b>

En el tratamiento realizado para la concentración inicial de Cromo de 10 ppm, se aprecia que las eficiencias incrementan según van aumentando las dosis de absorbente, sin embargo, para 25 gramos de dosis se alcanza una máxima eficiencia del 78.10 %.

**Tabla 11***Resultados de las eficiencias para Cromo a 20 ppm*

<b>Cromo VI</b>		<b>20 ppm</b>				
<b>Dosis</b>		5g	10g	15g	20g	25g
<b>Biosorbente</b>						
<b>pH</b>		6.98	7.02	6.99	7.12	7.06
<b>[inicial Cr<sup>6+</sup></b>		20				
<b>(mg/l)]</b>						
<b>[final Cr<sup>6+</sup></b>		17.56	14.73	11.11	7.81	4.97
<b>(mg/l)]</b>						
<b>% Eficiencia</b>		<b>12.2</b>	<b>26.35</b>	<b>44.45</b>	<b>60.95</b>	<b>75.15</b>

En el tratamiento realizado para la concentración inicial de Cromo de 20 ppm, se aprecia que las eficiencias incrementan según van aumentando las dosis de absorbente, sin embargo, para 25 gramos de dosis se alcanza una máxima eficiencia del 75.15 %.

**Tabla 12***Resultados de las eficiencias para Cromo a 30 ppm*

<b>Cromo VI</b>		<b>30 ppm</b>				
<b>Dosis</b>		5g	10g	15g	20g	25g
<b>Biosorbente</b>						
<b>pH</b>		6.93	6.96	6.94	6.99	7.01
<b>[inicial Cr<sup>6+</sup></b>		30				
<b>(mg/l)]</b>						
<b>[final Cr<sup>6+</sup></b>		27.24	23.45	19.47	12.73	8.42
<b>(mg/l)]</b>						
<b>% Eficiencia</b>		<b>9.20</b>	<b>21.83</b>	<b>35.10</b>	<b>57.57</b>	<b>71.93</b>

En el tratamiento realizado para la concentración inicial de 30 ppm, se aprecia que las eficiencias incrementan según van aumentando las dosis de adsorbente, sin embargo, para 25 gramos de dosis se alcanza una máxima eficiencia del 71.93 %.

**Tabla 13***Resultados de las eficiencias para Cromo a 40 ppm*

<b>Cromo VI</b>		<b>40 ppm</b>				
<b>Dosis</b>		5g	10g	15g	20g	25g
<b>Biosorbente</b>						
<b>pH</b>		6.68	6.72	7.08	6.78	7.12
<b>[inicial Cr<sup>6+</sup></b>		40				
<b>(mg/l)]</b>						
<b>[final Cr<sup>6+</sup></b>		37.92	33.81	26.67	19.62	11.73
<b>(mg/l)]</b>						
<b>% Eficiencia</b>		<b>5.2</b>	<b>15.48</b>	<b>33.33</b>	<b>50.95</b>	<b>70.68</b>

En el tratamiento realizado para la concentración inicial de Cromo de 40 ppm, se aprecia que las eficiencias incrementan según van aumentando las dosis de absorbente, sin embargo, para 25 gramos de dosis se alcanza una máxima eficiencia del 70.68 %.

**Tabla 14***Resultados de las eficiencias para Cromo a 50 ppm*

<b>Cromo VI</b>	<b>50 ppm</b>				
<b>Dosis</b>	5g	10g	15g	20g	25g
<b>Biosorbente</b>					
<b>pH</b>	6.81	6.83	6.91	6.93	6.92
<b>[inicial Cr<sup>6+</sup></b> <b>(mg/l)]</b>	50				
<b>[final Cr<sup>6+</sup></b> <b>(mg/l)]</b>	48.93	45.78	39.74	31.33	20.03
<b>% Eficiencia</b>	<b>2.14</b>	<b>8.44</b>	<b>20.52</b>	<b>37.34</b>	<b>59.94</b>

En el tratamiento realizado para la concentración inicial de Cromo de 50 ppm, se aprecia que las eficiencias incrementan según van aumentando las dosis de adsorbente, sin embargo, para 25 gramos de dosis se alcanza una máxima eficiencia del 59.94 %.

#### **4.4. Análisis Estadístico Inferencial**

Para agrupar y poder verificar la verosimilitud de los datos se tiene que desarrollar un desgagado ordenado de los tratamientos dosis aplicados esto es:

T1: 10 mg/l de concentración de Cr VI

T2: 20 mg/l de concentración de Cr VI

T3: 30 mg/l de concentración de Cr VI

T4: 40 mg/l de concentración de Cr VI

T5: 50 mg/l de concentración de Cr VI

D1: 5g de floculante de panca de maíz

D2: 10g de floculante de panca de maíz

D3: 15g de floculante de panca de maíz

D4: 20g de floculante de panca de maíz

D5: 25g de floculante de panca de maíz, con las respectivas repeticiones R1, R2, R3

Para lo cual se agrupo en la siguiente tabla:

**Tabla 15**

*Datos agrupados para análisis estadístico*

TRATAMIENTO	DOSIS	REPETICIÓN	CONCENTRACION		EFICIENCIA
			INICIAL Cr VI mg/l	FINAL Cr VI mg/l	
T1	D1	R1	10	8.42	15.8
T1	D1	R2	10	8.39	16.1
T1	D1	R3	10	8.51	14.9
T1	D2	R1	10	6.32	36.8
T1	D2	R2	10	6.52	34.8
T1	D2	R3	10	6.12	38.8
T1	D3	R1	10	5.92	40.8
T1	D3	R2	10	6.02	39.8
T1	D3	R3	10	5.85	41.5
T1	D4	R1	10	4.21	57.9

---

<b>T1</b>	<b>D4</b>	<b>R2</b>	<b>10</b>	<b>3.95</b>	<b>60.5</b>
<b>T1</b>	<b>D4</b>	<b>R3</b>	<b>10</b>	<b>4.08</b>	<b>59.2</b>
<b>T1</b>	<b>D5</b>	<b>R1</b>	<b>10</b>	<b>2.18</b>	<b>78.2</b>
<b>T1</b>	<b>D5</b>	<b>R2</b>	<b>10</b>	<b>2.2</b>	<b>78</b>
<b>T1</b>	<b>D5</b>	<b>R3</b>	<b>10</b>	<b>2.19</b>	<b>78.1</b>
<b>T2</b>	<b>D1</b>	<b>R1</b>	<b>20</b>	<b>17.55</b>	<b>12.25</b>
<b>T2</b>	<b>D1</b>	<b>R2</b>	<b>20</b>	<b>17.72</b>	<b>11.4</b>
<b>T2</b>	<b>D1</b>	<b>R3</b>	<b>20</b>	<b>17.41</b>	<b>12.95</b>
<b>T2</b>	<b>D2</b>	<b>R1</b>	<b>20</b>	<b>14.85</b>	<b>25.75</b>
<b>T2</b>	<b>D2</b>	<b>R2</b>	<b>20</b>	<b>14.48</b>	<b>27.6</b>
<b>T2</b>	<b>D2</b>	<b>R3</b>	<b>20</b>	<b>14.87</b>	<b>25.65</b>
<b>T2</b>	<b>D3</b>	<b>R1</b>	<b>20</b>	<b>11.04</b>	<b>44.8</b>
<b>T2</b>	<b>D3</b>	<b>R2</b>	<b>20</b>	<b>10.45</b>	<b>47.75</b>
<b>T2</b>	<b>D3</b>	<b>R3</b>	<b>20</b>	<b>11.84</b>	<b>40.8</b>
<b>T2</b>	<b>D4</b>	<b>R1</b>	<b>20</b>	<b>7.82</b>	<b>60.9</b>
<b>T2</b>	<b>D4</b>	<b>R2</b>	<b>20</b>	<b>7.83</b>	<b>60.85</b>
<b>T2</b>	<b>D4</b>	<b>R3</b>	<b>20</b>	<b>7.78</b>	<b>61.1</b>
<b>T2</b>	<b>D5</b>	<b>R1</b>	<b>20</b>	<b>4.89</b>	<b>75.55</b>
<b>T2</b>	<b>D5</b>	<b>R2</b>	<b>20</b>	<b>4.98</b>	<b>75.1</b>
<b>T2</b>	<b>D5</b>	<b>R3</b>	<b>20</b>	<b>5.04</b>	<b>74.8</b>
<b>T3</b>	<b>D1</b>	<b>R1</b>	<b>30</b>	<b>27.26</b>	<b>9.1</b>
<b>T3</b>	<b>D1</b>	<b>R2</b>	<b>30</b>	<b>27.48</b>	<b>8.4</b>
<b>T3</b>	<b>D1</b>	<b>R3</b>	<b>30</b>	<b>26.98</b>	<b>10.1</b>

---

<b>T3</b>	<b>D2</b>	<b>R1</b>	<b>30</b>	<b>23.53</b>	<b>21.6</b>
<b>T3</b>	<b>D2</b>	<b>R2</b>	<b>30</b>	<b>23.52</b>	<b>21.6</b>
<b>T3</b>	<b>D2</b>	<b>R3</b>	<b>30</b>	<b>23.3</b>	<b>22.3</b>
<b>T3</b>	<b>D3</b>	<b>R1</b>	<b>30</b>	<b>19.33</b>	<b>35.6</b>
<b>T3</b>	<b>D3</b>	<b>R2</b>	<b>30</b>	<b>19.49</b>	<b>35.0</b>
<b>T3</b>	<b>D3</b>	<b>R3</b>	<b>30</b>	<b>19.59</b>	<b>34.7</b>
<b>T3</b>	<b>D4</b>	<b>R1</b>	<b>30</b>	<b>12.44</b>	<b>58.5</b>
<b>T3</b>	<b>D4</b>	<b>R2</b>	<b>30</b>	<b>12.86</b>	<b>57.1</b>
<b>T3</b>	<b>D4</b>	<b>R3</b>	<b>30</b>	<b>12.89</b>	<b>57.0</b>
<b>T3</b>	<b>D5</b>	<b>R1</b>	<b>30</b>	<b>8.55</b>	<b>71.5</b>
<b>T3</b>	<b>D5</b>	<b>R2</b>	<b>30</b>	<b>8.08</b>	<b>73.1</b>
<b>T3</b>	<b>D5</b>	<b>R3</b>	<b>30</b>	<b>8.63</b>	<b>71.2</b>
<b>T4</b>	<b>D1</b>	<b>R1</b>	<b>40</b>	<b>37.9</b>	<b>5.3</b>
<b>T4</b>	<b>D1</b>	<b>R2</b>	<b>40</b>	<b>37.97</b>	<b>5.1</b>
<b>T4</b>	<b>D1</b>	<b>R3</b>	<b>40</b>	<b>37.89</b>	<b>5.3</b>
<b>T4</b>	<b>D2</b>	<b>R1</b>	<b>40</b>	<b>33.82</b>	<b>15.5</b>
<b>T4</b>	<b>D2</b>	<b>R2</b>	<b>40</b>	<b>33.29</b>	<b>16.8</b>
<b>T4</b>	<b>D2</b>	<b>R3</b>	<b>40</b>	<b>34.32</b>	<b>14.2</b>
<b>T4</b>	<b>D3</b>	<b>R1</b>	<b>40</b>	<b>27.02</b>	<b>32.5</b>
<b>T4</b>	<b>D3</b>	<b>R2</b>	<b>40</b>	<b>26.78</b>	<b>33.1</b>
<b>T4</b>	<b>D3</b>	<b>R3</b>	<b>40</b>	<b>26.21</b>	<b>34.5</b>
<b>T4</b>	<b>D4</b>	<b>R1</b>	<b>40</b>	<b>19.62</b>	<b>51.0</b>
<b>T4</b>	<b>D4</b>	<b>R2</b>	<b>40</b>	<b>20.16</b>	<b>49.6</b>

---

<b>T4</b>	<b>D4</b>	<b>R3</b>	<b>40</b>	<b>19.08</b>	<b>52.3</b>
<b>T4</b>	<b>D5</b>	<b>R1</b>	<b>40</b>	<b>11.75</b>	<b>70.6</b>
<b>T4</b>	<b>D5</b>	<b>R2</b>	<b>40</b>	<b>11.63</b>	<b>70.9</b>
<b>T4</b>	<b>D5</b>	<b>R3</b>	<b>40</b>	<b>11.81</b>	<b>70.5</b>
<b>T5</b>	<b>D1</b>	<b>R1</b>	<b>50</b>	<b>49.99</b>	<b>0.0</b>
<b>T5</b>	<b>D1</b>	<b>R2</b>	<b>50</b>	<b>48.96</b>	<b>2.1</b>
<b>T5</b>	<b>D1</b>	<b>R3</b>	<b>50</b>	<b>47.84</b>	<b>4.3</b>
<b>T5</b>	<b>D2</b>	<b>R1</b>	<b>50</b>	<b>45.98</b>	<b>8.0</b>
<b>T5</b>	<b>D2</b>	<b>R2</b>	<b>50</b>	<b>45.22</b>	<b>9.6</b>
<b>T5</b>	<b>D2</b>	<b>R3</b>	<b>50</b>	<b>46.14</b>	<b>7.7</b>
<b>T5</b>	<b>D3</b>	<b>R1</b>	<b>50</b>	<b>39.89</b>	<b>20.2</b>
<b>T5</b>	<b>D3</b>	<b>R2</b>	<b>50</b>	<b>38.96</b>	<b>22.1</b>
<b>T5</b>	<b>D3</b>	<b>R3</b>	<b>50</b>	<b>40.37</b>	<b>19.3</b>
<b>T5</b>	<b>D4</b>	<b>R1</b>	<b>50</b>	<b>31.38</b>	<b>37.2</b>
<b>T5</b>	<b>D4</b>	<b>R2</b>	<b>50</b>	<b>30.96</b>	<b>38.1</b>
<b>T5</b>	<b>D4</b>	<b>R3</b>	<b>50</b>	<b>31.65</b>	<b>36.7</b>
<b>T5</b>	<b>D5</b>	<b>R1</b>	<b>50</b>	<b>20.83</b>	<b>58.3</b>
<b>T5</b>	<b>D5</b>	<b>R2</b>	<b>50</b>	<b>20.19</b>	<b>59.6</b>
<b>T5</b>	<b>D5</b>	<b>R3</b>	<b>50</b>	<b>19.07</b>	<b>61.9</b>

---

*Nota.* Elaborado en MINITAB versión 19

Para realizar un análisis del mejor tratamiento y dosis se ha efectuado la relación de mejora según un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) aplicado, para ello se aplica la metodología:

1. Prueba de normalidad: teniendo en cuenta la distribución de los datos se aplica los

supuestos:

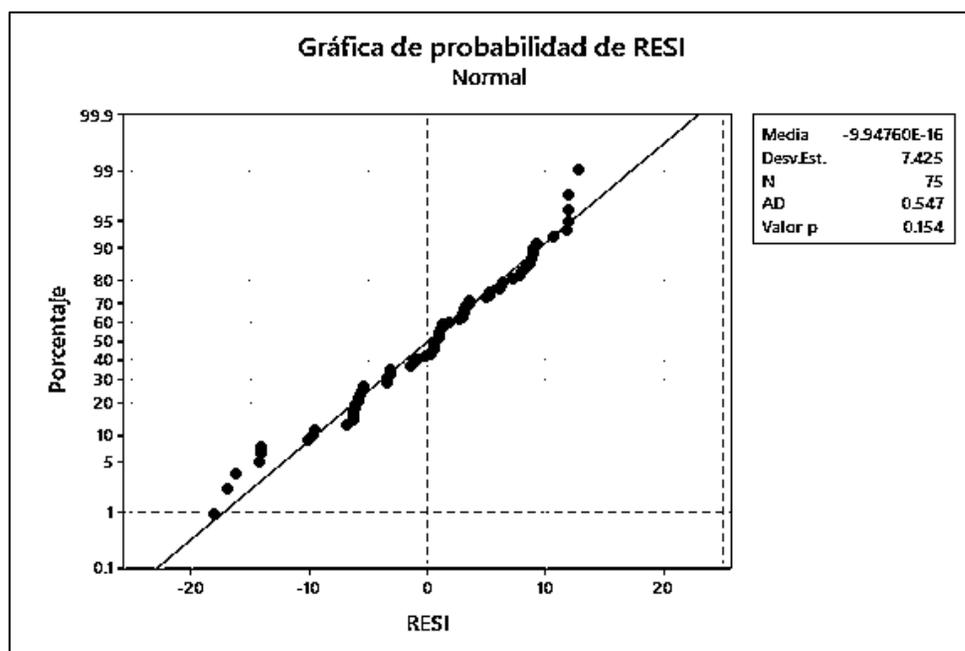
$H_0$ : Los residuos se distribuyen normalmente

$H_A$ : Los residuos no se distribuyen normalmente

Teniendo en cuenta estos supuestos se comprueba aplicando la prueba de normalidad de Anderson Darling con un indicador de  $AD = 0.547$  y un p-valor = 0.154, indicando de que el p-valor es mayor a 0.05 se acepta la hipótesis nula por lo cual los residuos se distribuyen normalmente.

### Figura 6

*Prueba de normalidad de la información obtenida en la investigación*



*Nota.* Se describe la distribución y agrupación de los residuos ajustados de los resultados en base a una tendencia normal de ajuste Elaborado en MINITAB versión 19

2. Prueba de Homogeneidad de Varianzas: La prueba se desarrolló en base al estadístico de

Bartlett el cual se postula en base a 2 supuestos:

H0: Las varianzas son iguales

HA: Al menos una varianza es diferente

Por tanto, el resultado obtenido es:

**Tabla 16**

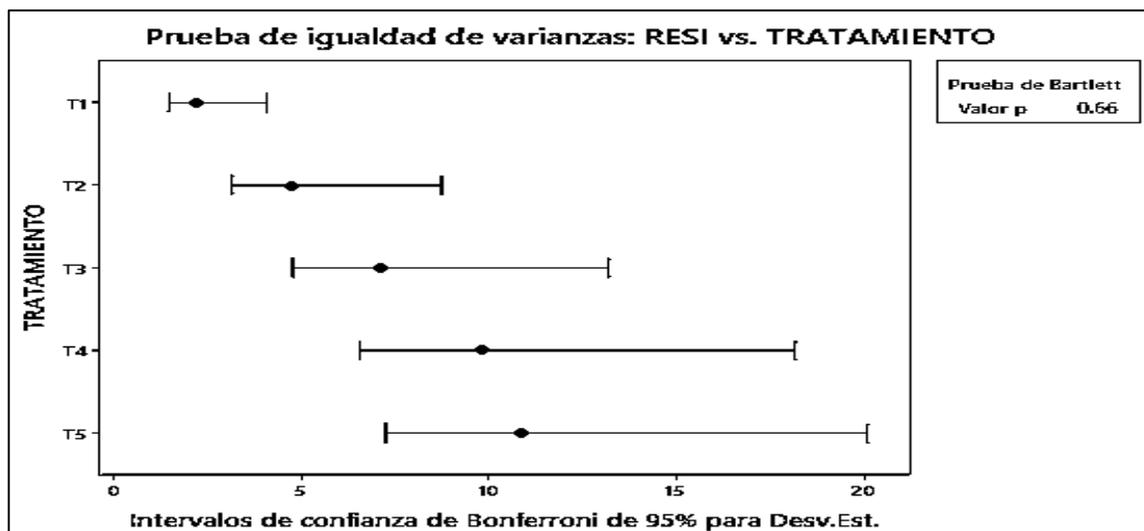
*Resultados de la prueba de Homogeneidad de Varianzas en la investigación para los tratamientos aplicados*

Método	Estadístico	Valor p
Bartlett	0.27	0.666

*Nota.* Elaborado en MINITAB versión 19

**Figura 7**

Análisis de Homogeneidad de las Varianzas en los resultados de la investigación (1)



*Nota.* Se observa la distribución de las varianzas en los tratamientos aplicados en base a la prueba de Bartlett la cual nos indica si los resultados expresados en sus varianzas se distribuyen

homogéneamente Elaborado en MINITAB versión 19

De lo expresado con una significancia de 5% y estadístico de Bartlett de 0.27 y un p-valor de 0.666 que es mayor al valor de 0.05 lo cual permite no rechazar la hipótesis nula que afirma que existe homogeneidad de varianzas en la agrupación de los resultados

De la misma manera se comprueba la homogeneidad de varianzas en las dosis aplicadas en el tratamiento lo cual resulta:

**Tabla 17**

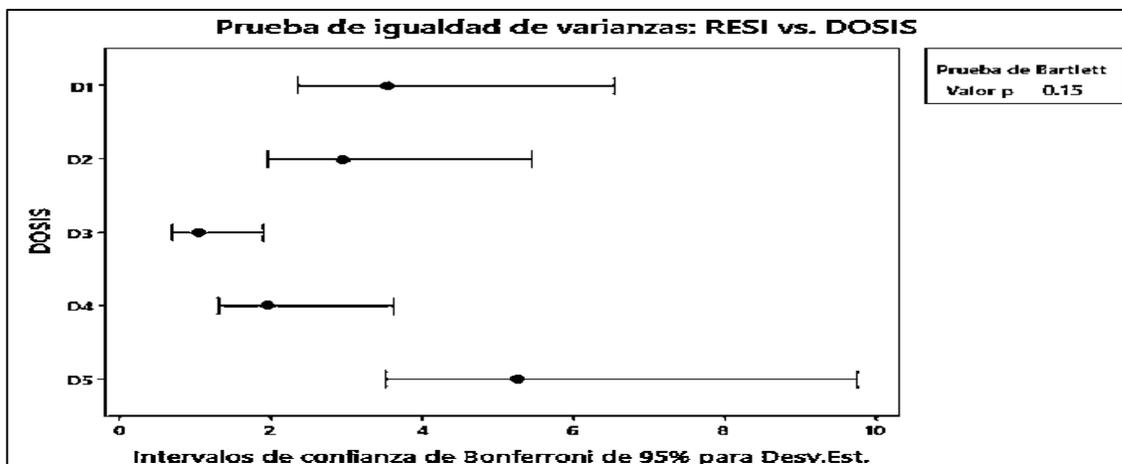
*Resultados de la prueba de Homogeneidad de Varianzas en la investigación para las dosis aplicadas*

<b>Método</b>	<b>Estadístico</b>	<b>Valor p</b>
<b>Bartlett</b>	<b>0.22</b>	<b>0.15</b>

*Nota.* Elaborado en MINITAB versión 19

**Figura 8**

*Análisis de Homogeneidad de las Varianzas en los resultados de la investigación (2)*



*Nota.* Se observa la distribución de las varianzas en las dosis aplicadas en base a la prueba de Bartlett la cual nos indica si los resultados expresados en sus varianzas se distribuyen homogéneamente Elaborado en MINITAB versión 19.

3. menos un tratamiento es eficiente al remover Cr IV en el agua residual

$H_0$ : No hay diferencias significativas entre los tratamientos

$H_A$ : Al menos un tratamiento es diferente a las demás (es decir demuestra eficiencia a la hora de remover Cr IV en el agua residual)

Al menos una dosis es eficiente al remover Cr IV en el agua residual

$H_0$ : No hay diferencias significativas entre las dosis

$H_A$ : Al menos una dosis es diferente a las demás (es decir demuestra eficiencia a la hora de remover Cr IV en el agua residual)

Para poder obtener la verificación de que una dosis y un tratamiento es eficiente para

remover Cr IV en aguas residuales se aplica la prueba F en base a una prueba ANOVA teniendo:

Para tratamiento:

### Figura 9

*Resultados de la prueba ANOVA aplicada a los tratamientos*

<b>Análisis de Varianza</b>					
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
TRATAMIENTO	4	9335	2333.81	40.05	0.000
Error	70	4080	58.28		
Total	74	13415			

*Nota.* Elaborado en MINITAB versión 19

De lo cual se arroja que con una significancia de un 5% y con  $F= 40.05$  y un p-valor de 0.00 que es menor a 0.05 se descarta la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna por lo cual al menos un tratamiento es diferente a las demás (es decir demuestra eficiencia a la hora de remover Cr IV en el agua residual).

### Figura 10

*Resultados de la prueba ANOVA aplicada a las dosis*

<b>Análisis de Varianza</b>					
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
DOSIS	4	3328	831.9	5.77	0.000
Error	70	10087	144.1		
Total	74	13415			

*Nota.* Elaborado en MINITAB versión 19

De lo cual se arroja que con una significancia de un 5% y con  $F= 5.77$  y un p-valor de 0.00

que es menor a 0.05 se descarta la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna por lo cual al menos una dosis es diferente a las demás (es decir demuestra eficiencia a la hora de remover Cr IV en el agua residual).

4. Que tratamiento permite la mejor remoción de Cr VI de las aguas residuales en estudio

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

$$H_A: \mu_i \neq \mu_j$$

Para ello se utiliza la prueba de comparación de Tukey de lo cual se obtiene:

### Figura 11

*Prueba de comparación Tukey para tratamientos*

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T5	15	37.1620	A
T4	15	25.9500	B
T3	15	18.2620	B C
T2	15	11.2367	C D
T1	15	5.3920	D

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

*Nota.* Elaborado en MINITAB versión 19

De la figura 6 se desprende que el T1: 10 mg/l de concentración de Cr VI, aplicando con floculante a base panca de maíz permite remover eficientemente Cr VI a concentraciones de 10 mg/l, con una media de 5.3920 que es la menor aplicada lo cual asegura su efectividad

5. Que dosis permite mejor remoción de Cr VI de las aguas residuales en estudio

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

$$H_A: \mu_i \neq \mu_j$$

### Figura 12

*Prueba de comparación Tukey para las dosis aplicadas*

DOSIS	N	Media	Agrupación
D1	15	28.0180	A
D2	15	24.8187	A B
D3	15	20.5840	A B C
D4	15	15.1140	B C
D5	15	9.4680	C

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

*Nota.* Elaborado en MINITAB versión 19

De la figura 7 se desprende que la D5: 25g de floculante de panca de maíz, aplicada como floculante a base panca de maíz permite remover eficientemente Cr VI con una media de 5.3920 que es la menor aplicada lo cual asegura su efectividad

De lo cual se desprende:

**Tabla 18**

*Análisis de los mejores tratamientos y dosis aplicadas en la investigación*

Tratamiento	Dosis	Repetición	Concentración	Concentración	Eficiencia %
			Inicial (mg/l)	Final (mg/l)	
<b>T1</b>	<b>D5</b>	<b>R1</b>	<b>10</b>	<b>2.18</b>	<b>78.2</b>
<b>T2</b>	<b>D5</b>	<b>R1</b>	<b>20</b>	<b>4.89</b>	<b>75.55</b>
<b>T3</b>	<b>D5</b>	<b>R2</b>	<b>30</b>	<b>8.08</b>	<b>73.1</b>
<b>T4</b>	<b>D5</b>	<b>R2</b>	<b>40</b>	<b>11.63</b>	<b>70.925</b>
<b>T5</b>	<b>D5</b>	<b>R3</b>	<b>50</b>	<b>19.07</b>	<b>61.86</b>

*Nota.* Donde: T1: 10 mg/l de concentración de Cr VI, T2: 20 mg/l de concentración de Cr VI, T3: 30 mg/l de concentración de Cr VI, T3: 40 mg/l de concentración de Cr VI, T3: 50 mg/l de concentración de Cr VI, D1: 5g de floculante de panca de maíz, D2: 10g de floculante de panca de maíz, D3: 15g de floculante de panca de maíz, D4: 20g de floculante de panca de maíz, D5: 25g de floculante de panca de maíz, con las respectivas repeticiones R1, R2, R3, Elaborado en MINITAB versión 19.

De lo cual se desprende que el T1: 10 mg/l de concentración de Cr VI, remueve más Cr VI y con D5: 25g de floculante de panca de maíz encontrando una remoción de 10 mg/l de Cr VI a 2.18 mg/l de Cr VI con una eficiencia de remoción de 78.2%

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Andrade (2023), en su investigación: *“Determinación de la capacidad de bioadsorción de cromo hexavalente en aguas residuales provenientes de la industria de curtiembres utilizando la cáscara de limón”*, planteó usar cascaras de limón como bioadsorbente, el cual primero se caracterizó mediante el análisis elemental y FTIR-ATR, luego la muestra de agua residual de la curtiembre se puso en contacto con el bioadsorbente a una agitación constantes a diferentes concentraciones y condiciones de pH. Empleando el método colorimétrico que se basa en la reacción del Cr VI con 1,5-difenilcarbazida en medio ácido se calculó la concentración final de Cr VI, obteniéndose que las mejores condiciones se dieron a un pH de 2,5; con un tamaño de partícula de 0,5 mm y una concentración de 12 g/L logrando un porcentaje de adsorción de 89,77%, concluyéndose que la cáscara de limón presenta una óptima capacidad de adsorción de Cr VI en aguas residuales a un pH bajo, con un tamaño de partícula pequeño y a una concentración mayor de bioadsorbente. Con relación a nuestro trabajo de investigación, el cual fue desarrollado empleando como bioadsorbente panca de maíz con granulometría de 125  $\mu\text{M}$  a diferentes dosis: 5, 10, 15, 20 y 25 g, para remover Cromo VI a diferentes concentraciones: 10, 20, 30 , 40 y 50 ppm, mostraron eficiencias de remoción de 78.10 %, 75.15%, 71.93%, 70.68% y 59.94% para dosis óptimas de 25g de absorbente a revoluciones rápidas de 200 RPM y revoluciones lentas de 50 RPM, con un tiempo de agitación de 30 min, encontrándose así en todos los casos remociones eficientes.

Muñiz (2016), en su estudio sobre: *“Eficiencia del biosorbente de coronta de maíz para la adsorción del Cromo Hexavalente en aguas residuales de la industria Curtiembre Huachipa - 2016”*, planteó modificar la coronta de maíz químicamente, poniéndola en contacto 6 horas en

solución con Ácido sulfúrico, se eligió este tratamiento, ya que aumenta el porcentaje de lignina y porosidad del biosorbente, así mismo produce hidrólisis de la hemicelulosa de ácidos carboxílicos, los cuales sirven como sitios activos para la remoción de Cromo Hexavalente; mientras que la determinación del Cr VI se realizó por el método colorimétrico según el método SM3500 – Cr el cual se cuantifica mediante un espectrofotómetro a una longitud de onda de 540 nm, todos los tratamientos se realizaron mediante la prueba de jarras, a 100 rpm, 500 ml de muestra, pH y temperatura constante, adicionando 0,250 g de biosorbente, a diferentes tiempos de contacto, 10 min (A) , 20 min (B) , 30 min (C) , 60 min (D) y 90 min (E) respectivamente; concluyéndose que el biosorbente de coronta de maíz es muy eficiente para tratar aguas contaminadas con Cr, logrando un porcentaje de remoción de 83.5% con el tratamiento T1, a 60 min de tiempo de contacto con 100 RPM. De acuerdo con nuestros tratamientos empleados el tratamiento más eficiente se obtuvo al dosificar 25 gr de absorbente de cáscara de maíz a la solución estándar de concentración inicial 10 mg/l de Cromo VI con un tiempo de contacto de 30 min a 200 RPM con pH inicial de 5.22 alcanzando una concentración final de 2.19 mg/l de Cr con un pH final de 7.03 logrando así una eficiencia de remoción de 78.10 %.

Bravo y Landa (2020), en su investigación: *“Efecto del pH en la adsorción de cromo hexavalente por la pectina de Citrus reticulata en soluciones sintéticas”*, plantearon emplear 10 tratamientos divididos en 2 grupos con concentraciones de 10 mg/L y 20 mg/L de sulfato básico de cromo, la pectina fue extraída por hidrólisis acida y vertida en una cantidad de 0.5 gr por tratamiento, con un rango de pH de 2 a 6. Luego se determinó el Cr residual por espectrofotometría de absorción atómica y se calculó el porcentaje de remoción de Cr (IV). Obteniéndose como resultados que para la concentración inicial de 10 mg/L, el porcentaje de remoción fue de 78 % y 80% a un pH 4 y 5 respectivamente, y para la concentración inicial de 20mg/L, el porcentaje de

remoción fue de 88% a un pH 3 y 6, concluyendo que el pH es un parámetro fundamental en el proceso de adsorción y la pectina de *Citrus reticulata* es un bioadsorbente óptimo para remover Cr VI. A diferencia de nuestra investigación, para los tratamientos con concentraciones de 10 y 20 mg/l de Cr con dosis de absorbente de panca de maíz de: 5, 10, 15, 20 y 25 g, y a pH iniciales de 5.22 y 5.26, a 200 RPM durante 30 min de agitación se alcanzaron concentraciones finales de 8.44, 6.32, 5.93, 4.08, 2.19 (para 10ppm) y 17.56, 14.73, 11.11, 7.81, 4.97 (para 20 ppm) respectivamente; siendo para 25 gr de dosis de panca de maíz las mejores eficiencias con 78.10 % (en la remoción de 10ppm) y 75.15% (en la remoción de 20ppm) respectivamente; demostrándose que a pH de rango 5 hay remoción eficiente de Cromo VI.

## VI. CONCLUSIONES

- 6.1 De la caracterización de las soluciones estándar de Cromo VI antes de iniciar los tratamientos para las concentraciones de 10, 20, 30, 40 y 50 ppm, se obtuvieron valores de pH de 5.22, 5.26, 5.34, 5.31 y 5.32 respectivamente.
- 6.2 De los sistemas de tratamiento empleados los mejores resultados para concentraciones de Cr VI de 10, 20, 30, 40 y 50 mg/l fueron con la dosis de 25 g de bioadsorbente de panca de maíz, obteniéndose concentraciones finales de 2.19, 4.97, 8.42, 11.73 y 20.03 mg/l e incrementos de pH de 7.03, 7.06, 7.01, 7.12 y 6.92 respectivamente.
- 6.3 Con relación a las eficiencias finales se concluye que el tratamiento para 10 mg/l alcanzó las mayores remociones con una dosis de 25 gramos de absorbente de cáscara de maíz con un tiempo de agitación de 30 min del 78.10% para el Cromo VI, mientras que, para el tratamiento de 20 mg/l con la misma dosis de 25g de absorbente y 30 min de agitación se obtuvo una eficiencia de 75.15%, en las mismas condiciones de dosis y de tiempo de agitación se obtuvo para 30, 40 y 50 mg/l eficiencias de 70.68, 70.68 y 59.94% respectivamente.
- 6.4 Se concluye que las dosis de 5, 10, 15 y 20 g de bioadsorbente alcanzan remociones y eficiencias de Cromo Hexavalente menores a la dosis de 25 g para todas las concentraciones (10, 20, 30, 40 y 50 mg/l) utilizadas en la presente investigación.

## VII. RECOMENDACIONES

- 7.1 Se recomienda aplicar el método desarrollado en la presente investigación para efluentes que contengan Cromo VI, a fin de remover concentraciones del metal presente en aguas residuales de tipo industrial.
- 7.2 A fin de conocer o mejorar las eficiencias de remoción de Cr VI con panca de maíz se recomienda añadir o combinarlo con algún otro absorbente natural o inorgánico para lograr mayores eficiencias.
- 7.3 Como una forma de conocer la capacidad máxima de remoción de altas concentraciones de Cromo Hexavalente con panca de maíz, se recomienda probar con concentraciones de Cr VI y dosis de absorbentes superiores a las utilizadas en la presente investigación.
- 7.4 Se recomienda desarrollar pruebas complementarias al tratamiento empleado en esta investigación, variando los componentes operativos como el tiempo de Agitación, granulometría y dosis de absorbentes, revoluciones en lenta y rápida, volúmenes de trabajo, tiempos asumidos de contacto y sedimentación, con la finalidad de apreciar posibles cambios en los resultados finales.
- 7.5 Se recomienda aplicar el adsorbente de panca de maíz en otro tipo de muestras que contengan diferentes metales pesados, a fin de probar su eficiencia en la remoción de metales en general.
- 7.6 Se recomienda realizar investigaciones con otros absorbentes naturales para evaluar la eficiencia de remoción de Cromo y optar por el que mejor se adapte y alcance los resultados esperados.

## VIII. REFERENCIAS

- Andrade, M. (2023). *Determinación de la capacidad de bioadsorción de cromo hexavalente en aguas residuales que provienen de la industria de curtiembres utilizando la cáscara de limón* [Tesis para optar el Título profesional de Ingeniera Química. Universidad Central del Ecuador]. Repositorio de la Universidad Central del Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/30355/1/FIQ-SA-ANDRADE%20MARIA.pdf>
- Arias, L. (2019). *Evaluación de la capacidad de Remoción de CR (VI) en solución con una mezcla de cáscara de naranja y cáscara de banano como Bioadsorbente* [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental y Sanitario. Universidad de la Salle]. Repositorio de la Universidad de la Salle. [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2111&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2111&context=ing_ambiental_sanitaria)
- Bisetti, S. (2023). *Caracterización morfológica de siete razas de maíz (zea mays l.) de Cusco y Apurímac bajo condiciones de Chiquian (Ancash)* [Tesis para optar el Título Profesional de ingeniera Agrónoma. Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5865/bisetti-rivera-samantha-nicolle.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bravo, L. (2020). *Efecto del pH en la adsorción de cromo hexavalente por la pectina de Citrus reticulata en soluciones sintéticas* [Tesis para optar el Título profesional de Ingeniera Ambiental. Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del

Norte.

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/25091/Bravo%20Zapata%2c%20Lucia%20Mariibel.pdf?sequence=13&isAllowed=y>

Dávila, N. (2012). *“Caracterización del Proceso de Biosorción de Metales Pesados Mediante Residuos Sólidos de Café”* Nuevo León – México [Tesis para optar el grado de Doctor en ciencias con Orientación en Procesos Sustentables]. Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/2728/1/1080237535.pdf>

Garcés, L. y Coavas, S. (2012). *Evaluación de la Capacidad de Adsorción en la Cáscara de Naranja (Citrus Sinensis) modificada con Quitosano para la Remoción de CR (VI) en aguas Residuales* [Tesis para optar el Título de Ingeniero Químico. Universidad de Cartagena]. Repositorio de la Universidad de Cartagena. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/140/tesis%20Garces-Coavas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hasan, S. H., Singh, K. K., Prakash, O., Talat, M., & Ho, Y. S. (2008). Removal of Cr (VI) from aqueous solutions using agricultural waste ‘maize bran’. *Journal of Hazardous Materials*, 152(1), 356-365.

Hernández, L., Majano, G. y Mira, E. (2019). *Elaboración de un material Biosorbente a partir de la Cáscara de Plátano (Musa sp.) para ser utilizado en la Remoción de Cromo VI proveniente de las aguas residuales de la Industria de Curtiembre* [Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniera Química. Universidad de El Salvador]. Repositorio de la Universidad de El Salvador. <https://core.ac.uk/download/pdf/275580232.pdf>

Huallpa, W. (2017). *Biosorción con panca de maíz (Zea mays) para la remoción de Arsénico en aguas contaminadas a nivel de laboratorio, 2017* [Tesis para optar el Título de Ingeniero

- Ambiental. Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo.
- Kumar, S., Narayanasamy, S., & Venkatesh, R. P. (2018). *Removal of Cr(VI) from synthetic solutions using water caltrop shell as a low-cost biosorbent. Separation Science and Technology*, 54(17), 2783–2799. [doi:10.1080/01496395.2018.1560333](https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1560333)
- Muñiz, J. (2016). *Eficiencia del biosorbente de coronta de maíz para la adsorción del Cromo Hexavalente en aguas residuales de la industria Curtiembre Huachipa – 2016* [Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/4668/Mu%C3%B1iz\\_RJA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/4668/Mu%C3%B1iz_RJA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Paredes, M. (2020). “*Evaluación de la Capacidad de Adsorción de la Cáscara de Limón (Citrus Limón (L.) Burm. F.) Para la Remoción de Cromo VI de aguas residuales de la empresa “textilera - Hualhuas”* [Tesis para optar en Título de Ingeniero Químico Industrial. Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú. [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6474/T010\\_70346918\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6474/T010_70346918_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pacheco, J. (2019). *Evaluación del proceso de biosorción de Cr (VI) usando residuos agroindustriales de la región arequipa (cascarilla de arroz y chala de maíz* [Tesis para optar el Título de Ingeniero Biotecnólogo. Universidad Católica de Santa María]. Repositorio de la Universidad Católica de Santa María. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/9497/42.0223.IB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Pintado, K. (2018). *Comparación de la Biosorción y Desorción de Metales Pesados mediante en uso de Marlo de Maíz (Zea Mays) en agua Contaminadas* [Tesis para optar el Título de Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales. Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio de la Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16226/1/UPS-CT007883.pdf>
- Puente, R. (2019). *Determinación de la eficiencia de bioadsorción de cromo hexavalente con restos de moringa oleifera en medio acuoso* [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Politécnica Nacional]. Repositorio de la Universidad Politécnica Nacional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20531/1/CD%2010023.pdf>
- Rajakpaksha, A. U., Selvasembian, R., Ashiq, A., Gunarathne, V., Ekanayake, A., Perera, V. O., ... & Ok, Y. S. (2022). A systematic review on adsorptive removal of hexavalent chromium from aqueous solutions: Recent advances. *Science of the Total Environment*, 809, 152055.
- Silva, M. (2021). *Capacidad de biosorción de cromo hexavalente en medio acuoso usando la borra de café* [Tesis para optar el Título de Ingeniera Ambiental. Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/4322/INFORME%20DE%20TESIS%20-%20SILVA%20GOICOCHEA%20MARIBEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sinha, R., Kumar, R., Sharma, P., Kant, N., Shang, J., & Aminabhavi, T. M. (2022). Removal of hexavalent chromium via biochar-based adsorbents: State-of-the-art, challenges, and future perspectives. *Journal of Environmental Management*, 317, 115356.
- Sarkar, S., & Das, S. K. (2016). Removal of hexavalent chromium from aqueous solution using natural adsorbents—column studies. *Int J Eng Res Technol*, 5(11), 370-377.

Yogeshwaran, V., & Priya, A. K. (2017). Removal of hexavalent chromium by adsorption using natural wastes-a review. *Advances in Recycling and Waste Management*, 2(3), 1000141.

Yogeshwaran, V & Priya, A.K., Removal of Hexavalent Chromium (Cr6) Using Different Natural Adsorbents – A Review (December 19, 2017). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3090245> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3090245>

## **IX. ANEXO**

### A. Matriz de Consistencia

## A. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala		
<p><b>Problema general</b> ¿Cómo será la capacidad de bioadsorción de la panca de maíz Zea mays para la remoción de cromo hexavalente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, 2023?</p> <p><b>Problemas Específicos</b> 1. ¿Cuál es la caracterización de las diferentes concentraciones Cr VI en las muestras sintéticas a nivel del laboratorio? 2. ¿Cuál será la dosis óptima de la panca de maíz Zea mays como biosorbente natural para la remoción de cromo hexavalente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio? 3. ¿Cuál será la eficiencia de la panca de maíz Zea mays como biosorbente natural para la remoción de cromo hexavalente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Evaluar la capacidad de bioadsorción de la panca de maíz “Zea mays” para la remoción de Cromo hexavalente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, 2023.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b> 1. Caracterizar el Cr VI a diferentes concentraciones preparados como muestras sintéticas a nivel de laboratorio. 2. Determinar la dosis óptima de la cascara de la panca de maíz “Zea mays” como biosorbente natural para la remoción de Cromo hexavalente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio. 3. Determinar la eficiencia de la cascara de la panca de maíz “Zea mays” como biosorbente natural para la remoción de Cromo hexavalente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.</p>	<p><b>Hipótesis general</b> La evaluación de la capacidad de bioadsorción de la panca de maíz “Zea mays” permitirá conocer el nivel de remoción de Cromo hexavalente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, 2023.</p> <p><b>Hipótesis Específicos</b> 1. La caracterización de las muestras sintéticas conteniendo diferentes concentraciones de Cr VI se remocionan con niveles de pH. 2. La panca de maíz Zea mays como biosorbente natural presenta una dosis óptima de remoción de Cromo hexavalente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio. 3. La panca de maíz Zea mays como biosorbente natural tiene una elevada eficiencia en la remoción de Cromo hexavalente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p>	<p>Proceso de eliminación de solutos (i.e. metales pesados, compuestos orgánicos, etc.) de soluciones acuosas, mediante la adhesión pasiva a biomasa inerte. El proceso de biosorción tiene como característica principal la retención del metal en la superficie celular del</p>	<p>Para realizar la bioadsorción se evaluarán los factores que intervienen y permiten desarrollar este proceso, estos factores son parámetros fisicoquímicos, propiedades del contaminante, propiedades de la biomasa y condiciones del medio (Concentración, dosis, tiempo, velocidad de agitación, volumen y otros).</p>	<p>Bioadsorción de panca de maíz</p>	Dosis	ml		
			Tiempo				Minutos			
			Velocidad de Agitación				rpm			
			Concentración				g/l			
			<p><b>Variable Dependiente</b></p>				<p>Existen varios métodos para la remoción de metales pesados de efluentes como: electrodiálisis, intercambio iónico y ultrafiltración. Estos son algunos procesos que se emplean para la remoción de elevadas concentraciones de metales pesados (Kuyucak, 1990)</p>	<p>Para evaluar la remoción de Cromo VI se tomará en cuenta su concentración inicial de trabajo considerado por el investigador, para luego ser sometido a un proceso de tratamiento con floculantes naturales y observar sus nuevos niveles alcanzados, asimismo, tomaremos en cuenta los niveles de eficiencia obtenidos en cada caso.</p>	Concentración	(mg/l)
									Remoción de Cromo hexavalente	Eficiencia