

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Evaluación de la eficiencia de la adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cáscara de café y papa en efluentes industriales de curtiembre-distrito de San Pedro de Saño-Huancayo**

Dianna Carolina Castillo Tanta  
Liz Cristina Villacresis Huashuayo

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN**

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Jose Vladimir Cornejo Tueros  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 04 de noviembre de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA ADSORCIÓN DEL CROMO HEXAVALENTE MEDIANTE EL USO DE RESIDUOS DE CÁSCARA DE CAFÉ Y PAPA EN EFLUENTES INDUSTRIALES DE CURTIEMBRE - DISTRITO DE SAN PEDRO DE SAÑO - HUANCAJO

**Autores:**

1. Dianna Carolina Castillo Tanta - EAP. Ingeniería Ambiental
2. Liz Cristina Villacresis Huashuayo - EAP. Ingeniería Ambiental

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 12 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI  NO   
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): -
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos - RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,



Asesor de trabajo de investigación

**Asesor:**

Dr. José Vladimir Cornejo Tueros

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este trabajo primeramente a Dios.,  
nuestros padres y familiares, quienes creyeron  
en nosotros y nos dieron el soporte en todo  
momento.

## **AGRADECIMIENTOS**

Para este presente proyecto, en primer lugar, queremos agradecer a Dios, por ser nuestro guía día a día, por ser nuestro apoyo, nuestra luz en el camino, por cada aspecto e instante a lo largo de la ejecución de nuestra tesis, gracias a él por ser la base de la moral, por todos los días en el que nos permite despertar no solo con vida, sino que además nos permite seguir con salud, fuerzas y empeño; un instante por medio del cual crecimos como persona, el cual nos permite la culminación de este proyecto. Agradecemos por habernos dado la sabiduría, fortaleza para alcanzar nuestros objetivos y seguir adelante en aquellos momentos de debilidad

Agradecer también a nuestros padres, los cuales fueron el soporte y el camino a seguir.

Agradecer a la Universidad Continental, por abrirnos las puertas para ser parte del cuerpo estudiantil, y nosotros poder cumplir parte de nuestros objetivos profesionales.

Agradecer al Dr. José Vladimir Cornejo Tueros, por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no se hubiera podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	3
AGRADECIMIENTOS .....	4
ÍNDICE GENERAL.....	5
ÍNDICE DE TABLAS .....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN .....	12
CAPÍTULO 1 .....	14
PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO.....	14
1.1. Planteamiento y Formulación del Problema.....	14
1.1.1. Planteamiento del problema.....	14
1.1.2. Formulación del problema .....	15
1.1.2.1. Problema general.....	15
1.1.2.2. Problemas específicos .....	15
1.2. Objetivos .....	16
1.2.1. Objetivo general.....	16
1.2.2. Objetivos específicos .....	16
1.3. Justificación e importancia .....	16
1.3.1. Justificación .....	16
1.3.2. Importancia .....	17
1.4. Delimitación del estudio.....	17
1.5. Hipótesis y variables.....	17
1.5.1. Hipótesis general.....	17
1.5.2. Hipótesis específicas .....	18
1.5.3. Variables .....	18
1.5.3.1. Variable independiente.....	18
1.5.3.2. Variable dependiente.....	18
1.6. Operacionalización de las variables.....	18
Fuente: Elaboración propia .....	19
CAPÍTULO 2 .....	20
MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Antecedentes del problema.....	20
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	20
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	22

2.1.3. Antecedentes locales .....	23
2.2. Bases teóricas .....	24
2.2.1. Curtiembres.....	24
2.2.2. Cromo hexavalente .....	25
2.2.3. Alternativas en la remoción de cromo hexavalente.....	26
2.2.4. Proceso de adsorción.....	27
2.2.5. Bioadsorción .....	28
2.2.6. Factores que afectan la adsorción .....	31
2.2.7. Métodos de análisis de la adsorción de cromo hexavalente.....	32
2.2.8. Cuantificación de cromo por espectrofotometría UV-Vis .....	32
2.2.9. Cáscara de café .....	33
2.2.10. Cáscara de papa.....	34
2.3. Definición de términos .....	35
CAPÍTULO 3 .....	37
METODOLOGÍA .....	37
3.1. Método, tipo y nivel de investigación.....	37
3.1.1. Método de investigación .....	37
3.1.2. Tipo de investigación.....	37
3.1.3. Nivel de investigación.....	37
3.2. Diseño de investigación.....	37
3.3. Población y muestra .....	38
3.3.1. Población .....	38
3.3.2. Muestra .....	38
3.3.3. Muestreo .....	39
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	39
3.4.1. Recolección del efluente residual de la curtiembre.....	39
3.4.2. Elaboración del adsorbente .....	39
3.4.3. Adsorción del cromo hexavalente.....	40
3.4.4. Determinación del contenido de cromo VI por espectrofotometría UV-VIS.....	40
3.4.5. Determinación de la eficiencia de adsorción del cromo VI .....	41
3.5. Técnica de procesamiento de datos .....	42
CAPÍTULO 4 .....	43
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
4.1. Resultados de investigación.....	43
4.1.1. Eficiencia de la adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cascara de café .....	43



4.1.2. Eficiencia de la adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cascara de papa .....	45
4.1.3. Eficiencia de la adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de la mezcla de cascara de café y cascara de papa .....	47
4.1.4. Evaluación del efecto del tipo de adsorbente y tiempo en la adsorción de cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cáscara de café y cáscara .....	49
4.2. Discusión de resultados .....	53
CONCLUSIONES .....	56
RECOMENDACIONES .....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58
ANEXOS.....	64
Anexo 1: Matriz de consistencia .....	65
Anexo 2: Informe de resultado de análisis .....	66
Anexo 3: Evidencia fotográficas .....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Matriz de operación de variables .....	19
<b>Tabla 2.</b> Generalidades de los residuos del cromo hexavalente.....	26
<b>Tabla 3.</b> Eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cascara de café.....	43
<b>Tabla 4.</b> Eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cascara de papa.....	45
<b>Tabla 5.</b> Eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de la mezcla de residuos de cascara de papa y cascara de café .....	47
<b>Tabla 6.</b> Análisis de varianza .....	51
<b>Tabla 7.</b> Agrupación utilizando el método de Tukey para los adsorbentes.....	51
<b>Tabla 8.</b> Agrupación utilizando el método de Tukey para el tiempo .....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema del fenómeno de adsorción .....	27
<b>Figura 2.</b> Proceso de bioadsorción.....	29
<b>Figura 3.</b> Reacción de oxidación de la difenilcarbazida. ....	33
<b>Figura 4.</b> Partes de la cereza de café.....	34
<b>Figura 5.</b> Esquema experimental del diseño de investigación .....	38
<b>Figura 6.</b> Esquema de procedimientos para la obtención del adsorbente. ....	40
<b>Figura 7.</b> Comparación de la eficiencia de adsorción de la cascara de café a diferentes tiempos 44	
<b>Figura 8.</b> Comparación de la eficiencia de adsorción de la cascara de papa a diferentes tiempos 46	
<b>Figura 9.</b> Comparación de la eficiencia de adsorción de la mezcla de cascara de papa y café a diferentes tiempos .....	48
<b>Figura 10.</b> Prueba de normalidad.....	49
<b>Figura 11.</b> Prueba de homogeneidad de varianzas.....	50

## RESUMEN

El objetivo del trabajo de investigación fue evaluar la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cáscara de café y cáscara de papa en efluentes industriales de curtiembre, en el Distrito de San Pedro de Saño – Huancayo. La metodología fue mediante el método científico, aplicado, descriptivo – explicativo porque se describió, entendió y explico las razones detrás de su eficacia en la eliminación del contaminante. El diseño descrito fue un diseño experimental un diseño de bloques completamente al azar DBCA, siendo los bloques el tipo de adsorbente (cascara de papa cascara de café y mezcla (1:1) de los dos residuos) y el factor fue el tiempo. La población fue el agua residual del efluente generado por las curtiembres y la muestra 18 litros de efluente generado por las curtiembres del distrito de San Pedro de Saño, provincia de Huancayo. La técnica empleada fue la observación indirecta y los instrumentos utilizados incluyeron balanzas de precisión, cronómetros, espectrofotómetro, pipetas, buretas, etc. El procesamiento de datos, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) al cumplir con los supuestos de normalidad. En cuanto a los resultados la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente utilizando residuos de cáscara de café a los 30 minutos, fue de 63.24% y aumenta a 76.79% después de 60 minutos de contacto, cáscara de papa alcanzo un 51.03% a los 30 minutos y un 73.60% a los 60 minutos y la mezcla 82.24% a los 30 minutos y un 91.07% a los 60 minutos, además se observó efecto significativo del tipo de adsorbente y tiempo. En conclusión, la evaluación de la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente usando residuos de cáscara de café y cáscara de papa en efluentes industriales de curtiembre en el Distrito de San Pedro de Saño – Huancayo muestra que ambos tipos de adsorbentes, tanto por separado como en combinación, tienen capacidades significativas para eliminar cromo hexavalente.

**Palabras clave:** Cascara de papa, cascara de café, adsorción y cromo hexavalente

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the efficiency of hexavalent chromium adsorption using coffee husk and potato peel residues in industrial tannery effluents in the San Pedro de Saño District, Huancayo. The methodology applied was the scientific method, specifically an applied, descriptive-explanatory approach, as it described, understood, and explained the reasons behind the effectiveness of the adsorbents in contaminant removal. The study used a completely randomized block design (CRBD), where the blocks were the types of adsorbents (potato peel, coffee husk, and a 1:1 mixture of both residues) and the factor was time. The population consisted of wastewater from tannery effluents, with a sample of 18 liters of effluent generated by tanneries in the San Pedro de Saño District, Huancayo. The technique employed was indirect observation, and the instruments used included precision balances, stopwatches, a spectrophotometer, pipettes, burettes, etc. Data processing involved an analysis of variance (ANOVA) upon meeting the normality assumptions. The results showed that the efficiency of hexavalent chromium adsorption using coffee husk was 63.24% at 30 minutes and increased to 76.79% after 60 minutes of contact. Potato peel achieved 51.03% at 30 minutes and 73.60% at 60 minutes, while the mixture reached 82.24% at 30 minutes and 91.07% at 60 minutes. A significant effect of the type of adsorbent and time was observed. In conclusion, the evaluation of hexavalent chromium adsorption efficiency using coffee husk and potato peel residues in industrial tannery effluents in the San Pedro de Saño District, Huancayo, shows that both types of adsorbents, whether used separately or in combination, have significant capacities for hexavalent chromium removal.

**Keywords:** Potato peel, coffee husk, adsorption, hexavalent chromium

## INTRODUCCIÓN

Cada vez más la contaminación de ecosistemas acuáticos constituye una preocupación a nivel mundial, impactando negativamente la calidad del agua y los hábitats naturales. Uno de los factores predominantes de esta situación es la descarga de efluentes sin tratamiento previo, lo cual introduce una elevada carga de materia orgánica y compuestos tóxicos en los cuerpos de agua. Además, este vertimiento no controlado contribuye significativamente a la degradación de las fuentes hídricas, comprometiendo la salud de los ecosistemas y la biodiversidad acuática (1). Uno de los recursos hídricos impactados por este tipo de contaminación son los efluentes industriales generados por las curtiembres en el distrito de San Pedro de Saño, Huancayo. La actividad industrial en esta área contribuye significativamente a la contaminación mediante el vertido de residuos que contienen metales pesados, particularmente cromo hexavalente (Cr (VI)), el cual es altamente tóxico y carcinogénico.

Para elevar la calidad de este recurso hídrico, es fundamental implementar tratamientos que disminuyan los niveles de contaminantes, particularmente metales pesados como el cromo hexavalente. Tradicionalmente, se han utilizado métodos químicos para la remoción de Cr (VI), sin embargo, estos presentan problemas como la generación de subproductos nocivos y altos costos operativos (2). Una alternativa más sostenible es la adsorción mediante el uso de materiales de bajo costo y abundantes, como los residuos de cáscara de café y papa.

Estudios previos han demostrado la efectividad de diferentes materiales orgánicos para la adsorción de metales pesados en soluciones acuosas. Sin embargo, no se han realizado investigaciones específicas sobre la aplicación de residuos de cáscara de café y papa en efluentes industriales de curtiembre en San Pedro de Saño. El presente estudio tiene como objetivo principal evaluar la eficiencia de la adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cáscara de café y papa en efluentes industriales de curtiembre - distrito de San Pedro de Saño – Huancayo. La obtención de estos resultados facilitará la evaluación del potencial de estos materiales para la implementación de un tratamiento ecológico que optimice la calidad del agua en esta región afectada por la contaminación industrial. Esto permitirá determinar la viabilidad de emplear estos materiales en soluciones sostenibles para la restauración del entorno hídrico contaminado.

En el capítulo I, se aborda el planteamiento del estudio. Se define el problema de investigación junto con sus objetivos generales y específicos. Asimismo, se justifica la importancia la importancia del objeto de estudio, y se presenta la hipótesis planteada

El capítulo II expone el marco teórico, teniendo en cuenta antecedentes internacionales, nacionales, regionales y locales. También aborda las bases teóricas vinculadas a conceptos importantes como eficiencia, adsorción, cromo hexavalente, residuos industriales y métodos de tratamiento. Finalmente, se aclaran los términos principales empleados.

El capítulo III expone en detalle la metodología aplicada en la investigación. Incluye una descripción del método, tipo de investigación, nivel y diseño utilizados. Asimismo, define la población y muestra del estudio y presenta las técnicas e instrumentos empleados para la recolección de datos.

El capítulo IV presenta los resultados derivados del análisis de la información recopilada. Se incorporan tablas y gráficos para respaldar los hallazgos obtenidos. Posteriormente, se realizan pruebas estadísticas sobre las hipótesis formuladas y, finalmente, se lleva a cabo una discusión de los resultados, comparándolos con la teoría existente.

Finalmente, se presentan las conclusiones y sugerencias para futuras investigaciones vinculadas a este estudio. Se resalta que tanto los residuos de cáscara de café como de papa muestran una alta eficiencia en la adsorción de Cr (VI), lo que los convierte en una alternativa natural efectiva para mejorar la calidad del agua en efluentes industriales de curtiembres. De este modo, la investigación aporta al conocimiento sobre el uso de adsorbentes naturales en el tratamiento de aguas, con el objetivo de optimizar la calidad del recurso hídrico en el distrito de San Pedro de Saño, Huancayo.

## CAPÍTULO 1

### PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO

#### 1.1. Planteamiento y Formulación del Problema

##### 1.1.1. Planteamiento del problema

Las actividades humanas han provocado la aparición de Cr (VI) en los desechos industriales y en los entornos acuáticos, donde es bien conocido por sus propiedades venenosas. El cromo hexavalente (Cr (VI)) en los ecosistemas acuáticos plantea un riesgo sustancial tanto para la salud humana como para el medio ambiente. Es ampliamente reconocido como una sustancia que causa cáncer y tiene impactos significativos en la salud humana. Es bien conocido por sus efectos nocivos para la salud, especialmente por su comportamiento cancerígeno. La exposición a altos niveles de este Cr (VI) en el agua potable provocará cáncer de pulmón, problemas respiratorios y dolencias gastrointestinales durante mucho tiempo. Por lo tanto, existen pautas regulatorias y límites permisibles para abordar sus posibles problemas de salud (1).

En el mundo el cromo (Cr) es el metal pesado más utilizado y tiene una gran variedad de aplicaciones en sectores industriales como la metalurgia, la automoción, el cuero, la galvanoplastia, etc. Posteriormente, estas industrias vierten al medio ambiente grandes volúmenes de aguas residuales industriales tóxicas que contienen Cr sin un tratamiento o gestión adecuados, lo que provoca graves daños a la salud humana y a la ecología (2). Debido a su alta solubilidad, el Cr se abre paso fácilmente en las aguas superficiales y subterráneas del interior y entra en los sistemas vegetales, causando una toxicidad extrema para las plantas y los animales debido a sus propiedades cancerígenas y mutagénicas (3).

En Perú el problema del cromo hexavalente (Cr (VI)) es una preocupación ambiental y de salud pública significativa. Este compuesto es altamente tóxico y puede causar graves daños a la salud, incluyendo problemas gastrointestinales, hepáticos, reproductivos y de desarrollo. Además, la exposición prolongada puede tener efectos mutagénicos y cancerígenos (4, 5). Una de las principales fuentes de contaminación por cromo hexavalente proviene de la industria de curtiembre. Estas industrias descargan aguas residuales que contienen altos niveles de Cr (VI), afectando cuerpos de agua y suelos cercanos (6). En Lima, donde se concentra cerca del 50% de las curtiembres del país, estos problemas se intensifican debido a la alta densidad industrial y la insuficiencia de tratamiento adecuado de los residuos generados. Además, estos efluentes tienen altas



demandas bioquímicas y químicas de oxígeno (DBO y DQO), lo que agrava aún más la degradación ambiental. La gestión ineficaz de estos residuos y la falta de tecnologías de tratamiento adecuadas contribuyen a la persistencia de este problema en el país (7).

En San Pedro de Saño, Huancayo los residuos de estas actividades industriales contaminan las fuentes de agua locales, afectando significativamente la calidad del agua del río Mantaro y los suelos circundantes. Esta situación se agrava debido a la falta de infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas residuales y la gestión de residuos sólidos, lo que resulta en la liberación continua de contaminantes al medio ambiente. En tal sentido en el trabajo se plantea la evaluación de la eficiencia de la adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cáscara de café y papa en efluentes industriales de curtiembre del distrito de san pedro de Saño – Huancayo.

## **1.1.2. Formulación del problema**

### **1.1.2.1. Problema general**

- ¿Cuál es la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cáscara de café y cáscara de papa en efluentes industriales de curtiembre, en el Distrito de San Pedro de Saño - Huancayo?

### **1.1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cascara de café en efluentes industriales de curtiembre según el tiempo de contacto del distrito de San Pedro de Saño – Huancayo?
- ¿Cuál es la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cascara de papa (canchan) en efluentes industriales de curtiembre según el tiempo de contacto del distrito de San Pedro de Saño – Huancayo?
- ¿Cuál es la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de la mezcla de cáscara de café y papa (canchan) en efluentes industriales de curtiembre según el tiempo de contacto del distrito de San Pedro de Saño – Huancayo?
- ¿Cuál es el efecto del tipo de adsorbente y el tiempo en la adsorción de cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cáscara de café y cáscara de papa en efluentes industriales de curtiembre, en el Distrito de San Pedro de Saño - Huancayo?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Evaluar la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cáscara de café y cáscara de papa en efluentes industriales de curtiembre, en el Distrito de San Pedro de Saño – Huancayo.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cascara de café en efluentes industriales de curtiembre según el tiempo de contacto del distrito de San Pedro de Saño – Huancayo.
- Determinar la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cascara de papa en efluentes industriales de curtiembre según el tiempo de contacto del distrito de San Pedro de Saño – Huancayo.
- Determinar la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de la mezcla de cáscara de café y papa (canchan) en efluentes industriales de curtiembre según el tiempo de contacto del distrito de San Pedro de Saño – Huancayo
- Determinar el efecto del tipo de adsorbente y el tiempo en la adsorción cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cáscara de café y cáscara de papa en efluentes industriales de curtiembre, en el Distrito de San Pedro de Saño – Huancayo.

## **1.3. Justificación e importancia**

### **1.3.1. Justificación**

Mediante un aspecto practico, La contaminación por cromo hexavalente (Cr (VI)) en las aguas residuales de curtiembre es un problema grave debido a la alta toxicidad y persistencia del metal en el ambiente. El uso de residuos agrícolas, como la cáscara de café y papa, ofrece una solución práctica para la remoción de Cr (VI), aprovechando materiales abundantes. Este enfoque no solo reduce la contaminación, sino que también promueve la reutilización de residuos agroindustriales, contribuyendo a una economía circular.

Desde una perspectiva social, este estudio es crucial porque aborda la protección de la salud pública y la calidad de vida de las comunidades locales. La exposición al cromo hexavalente puede causar graves problemas de salud, incluyendo cáncer y enfermedades renales. Al implementar un método eficiente y accesible para reducir la concentración de Cr (VI) en efluentes industriales, se mejora la calidad del agua, beneficiando directamente a las comunidades que dependen de estas fuentes hídricas para sus actividades diarias.

Además, el uso de residuos agrícolas como adsorbentes puede generar nuevas oportunidades de empleo y desarrollo económico en las zonas rurales, al promover la recolección y procesamiento de estos materiales.

Ambientalmente, el estudio es de gran relevancia porque contribuye a la protección y recuperación de los ecosistemas acuáticos afectados por la contaminación industrial. El cromo hexavalente es altamente tóxico para la fauna y flora acuática, y su presencia en cuerpos de agua puede alterar significativamente los ecosistemas. Utilizar adsorbentes naturales y biodegradables como la cáscara de café y papa para la remoción de Cr(VI) minimiza el impacto ambiental negativo asociado con los tratamientos químicos convencionales, que a menudo generan subproductos tóxicos y lodos contaminados. Este enfoque más sostenible no solo mejora la calidad del agua, sino que también reduce la carga de contaminantes en el medio ambiente, promoviendo la salud y biodiversidad de los ecosistemas locales.

### **1.3.2. Importancia**

La importancia radica en su capacidad para ofrecer una solución económica, sostenible y eficaz al problema de la contaminación industrial en efluentes de curtiembre. Este enfoque no solo proporciona un tratamiento de bajo costo al utilizar materiales de desecho, sino que también reduce la generación de subproductos tóxicos y minimiza el impacto ambiental, contribuyendo a la protección de la salud pública y la calidad de los ecosistemas acuáticos. Además, fomenta la reutilización de residuos agrícolas, generando beneficios económicos para las comunidades locales y promoviendo prácticas más sostenibles en el manejo de aguas residuales.

### **1.4. Delimitación del estudio**

El presente proyecto de investigación se desarrolló dentro del distrito de San Pedro de Saño de la Provincia de Huancayo departamento de Junín, para la toma de muestra e información se realizó en los puntos de descarga de los efluentes de la actividad industrial de curtiembre.

### **1.5. Hipótesis y variables**

#### **1.5.1. Hipótesis general**

- El uso de residuos de cáscara de café y cáscara de papa como adsorbentes es eficiente para la eliminación del cromo hexavalente en efluentes industriales de curtiembre en el Distrito de San Pedro de Saño – Huancayo.

## **1.5.2. Hipótesis específicas**

- Los residuos de cáscara de café son eficientes en la adsorción del cromo hexavalente en efluentes industriales de curtiembre según el tiempo de contacto en el distrito de San Pedro de Saño – Huancayo.
- Los residuos de cáscara de papa son eficientes en la adsorción del cromo hexavalente en efluentes industriales de curtiembre según el tiempo de contacto en el distrito de San Pedro de Saño – Huancayo.
- La mezcla de residuos de cáscara de café y cáscara de papa (canchan) es eficiente en la adsorción del cromo hexavalente en efluentes industriales de curtiembre según el tiempo de contacto en el distrito de San Pedro de Saño – Huancayo.
- El tipo de adsorbente y el tiempo de contacto tienen efecto significativo en la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cáscara de café y cáscara de papa en efluentes industriales de curtiembre en el distrito de San Pedro de Saño – Huancayo.

## **1.5.3. Variables**

### **1.5.3.1. Variable independiente**

- Tipo de adsorbente (cáscara de papa, cáscara de café y mezcla de cáscara de papa y cáscara de café).
- Tiempo de contacto (30 minutos y 60 minutos).

### **1.5.3.2. Variable dependiente**

- Eficiencia de adsorción del cromo hexavalente

## **1.6. Operacionalización de las variables**

**Tabla 1.** Matriz de operación de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Escala	Técnica	Instrumento
VI: Tipo de adsorbente	Material que tiene la capacidad de atraer y retener iones metálicos de una solución líquida sobre su superficie, mediante procesos físicos o químicos (8).	Material utilizado para adsorber el cromo hexavalente de los efluentes industriales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cascara de papa</li> <li>• Cascara de café</li> <li>• Mezcla de cascara de papa y café</li> </ul>	Gramos	Razón	O. Indirecta Gravimetría	Balanza de presión
VI: Tiempo de contacto	Período durante el cual un adsorbente y una solución contaminada están en contacto, permitiendo que los iones metálicos o contaminantes se adsorban en la superficie del adsorbente (9).	Duración del periodo durante el cual el adsorbente está en contacto con el efluente contaminado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 30</li> <li>• 60</li> </ul>	Minutos	Razón	O. Indirecta Cronometría	Cronometro
VD: Eficiencia de adsorción del cromo hexavalente	Capacidad de un adsorbente para remover el cromo de una solución acuosa (10).	Porcentaje de cromo hexavalente removido del efluente, calculado mediante un antes y después del tratamiento.	Adsorción del cromo hexavalente	% de adsorción	Razón	O. Indirecta Espectrofotometría	Espectrofotómetro

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes del problema

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

En el año 2023, Arrieta y Martínez (11) en su trabajo acerca de la adsorción de cromo hexavalente en aguas del Río Bogotá mediante cáscara de café, examinaron la eficacia del carbón activado producido a partir de cáscara de café para remover el cromo hexavalente del río. Asimismo, se examinó el impacto del tamaño de las partículas de carbón en su eficacia de adsorción. Los pasos fundamentales incluyeron la recolección de cáscaras de café, su activación con hidróxido de potasio, la carbonización, la molienda y la clasificación en tres tamaños de partículas (0.6 mm, 0.85 mm y 1 mm). Se tomaron muestras de agua del río en tres puntos distintos y se llevaron a cabo análisis fisicoquímicos. En términos generales, los resultados fueron positivos, ya que ninguna de las partículas mostró una capacidad de adsorción inferior al 60%. Se evidenció una relación directamente proporcional entre el tamaño de las partículas y su capacidad de adsorción: la partícula de mayor tamaño (1 mm) presentó la mayor capacidad de adsorción (75.42%), seguida por la partícula de tamaño intermedio (0.85 mm) con un 65.44%, y finalmente, la partícula de menor tamaño (0.65 mm) con un 60.57%. En conclusión, el carbón activado derivado de cáscara de café se revela como un método extremadamente eficaz para la adsorción de contaminantes en cuerpos de agua. Además, el ajuste de las isotermas de adsorción al modelo de Langmuir sugiere que esta técnica es adecuada para el tratamiento de bajas concentraciones de cromo en el efluente.

En el año 2022, Aragaw et al. (12), en su estudio titulado "Eliminación de cromo de aguas residuales de galvanoplastia mediante carbón activado de cáscara de café" evaluaron la eficiencia de adsorción de Cr del carbono activado de cáscara de café en un entorno de laboratorio. Se analizaron propiedades como pH, conductividad eléctrica (CE), contenido de cenizas, humedad, densidad aparente, tamaño de partícula, volumen de poros, porosidad, materia orgánica volátil, rendimiento de carbono y relación carbono nitrógeno, siguiendo métodos estándar. Se emplearon modelos para examinar isotermas y cinéticas de adsorción, y se investigó la capacidad de desorción del carbono activado de cáscara de café. Los grupos funcionales del adsorbente y la morfología de la superficie se analizaron mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y microscopía electrónica de barrido (SEM). Los resultados demostraron que el carbono activado de cáscara de café posee una alta calidad, desempeñando un papel significativo en la

adsorción de metales pesados. El análisis FTIR confirmó la presencia de grupos funcionales como hidroxilo y carboxilo, que favorecen la adsorción de cromo. La optimización del proceso de adsorción mostró una eficiencia máxima de 99.65% para Cr, con un tiempo de contacto de 120 minutos, una concentración inicial de 40 mg/L, una velocidad de agitación de 150 rpm, un pH de 7.0 y una dosis de adsorbente de 20 g/L. Los estudios de desorción indicaron que se eliminó un 60% del Cr adsorbido. En conclusión, debido a la fácil disponibilidad de la cáscara de café en instalaciones de procesamiento, su uso como adsorbente resulta rentable y constituye una alternativa eficaz para la eliminación de cromo de las aguas residuales.

En el año, 2021 Cifuentes y Fraile (13) realizaron un estudio acerca de la valoración de biosorbentes naturales para la eliminación de Cr (VI) de soluciones acuosas y su posible aplicación en el tratamiento de efluentes de curtiembres. tuvieron como objetivo evaluar el desempeño de biosorbentes naturales, utilizando cáscaras de mandarina (CM), plátano (CP) y bagazo de caña (BCA) como alternativas para la remoción de Cr (VI) en una solución acuosa. El enfoque fue mixto, integrando métodos cualitativos y cuantitativos para la recolección y análisis de datos, con un alcance correlacional que identificó causas y consecuencias. Los resultados revelaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos, con eficiencias máximas de remoción de  $72,8 \pm 9,6\%$  para CM,  $99,4 \pm 0,2\%$  para CP y  $99,0 \pm 0,3\%$  para BCA. Se constató que la eficacia en la eliminación de Cr (VI) mejoraba a medida que aumentaba la cantidad de material biosorbente utilizado. Finalmente, se verificó que esta opción ofrece un enfoque ambientalmente sostenible, con una eficiencia del 91,2%, lo cual proporciona beneficios significativos desde el punto de vista ambiental. En conclusión, este estudio avanza en el desarrollo de tecnologías que podrían ser aplicables para el tratamiento de efluentes de curtiembres contaminados con Cr (VI).

En el año 2021, Charles et al. (14), realizaron una investigación titulada "Eliminación de Cr<sup>3+</sup> de aguas residuales de curtidurías utilizando materiales no modificados y adsorbente de cáscara de café Arábica modificado con ácido" tuvieron como objetivo eliminar el cromo presente en los efluentes de curtidurías. La cáscara de café cruda fue tratada con ácido sulfúrico y caracterizada mediante FTIR y análisis SEM. Los resultados mostraron que a medida que aumentaba la concentración inicial de iones metálicos, también lo hacía la adsorción de estos iones. La mayor absorción de metal se registró a un pH de 4,5. Los porcentajes de remoción fueron de 47,52 % para la cáscara de café no modificada (UCH) y 69,3 % para la cáscara modificada (MCH). El equilibrio de adsorción se alcanzó en 25 minutos para UCH y en 15 minutos para MCH, con una dosis óptima de 3 g para ambos adsorbentes. El análisis FTIR detectó la presencia de grupos

funcionales hidroxilo, carboxílico y carbonilo, mientras que la microscopía electrónica de barrido reveló la textura y morfología del biosorbente. En conclusión, la cáscara de café, tanto modificada como sin modificar, es un biosorbente de bajo costo y ecológicamente aceptable para la eliminación de iones de cromo de efluentes de curtidurías y otros efluentes industriales

En el año 2019, Pabón (9) llevó a cabo la investigación titulada "Utilización de cáscara de papa como material bioadsorbente para la eliminación de cromo VI de aguas residuales provenientes de una curtiembre durante la etapa de curtido". Tuvo como objetivo evaluar la eliminación del cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembre. El estudio empleó un enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos para la recopilación y análisis de datos. Los resultados revelaron concentraciones de Cr (VI) de 103,86 ppm en el punto de descarga y 45,46 ppm en la solución sintética. Estos datos fueron evaluados utilizando isothermas de adsorción de Langmuir y Freundlich, las cuales indicaron que la cáscara de papa, una vez tamizada y tratada químicamente, resulta ser más eficaz en la eliminación de Cr (VI) en comparación con la cáscara sin tratamiento químico. Esta mejora contribuye significativamente a la optimización del entorno ambiental en el punto de descarga de las aguas residuales de la curtiembre. En conclusión, la cáscara de papa activada como material bioadsorbente no solo incrementa la efectividad en la eliminación de cromo VI, sino que también disminuye tanto los tiempos de operación como los costos en comparación con los adsorbentes comerciales.

En el año 2017, Berihun (15) realizó una investigación titulada "Eliminación de cromo de aguas residuales industriales mediante adsorción de cáscara de café" tuvo como objetivo examinar el potencial de la cáscara de café para eliminar el cromo del agua contaminada. Se estudió el carbón activado preparado por un método químico y su aplicación a aguas residuales reales. Se evaluaron diversos parámetros, incluyendo pH, tiempo de contacto, dosis de adsorbente y concentración inicial de cromo. Los resultados óptimos indicaron que 60 minutos de tiempo de contacto, una concentración inicial de 80 mg/l, un pH de 2, una dosis de adsorbente de 3 g/l y una velocidad de agitación de 200 rpm lograron una adsorción de cromo hexavalente del 98,19%. En conclusión, el carbón activado de cáscara de café demostró ser altamente eficiente para la eliminación de iones de cromo (VI) de aguas residuales. También se probó la eliminación de cromo utilizando residuos de curtiduría de Batu, sugiriendo que las estrategias integrales y de bajo costo deben ser prioritarias para purificar aguas contaminadas con metales pesados

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**



En el año 2024, Salas (16) en su trabajo titulado “Eliminación de cromo VI utilizando panca de maíz como biosorbente en soluciones sintéticas a escala de laboratorio. Su objetivo fue estudiar el uso de la borra de café como bioadsorbente para tratar los efluentes provenientes de una curtiembre local. Se realizó un pretratamiento inicial a la borra de café, seguido de estudios de adsorción bajo diversas concentraciones de pH y tiempos de contacto. Bajo las condiciones establecidas, se alcanzó una concentración final de cromo total de 158 ppm, lo que equivale a una remoción del 94,1%. Los resultados indicaron que el bioadsorbente natural a base de panca de maíz mostró eficiencias de remoción de 78,10%, 75,15% y 71,93% para concentraciones de 10, 20 y 30 mg/L de Cr+6, utilizando una dosis de 25 g del adsorbente. Se concluyó que el bioadsorbente posee una capacidad destacada para la eliminación de cromo VI. Además, se estableció que las dosis de 5, 10, 15 y 20 g de bioadsorbente presentan menores eficiencias en la remoción de cromo hexavalente en comparación con la dosis de 25 g, para todas las concentraciones (10, 20, 30, 40 y 50 mg/L) empleadas en el estudio.

En el año 2021, Silva (17) en su trabajo titulado “Capacidad de biosorción de cromo hexavalente en soluciones acuosas mediante el uso de borra de café”, tuvo como objetivo determinar la eliminación de cromo hexavalente (Cr VI) en un medio acuoso, utilizando dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) como fuente de cromo. Se utilizó un diseño factorial de 3 factores con 2 niveles cada uno, replicado tres veces, en el que los factores considerados fueron el tiempo de contacto (30 y 90 minutos), la concentración de metal (10 y 50 ppm) y el tamaño de partícula, que se ajustó utilizando tamices N° 10 y N° 100. Los experimentos se llevaron a cabo en condiciones de pH ácido, con agitación constante, y empleando 1 g de borra de café en cada prueba. Los resultados indicaron una remoción del 97,79%, lo que demuestra que la borra de café es extremadamente eficiente en el proceso de biosorción. Asimismo, se concluyó que se necesitan al menos 30 minutos de contacto para lograr una remoción efectiva, alcanzando hasta un 95% de eliminación. Los resultados óptimos se lograron con concentraciones de 50 ppm, alcanzando una remoción superior al 90%.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

En el año 2020, Paredes y Valle (18) en su estudio titulado “Evaluación de la capacidad de adsorción de la cáscara de limón para la remoción de Cr+6 de aguas residuales Textilera-Hualhuas”, se plantearon como objetivo determinar la eficacia de la remoción de cromo bajo las condiciones específicas de Huancayo, dado que en otras regiones se ha alcanzado una alta eficiencia. Mediante un diseño experimental, se analizaron los efectos de la cantidad de cáscara de limón y el tiempo de contacto en la eficiencia de eliminación

de cromo (VI). Se investigó cómo variar la cantidad de cáscara de limón y el tiempo de exposición influyen en la capacidad de remoción de cromo hexavalente. Los resultados mostraron que, utilizando 60 gramos de cáscara de limón como adsorbente, se logró una remoción del 96% de cromo (VI), reduciendo su concentración de 50.37 ppm a 2 ppm en un periodo de 10 horas. Se concluyó que la cáscara de limón posee una alta eficiencia de adsorción de cromo en las aguas residuales provenientes de la industria textil.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Curtiembres**

Las curtiembres son fábricas especializadas en convertir pieles crudas en cuero utilizando procesos químicos y mecánicos. Este procedimiento abarca la eliminación del pelo y otras impurezas, así como el tratamiento químico con agentes curtientes, como sales de cromo o extractos vegetales, para conservar la piel y mejorar sus características físicas. El proceso de curtido y la producción de residuos se subdividen en tres etapas principales. La primera etapa es el despelado, en la que se remueve el pelo de la piel, se devuelve a las pieles su estado húmedo inicial y se realizan la limpieza y desinfección, utilizando sulfuro de sodio y cal para eliminar la epidermis y el pelo, lo que requiere una gran cantidad de agua y produce efluentes con un pH elevado. Antes del proceso de curtido, se realiza el descarnado para eliminar las grasas y los tejidos carnosos de la parte interna de la piel. La segunda etapa es el curtido, que convierte la piel en cuero y genera efluentes con un pH bajo. Posteriormente, los procesos intermedios de desencalado, desengrase y purga eliminan la cal, el sulfuro y las grasas de la piel, limpiando sus poros antes del curtido final (19).

Las fluctuaciones en el volumen y la concentración de la carga contaminante de los residuos están determinadas por la materia prima que se procesa y la tecnología empleada. Al ingresar la piel animal a la curtiembre, se realizan cortes en las zonas del cuello, cola y extremidades, y en el caso de las pieles de ovino, se elimina la lana. Estos restos, que incluyen tejidos carnosos, grasas, sangre y excrementos, contribuyen a la carga orgánica de los residuos generados. Durante el remojo, se emplean grandes cantidades de agua que arrastran tierra, cloruros y materia orgánica. El pelambre, que emplea sulfuro y cal, genera efluentes con alto pH. El descarnado elimina mecánicamente las carnazas y grasas, y el desencalado retira la cal y el sulfuro con ácidos y otros químicos. El desengrase produce residuos líquidos con solventes y agentes tensoactivos (20).

Los procesos involucrados en el tratamiento de pieles comprenden diversas etapas. La purga utiliza enzimas como la tripsina y cloruro de amonio para limpiar los poros de la

piel, generando efluentes con pH neutro. El piquelado prepara la piel con cloruro de sodio para protegerla de ácidos como el sulfúrico y el fórmico, resultando en descargas líquidas ácidas y altamente salinas. En el curtido, se emplean sales de cromo, principalmente Cr+6, para estabilizar el colágeno de la piel, con procesos tanto minerales como vegetales, que pueden generar efluentes potencialmente tóxicos y de bajo pH. El escurrido y el rebajado, operaciones mecánicas para eliminar humedad y uniformar el cuero respectivamente, son críticos por sus residuos con alto contenido de cromo y humedad (21).

En la industria del cuero, el proceso de recurtido y teñido utiliza sales minerales distintas al cromo, así como curtientes sintéticos como los sintanos. Durante el teñido, se emplean tintes a base de anilina en baños a altas temperaturas, lo que produce colores intensos. Por otro lado, el recorte de acabado es una operación que busca uniformizar la apariencia del cuero terminado, generando residuos que contienen Cr+3 en casos donde se ha utilizado curtido con cromo (21).

### **2.2.2. Cromo hexavalente**

El cromo hexavalente, o Cr (VI), es una forma de cromo donde este elemento tiene un estado de oxidación de +6. Esta variante es ampliamente reconocida por su toxicidad y capacidad carcinogénica en los seres humanos, y se emplea en sectores como la metalurgia, la fabricación de pinturas y pigmentos, así como en el curtido de cueros, entre otros procesos industriales. La exposición al cromo hexavalente puede ocurrir por inhalación de polvo o vapores, ingestión de alimentos o agua contaminados, o contacto directo con la piel. Una vez dentro del organismo, puede causar daño al ADN y se ha asociado con un mayor riesgo de cáncer de pulmón y otros problemas de salud. Debido a sus efectos adversos, existen regulaciones estrictas para controlar y reducir la exposición al cromo hexavalente en entornos laborales y ambientales. Estas normativas generalmente establecen límites de exposición ocupacional y requisitos para el manejo seguro y la eliminación adecuada de residuos que contengan esta sustancia (22).

#### **A. Generalidades de los residuos del cromo**

En la tabla 2 se puede observar algunas generalidades sobre los residuos del cromo hexavalente que debemos tener en cuenta.

**Tabla 2.** Generalidades de los residuos del cromo hexavalente

<b>Aspecto</b>	<b>Descripción</b>
Origen	Procesos industriales como la metalurgia, la producción de pinturas y pigmentos, y el curtido de cueros, entre otros.
Toxicidad	Altamente tóxicos y carcinogénicos para los seres humanos.
Formas comunes	Soluciones acuosas contaminadas, lodos de filtración, materiales sólidos con residuos adheridos, como filtros y equipo de protección personal contaminados.
Riesgos para la salud	Daño al ADN, aumenta el riesgo de cáncer de pulmón y otros problemas de salud.
Vías de exposición	Inhalación de polvo o vapores, ingestión a través de alimentos o agua contaminada, y contacto directo con la piel.
Efectos sobre el medio ambiente	Persistencia en el ambiente y capacidad para causar diversos efectos adversos en los sistemas biológicos, relacionada con la presencia de anomalías en diferentes especies de peces, incluyendo alteraciones histológicas, bioquímicas y otras.

Fuente: Duarte (23).

### 2.2.3. Alternativas en la remoción de cromo hexavalente

Los métodos para eliminar el cromo incluyen varias técnicas químicas, como la oxidación-reducción, la adsorción y la precipitación. También se utilizan enfoques biológicos, como las reacciones enzimáticas de oxidación-reducción llevadas a cabo por microorganismos y la fitorremediación, que implica el uso de plantas para absorber o transformar contaminantes. Además, se aplican procesos físicos de remediación, que abarcan la separación del Cr (VI) del entorno contaminado mediante resinas de intercambio iónico o carbón activado granular. También se pueden crear barreras físicas para aislar la contaminación y evitar su dispersión (24).

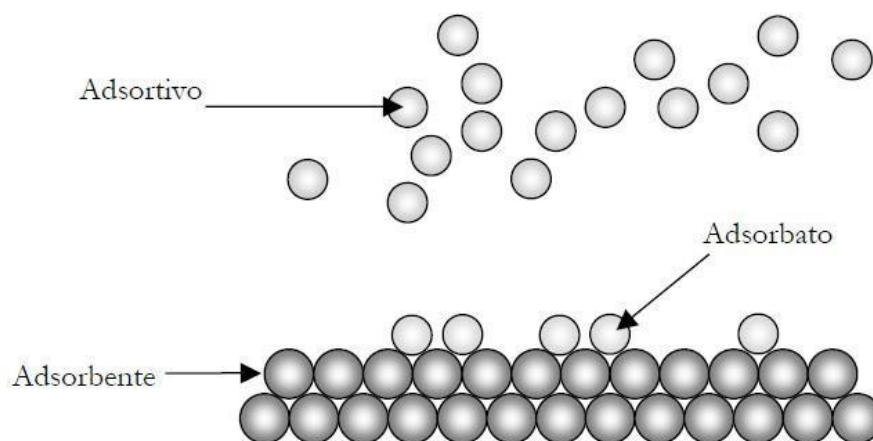
Se han implementado diversas tecnologías para eliminar el Cr (VI) del medio acuático, obteniendo resultados satisfactorios dependiendo de la concentración del cromo (VI) y las características de las fuentes de contaminación. Los métodos más utilizados incluyen la adsorción, la separación por membranas, ósmosis, coagulación-floculación, precipitación química, degradación fotocatalítica y el intercambio iónico. Cada uno de estos métodos presenta sus propias ventajas y desventajas, dependiendo de la aplicación específica y la concentración de los contaminantes. Sin embargo, estos métodos pueden resultar insuficientes o económicamente inviables cuando el Cr (VI) se encuentra en concentraciones traza. En particular, la adsorción ha demostrado ser muy efectiva para la

eliminación de Cr (VI) de los acuíferos, proporcionando una solución eficiente en estos casos (25).

#### 2.2.4. Proceso de adsorción

La adsorción es el proceso mediante el cual las moléculas se adhieren a la superficie de un material sólido. Este fenómeno es facilitado por fuerzas de atracción intermoleculares que actúan en sitios específicos del sólido, conocidos como centros activos. El material sólido que lleva a cabo esta captura se denomina adsorbente, mientras que la sustancia que se adhiere a la superficie del adsorbente se conoce como adsorbato. (Ramos y Villegas, 2019).

Existen dos teorías fundamentales que explican el mecanismo de la adsorción: la teoría del cubrimiento de superficie y la teoría del llenado de poros. La teoría del cubrimiento de superficie propone que las moléculas se adhieren inicialmente a la superficie del sólido formando una monocapa. Una vez que esta monocapa está completamente formada, se inicia la adsorción multicapa, en la cual se añaden capas sucesivas de moléculas sobre la monocapa inicial. Con el aumento en el número de capas, las fuerzas de atracción entre las moléculas y la superficie del sólido disminuyen, y en las capas superiores se produce principalmente condensación. En contraste, la teoría del llenado de poros se enfoca en sólidos microporosos y sugiere que la adsorción ocurre a medida que los poros del material se llenan, de manera análoga al llenado de un recipiente con líquido (Ramos y Villegas, 2019).



**Figura 1.** Esquema del fenómeno de adsorción

Fuente: Estrada (27).

Según la figura 1, la adsorción es un proceso mediante el cual átomos, iones o moléculas son atrapados y retenidos en la superficie de un material. Este fenómeno tiene lugar

cuando un sólido poroso captura partículas de un fluido al entrar en contacto con ellas. (27).

### **2.2.5. Bioadsorción**

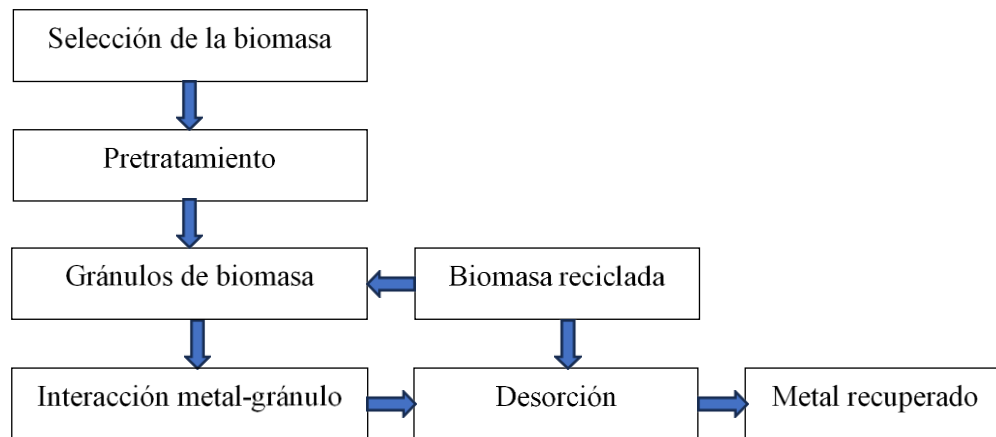
La bioadsorción es un proceso biotecnológico que emplea materiales biológicos, como microorganismos, algas, plantas y residuos agrícolas, para eliminar contaminantes de soluciones acuosas. Este método se fundamenta en la capacidad intrínseca de estos materiales para adsorber y retener iones metálicos y otras sustancias en sus superficies, debido a la presencia de grupos funcionales. Es una técnica eficiente, sostenible y económica, ideal para el tratamiento de aguas residuales y la recuperación de metales preciosos, aunque puede tener limitaciones en la capacidad de adsorción y la regeneración de los materiales. Los mecanismos implicados abarcan quimisorción, fisorción, intercambio iónico y complejación. La bioadsorción produce una cantidad mínima de subproductos tóxicos y proporciona una alta selectividad, lo que la convierte en una opción ecológica para la remediación de suelos y aguas contaminadas (28).

En la actualidad, debido al aumento del interés por la ecología y al endurecimiento de las regulaciones legales sobre la descarga de efluentes, es crucial desarrollar tecnologías rentables para combatir la contaminación por metales pesados. En este contexto, la bioadsorción emerge como una alternativa eficaz para la eliminación de iones de metales pesados de las aguas residuales. Este método utiliza materiales biológicos para capturar los iones de las soluciones acuosas. Además, este proceso integra varios mecanismos fisicoquímicos, tales como el intercambio iónico, la complejación, la quelación por coordinación, la adsorción física y la microprecipitación (29).

En los últimos años, se ha observado que diversos tipos de biomasa tienen el potencial de actuar como bioadsorbentes para metales pesados. Esto se debe a la afinidad que presentan los adsorbentes (fase sólida) por las especies de sorbato (fase líquida), lo que provoca que estas sean atraídas y se adhieran al sólido. Este proceso continúa hasta que se alcanza un equilibrio entre el sorbato disuelto y el sorbato adherido al adsorbente. Los estudios previos han evaluado múltiples biomateriales, incluyendo residuos y subproductos lignocelulósicos, cortezas, bagazos y materiales ricos en taninos, destacándolos como efectivos en la adsorción de metales pesados (30).

En el contexto de la remoción de metales pesados, el uso de biomasa muerta para bioadsorción presenta varias ventajas sobre el uso de materiales vivos para bioacumulación. En primer lugar, no es necesario cultivar ni mantener un medio específico para el proceso, lo cual simplifica la operación. Además, este método no está limitado por las restricciones fisiológicas de las células vivas, permitiendo un proceso

más rápido, ya que las células muertas funcionan como resinas de intercambio iónico. Otra ventaja significativa es la reversibilidad del proceso, que facilita la desorción del metal. Asimismo, se reduce la generación de lodo químico o biológico, y los biomateriales empleados, generalmente disponibles como residuos o subproductos, son económicos y accesibles. En resumen, la bioadsorción con biomasa muerta es una técnica eficiente y sostenible para la eliminación de metales pesados del entorno (8).



**Figura 2.** Proceso de bioadsorción

Fuente: Pabón (9).

#### A. Metales de interés en la bioadsorción

Los metales pesados y radionúclidos suscitan un notable interés en la comunidad científica debido a su elevada toxicidad y los efectos adversos que pueden causar en el medio ambiente y la salud humana. La captación de aniones mediante el uso de biomasa se considera crucial, tanto desde un enfoque industrial como ecológico. Un ejemplo notable es la eliminación de iones de cromo hexavalente de las aguas residuales, en la que numerosos estudios han revelado que el mecanismo predominante para la eliminación del Cr (VI) a través de diversos biomateriales es la reacción de oxidación-reducción, la cual transforma el Cr (VI) en Cr (III). Este proceso consta de tres etapas clave: primero, el cromo hexavalente se adhiere a los grupos funcionales cargados positivamente en la superficie del biomaterial, tales como iones carbonilo, hidroxilo y amino, entre otros. En segundo lugar, el Cr (VI) se reduce a Cr (III) mediante la transferencia de electrones desde los grupos donadores de electrones presentes en el biomaterial. Finalmente, el Cr (III) reducido es liberado hacia la fase acuosa debido a la repulsión electrónica entre los grupos cargados positivamente y el Cr (III) (30).

#### B. Biomateriales

Los biomateriales pueden ser pretratados con soluciones ácidas o básicas antes de ser secados y granulados.

Una vez que las partículas de bioadsorbente están preparadas, se pueden ensamblar en columnas, las cuales son dispositivos altamente eficaces para la eliminación de metales pesados. Cuando la capacidad de adsorción del bioadsorbente se ve comprometida, es posible regenerarlo empleando soluciones apropiadas de ácidos o álcalis (8).

A pesar de las extensas investigaciones sobre diversos materiales orgánicos e inorgánicos para evaluar su capacidad de adsorción de metales pesados en efluentes industriales, los estudios se han centrado principalmente en dos categorías. Por un lado, las biomásas microbianas, que incluyen hongos, bacterias y algas, y por otro, los residuos agroindustriales como cáscaras de coco, naranja, limón, yuca, manzana y tamarindo. Estos materiales han sido objeto de un análisis más detallado debido a su eficacia y disponibilidad para la remoción de contaminantes metálicos (28).

La eliminación de cromo de recursos hídricos a través de bioadsorbentes implica dos fases principales. Inicialmente, las especies de Cr (VI) se adhieren a la superficie del adsorbente. Posteriormente, el cromo en su forma hexavalente se convierte en Cr (III), el cual se adhiere a la superficie externa del adsorbente. Los aspectos cruciales que afectan la eficacia de la adsorción de este metal incluyen el pH del medio, la intensidad de la agitación, la cantidad de adsorbente aplicado, la concentración inicial de cromo, la temperatura del sistema, el tamaño de las partículas y las propiedades específicas del adsorbente utilizado (31).

### C. Principios fisicoquímicos del uso de biomasa residual en procesos industriales

En general, la extracción de metales mediante biomásas residuales se atribuye a las proteínas, carbohidratos y componentes fenólicos presentes, los cuales contienen grupos carboxilo, hidroxilo, sulfatos, fosfatos y amino. Estos grupos tienen una gran afinidad por los iones metálicos, lo que facilita su captación (32).

**Adsorción eléctrica:** El proceso se produce mediante intercambio iónico, en el cual los iones presentes en una sustancia se acumulan en la superficie del adsorbente debido a la atracción electrostática que existe entre ellos (32).

**Fisorción:** El fenómeno ocurre a través del intercambio iónico, en el que los iones de una sustancia se concentran en la superficie del adsorbente debido a las fuerzas electrostáticas que los atraen (32).

**Quimisorción:** El adsorbato establece enlaces robustos en los sitios activos del adsorbente, lo que conlleva una transformación química de la especie adsorbida (32).



Es crucial destacar que, en la fisiosorción, la especie adsorbida mantiene su identidad química original, mientras que, en la quimisorción, la especie adsorbida experimenta una transformación química y se convierte en una nueva. El proceso de adsorción puede verse afectado, ya sea de forma positiva o negativa, por factores como la temperatura, el pH, el tamaño de las partículas y la presencia de otros iones. Estos parámetros pueden influir en la capacidad del adsorbente para captar iones metálicos, aumentando o reduciendo su eficiencia (32).

#### **2.2.6. Factores que afectan la adsorción**

Los elementos que afectan el proceso de adsorción, y que comúnmente se consideran los más determinantes para la eliminación de metales pesados, comprenden (33):

**Tiempo:** El tiempo de saturación del bioadsorbente se refiere al punto en el cual la cantidad de metal eliminado deja de incrementarse. Por lo tanto, es fundamental analizar el impacto del tiempo de contacto antes de examinar la cinética de bioadsorción de metales pesados, ya que esto permite determinar la naturaleza del proceso. Diversas investigaciones han demostrado que este proceso es rápido, con tiempos de operación que oscilan entre quince y treinta minutos para alcanzar la eliminación de una cantidad considerable del metal (9).

**pH:** El pH es el factor más significativo tanto para la bioadsorción de cationes como de aniones, influyendo en cada caso de manera distinta. La bioadsorción de cationes es más efectiva a pH superiores a 4.5, mientras que la adsorción de aniones se optimiza en condiciones de pH bajos, varía entre 1.5 y 4 (9).

**Temperatura:** Este es uno de los factores que ejerce mayor influencia en los procesos de adsorción, mostrando comportamientos variados según el tipo de metal y el bioadsorbente empleados. En líneas generales, el impacto de esta variable sobre la bioadsorción está determinado por la termodinámica del proceso, la cual está vinculada con el calor de adsorción o cambio de entalpía (33).

**Tamaño de partícula:** La adsorción se produce principalmente dentro de las partículas, especialmente en las paredes de los poros en ubicaciones específicas. La cantidad de adsorbato (soluto) que puede ser adsorbido es proporcional al volumen, el cual está estrechamente relacionado con la superficie externa. Además, una partícula más pequeña ofrece una mayor área superficial, es decir, una mayor superficie interna debido a la cantidad de poros por unidad de masa. Por esta razón, en numerosos estudios de investigación sobre adsorción, se prefiere utilizar partículas de tamaño micrométrico. (33)

**Fuerza iónica:** El entorno en el que se halla la solución del metal es un factor fundamental a considerar, puesto que la presencia de otras especies orgánicas e inorgánicas puede dificultar la separación del metal. Un aumento en la fuerza iónica disminuye la adsorción del metal debido al incremento de la carga electrostática (9).

### 2.2.7. Métodos de análisis de la adsorción de cromo hexavalente

Existen diversas técnicas analíticas para la determinación de Cr (VI). La espectroscopia de absorción atómica ofrece una alta sensibilidad en la detección de metales (alrededor del 1%), aunque presenta interferencias químicas debido a los procesos de atomización, lo que puede modificar las características de absorción del analito. Por otro lado, la cromatografía iónica también permite el análisis de elementos en niveles de microgramos y genera pocos desechos. Sin embargo, la saturación de la columna por compuestos orgánicos, agentes oxidantes y cloruros puede alterar los picos de retención, dando lugar a resultados erróneos (34).

**Espectroscopía UV-Vis:** Se emplea para medir la concentración de Cr (VI) en solución a través de la absorción de luz en longitudes de onda específicas. Esta técnica ofrece información directa sobre la cantidad de Cr (VI) adsorbido en el material(34).

**Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X (XRF):** Utilizada para analizar la composición elemental de muestras sólidas, incluyendo los adsorbentes tras la adsorción de Cr (VI). Esta técnica proporciona información sobre la distribución y concentración de metales en la muestra (34).

**Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas (GC-MS):** Se utiliza para identificar y cuantificar los compuestos orgánicos generados durante la reducción de Cr (VI) a Cr (III) en el adsorbente. Esta técnica es útil para investigar los productos secundarios de la adsorción (34).

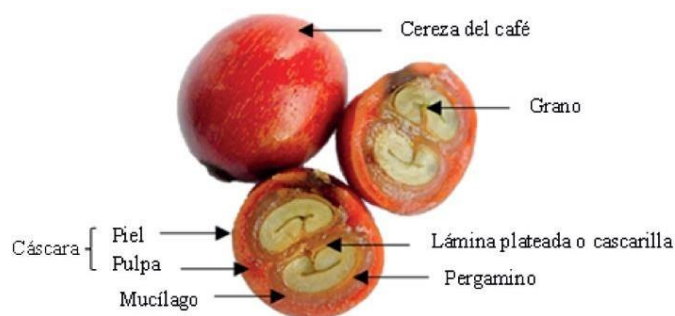
**Espectroscopía de Emisión Atómica:** Facilita la medición de metales en solución tras la adsorción, incluyendo Cr (VI). Este método se emplea para determinar cuán efectivo es el adsorbente en la eliminación de Cr (VI) (34).

**Cromatografía de Intercambio Iónico:** Se emplea para analizar la cantidad restante de Cr (VI) en la solución tras la adsorción. Esta técnica ofrece datos sobre la capacidad de adsorción del material y la eficacia del proceso (34).

### 2.2.8. Cuantificación de cromo por espectrofotometría UV-Vis

La colorimetría es un método destacado por su simplicidad, bajo costo y alta eficacia para la cuantificación de metales en concentraciones bajas (mayores a 0,1 mg/L), gracias a su





**Figura 4.** Partes de la cereza de café

Fuente: Salomé y Jaramillo (37).

El uso de cáscaras de café como adsorbente ha sido investigado por su eficacia en la eliminación de contaminantes de soluciones acuosas. Consideradas un residuo agroindustrial, estas cáscaras poseen propiedades adsorbentes gracias a su contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina. Estos componentes proporcionan una superficie con diversos grupos funcionales que pueden interactuar con los contaminantes, mejorando su capacidad de adsorción (38).

Las cáscaras de café han mostrado ser efectivas en la adsorción de diversos contaminantes. Han demostrado su capacidad para eliminar metales pesados como el cadmio, plomo y cromo, formando complejos con estos iones metálicos y facilitando su eliminación del agua. Además, se ha investigado su uso para adsorber colorantes industriales como el azul de metileno y otros colorantes azoicos, con resultados prometedores debido a su alta afinidad por estos compuestos. Asimismo, las cáscaras de café pueden adsorber compuestos orgánicos, como fenoles y pesticidas, lo que contribuye a la purificación de aguas contaminadas (38) .

#### **2.2.10. Cáscara de papa**

La papa, el segundo cultivo alimentario más crucial a nivel global después de los cereales, se cultiva en más de 150 países con una producción anual cercana a los 330 millones de toneladas y un rendimiento medio de 20 toneladas por hectárea. Este tubérculo es una fuente esencial de nutrientes para los habitantes de numerosos países en desarrollo y también contribuye a sus ingresos económicos. En los últimos años, Perú ha consumido 342,657 toneladas de papa. Sin embargo, los residuos generados durante el procesamiento de este tubérculo no se aprovechan de manera eficiente, lo que resulta en un desperdicio significativo de materia orgánica y subraya la necesidad de encontrar alternativas efectivas para su reutilización. La cáscara de papa (*Solanum tuberosum* L) ha sido objeto de estudio en años recientes como un potencial coagulante en el proceso de clarificación del agua. Este residuo está predominantemente compuesto de almidón, un polisacárido

que presenta una estructura de amilosa lineal y amilopectina ramificada. Las partículas coloidales en el agua sin tratar se adhieren a estas cadenas, formando flóculos de gran tamaño que precipitan con mayor facilidad (39).

Las cáscaras de papa contienen una variedad de componentes químicos, incluyendo carbohidratos en forma de almidón, fibra dietética compuesta por celulosa, hemicelulosa y pectinas, así como proteínas en menor cantidad. Además, están enriquecidas con minerales como potasio, fósforo, calcio, magnesio, hierro y zinc, y contienen compuestos fenólicos como los ácidos clorogénico y cafeico, que son antioxidantes naturales. En cuanto a sus propiedades físicas, estas cáscaras poseen una textura fibrosa con una superficie porosa, lo cual es beneficioso para aplicaciones de adsorción, y su baja densidad las hace fáciles de manejar y procesar en entornos industriales (40).

Las cáscaras de papa tienen múltiples aplicaciones debido a su composición rica en fibra y compuestos fenólicos. Se han estudiado por su capacidad para adsorber metales pesados y otros contaminantes de soluciones acuosas. Su alto contenido de almidón permite su uso en la producción de bioetanol mediante procesos de fermentación. Además, pueden servir como suplemento alimenticio para ganado, proporcionando nutrientes esenciales. Los compuestos antioxidantes presentes en las cáscaras de papa son útiles en la formulación de productos cosméticos y de cuidado personal. Asimismo, las cáscaras de papa pueden ser compostadas para producir fertilizantes orgánicos, mejorando la estructura del suelo y aportando nutrientes (9).

### 2.3. Definición de términos

**Evaluación de la Eficiencia de la Adsorción:** La evaluación de la eficiencia de la adsorción implica medir la capacidad de un material adsorbente para eliminar contaminantes de una solución. Esto incluye determinar parámetros como la capacidad de adsorción, la cinética de adsorción y la isoterma de adsorción (9)

**Cromo Hexavalente (Cr(VI)):** El cromo hexavalente es una forma altamente tóxica del cromo, frecuentemente encontrada en efluentes industriales, particularmente en la industria del curtido de pieles. Su eliminación de las aguas residuales es crucial debido a su carcinogenicidad y toxicidad (41).

**Adsorción:** La adsorción es un proceso físico-químico donde los contaminantes en fase líquida se adhieren a la superficie de un sólido adsorbente. Este método es ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas por su eficiencia y versatilidad (27).

**Residuos de Cáscara de Café:** Las cáscaras de café, que comprenden la piel y la pulpa del fruto del café, son subproductos agroindustriales efectivos como adsorbentes debido a su contenido en celulosa, hemicelulosa y lignina, ofreciendo una superficie con numerosos grupos funcionales (42).

**Residuos de Cáscara de Papa:** Las cáscaras de papa, otro subproducto agroindustrial, contienen una alta proporción de almidón y fibra dietética. Estas propiedades las hacen útiles para adsorber metales pesados y otros contaminantes de soluciones acuosas (43).

**Efluentes Industriales de Curtiembre:** Los efluentes industriales de curtiembre son aguas residuales generadas durante el proceso de curtido de pieles. Contienen varios contaminantes, incluido el cromo hexavalente, que deben ser tratados adecuadamente para prevenir daños ambientales y a la salud (44).

## **CAPÍTULO 3**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método, tipo y nivel de investigación**

##### **3.1.1. Método de investigación**

El método fue científico porque la investigación es científica porque emplea un enfoque sistemático y riguroso para abordar el problema de la contaminación por cromo hexavalente en efluentes industriales. Según Ñaupas et al. (45), este enfoque busca garantizar la objetividad, precisión y validez en la investigación, permitiendo que los resultados sean reproducibles y aplicables en contextos diversos.

##### **3.1.2. Tipo de investigación**

Esta fue una investigación aplicada, ya que busca resolver un problema específico relacionado con la eliminación de contaminantes en efluentes industriales. Según Ñaupas et al. (45), en lugar de buscar conocimiento teórico general, la investigación aplicada utiliza el conocimiento científico para desarrollar y optimizar métodos prácticos que pueden ser implementados directamente en el tratamiento de aguas residuales.

##### **3.1.3. Nivel de investigación**

El nivel fue descriptivo - explicativo porque busca no solo describir el fenómeno de adsorción del cromo hexavalente usando residuos de cáscara de café y cáscara de papa, sino también entender y explicar las razones detrás de su eficacia en la eliminación del contaminante. Según Ñaupas et al. (45), este tipo de investigación se enfoca en clarificar las relaciones causales entre las variables independientes (tipo de adsorbente, masa, y tiempo de contacto) y la variable dependiente (eficiencia de adsorción), proporcionando una comprensión detallada de cómo y por qué estos factores afectan el proceso de adsorción.

#### **3.2. Diseño de investigación**

El diseño descrito fue un diseño experimental un diseño de bloques completamente al azar DBCA porque se estructura en controlar variables independientes, como el tipo de adsorbente y el tiempo de contacto, con el fin de observar su impacto en la variable dependiente, que es la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente. Según Ñaupas et al. (45), este enfoque permite la realización de experimentos bajo condiciones controladas y repetidas para recopilar datos cuantitativos y analizar las relaciones causales de manera objetiva, proporcionando resultados precisos y fiables sobre la eficacia de los diferentes

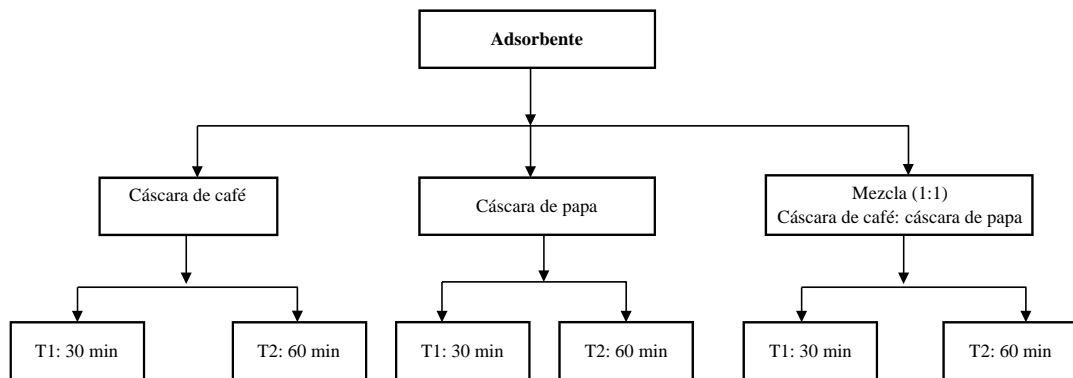
adsorbentes.

En este contexto, el modelo se expresó como la ecuación (1):

$$Y_{ijk} = \mu + r_i + \beta_j + (r\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \dots \dots \dots (19)$$

Donde:

- $Y_{ijk}$  =: es la respuesta observada para el adsorbente  $i$  en el tiempo  $j$  y la réplica  $k$ .
- $\mu$ : es la media general
- $r_i$ : es el efecto del adsorbente  $i$  (bloque) (donde  $i=1, 2, \dots, x$ ).
- $\beta_j$ : Es el efecto del tiempo (donde  $i=1, 2, \dots, y$ ).
- $(r\beta)_{ij}$ : es la interacción entre el adsorbente  $i$  y el tiempo  $j$ .
- $\varepsilon_{ijk}$ : es el error aleatorio asociado a la observación  $Y_{ijk}$  que se supone sigue una distribución normal con media cero y varianza  $\sigma^2$



**Figura 5.** Esquema experimental del diseño de investigación

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población

La población estudiada incluyó el agua residual del efluente generado por las curtiembres ubicadas en el distrito de San Pedro de Saño, provincia de Huancayo, departamento de Junín. Estos efluentes presentan una alta concentración de cromo total y otros contaminantes, lo que representa una significativa carga contaminante para los cuerpos de agua cercanos debido a la actividad de curtido de pieles.

#### 3.3.2. Muestra

Se recolectaron 18 litros de efluente generado por las curtiembres del distrito de San Pedro de Saño, provincia de Huancayo. La muestra se obtuvo antes de que el efluente llegara al desagüe y fuera vertido al río.



### **3.3.3. Muestreo**

La muestra se obtuvo mediante muestreo no probabilístico por juicio del investigador. Este tipo de muestreo se basa en la selección de muestras de manera intencional y basada en el criterio del investigador, en lugar de una selección aleatoria.

## **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas de recolección de datos fue la observación indirecta, que implica el uso de equipos y mediciones para inferir el comportamiento o resultados del experimento sin observarlo directamente en tiempo real. Estas técnicas permiten obtener una comprensión completa del fenómeno y evaluar su impacto de manera efectiva (45).

Los instrumentos utilizados incluyeron balanzas de precisión para medir la masa del adsorbente, cronómetros para registrar el tiempo de contacto, espectrofotómetro para analizar la concentración de cromo hexavalente en las muestras, pipetas y buretas para medir y transferir soluciones químicas, reactivos químicos para realizar pruebas específicas, y registradores de datos para monitorear condiciones experimentales como temperatura y pH.

### **3.4.1. Recolección del efluente residual de la curtiembre**

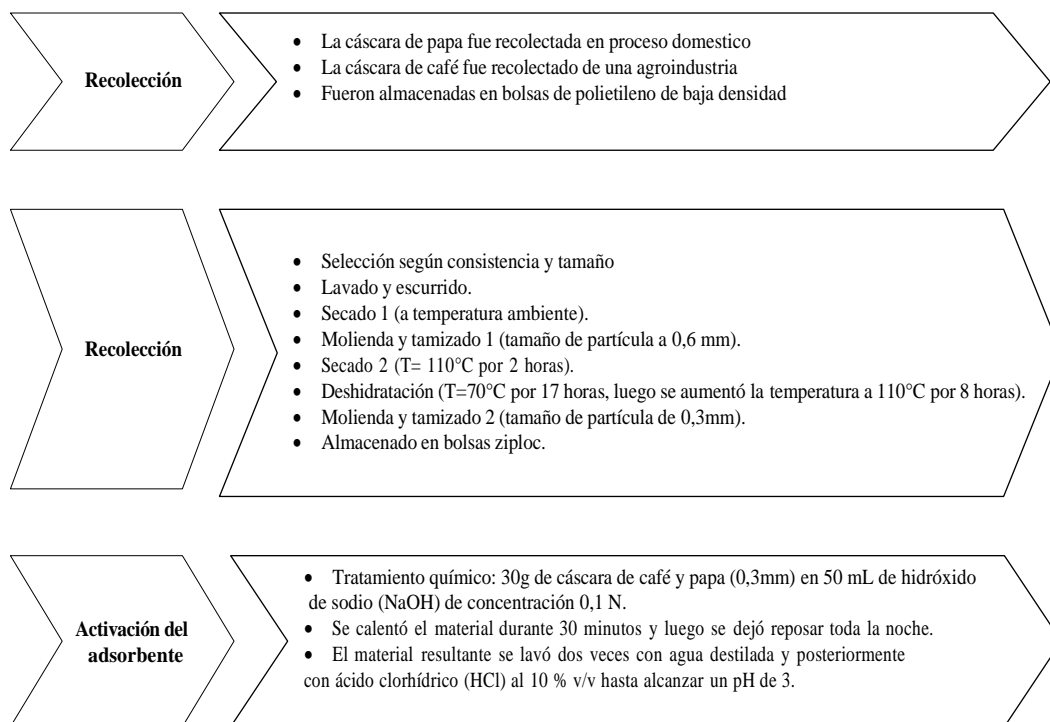
Se realizó un muestreo simple del efluente en el punto de descarga de una curtiembre ubicada en el Distrito de San Pedro de Saño, Provincia de Huancayo, Departamento de Junín, el 6 de julio de 2024 a las 11:30 horas. El líquido se recolectó en dos recipientes de color ámbar con capacidad de 1000 ml y en un balde de plástico de 18 litros. Inicialmente, los recipientes se lavaron con ácido fosfórico para evitar interferencias durante el análisis. Posteriormente, se purgaron los frascos con el mismo efluente de la curtiembre, asegurando que las paredes del recipiente estuvieran impregnadas con la sustancia.

### **3.4.2. Elaboración del adsorbente**

El bioadsorbente seleccionado para el estudio fue la cáscara de café originaria del distrito de Pichari. Esta elección se basó en el hecho de que los extractivos del material, compuestos de bajo peso molecular solubles en diversos solventes, constituyen aproximadamente el 4% de su masa total.

El segundo material escogido como bioadsorbente fue la cáscara de papa de la variedad canchan. Esta selección se fundamenta en investigaciones anteriores que exploraron la utilización de residuos industriales de cáscara de papa para la eliminación de cromo

hexavalente, y que concluyeron que una dosificación de 4 g/L de adsorbente resultó efectiva.



**Figura 6.** Esquema de procedimientos para la obtención del adsorbente.

Fuente: Pabón (9).

### 3.4.3. Adsorción del cromo hexavalente

Para tomar en cuenta es operación se realizó teniendo en cuenta el estudio realizado por Pabón (9) para ello se realizó los siguientes pasos:

- En un matraz se tomó 100 mL del agua residual de la curtiembre, se agregó 0.4 g de cáscara de papa y cáscara de café por separado y con 3 repeticiones.
- Se agitó la mezcla en un agitador termostático durante 30 minutos y 60 minutos determinado para permitir la adsorción del cromo hexavalente por el adsorbente.
- Se filtró la solución para separar el adsorbente cargado con cromo hexavalente.

### 3.4.4. Determinación del contenido de cromo VI por espectrofotometría UV-VIS

#### A. Elaboración de la curva de calibración

En química analítica, las curvas de calibración se utilizan para determinar la concentración de un compuesto, utilizando un patrón primario como referencia para preparar diluciones en 100 mL de agua. Esta relación se fundamenta en la ley de Beer-Lambert. Se realizó según lo descrito por Prior et al. (46), con algunas modificaciones:

- Se elaboró una solución madre de cromo (VI) con una concentración de 500 mg/L (ppm) utilizando dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ). Primero, se pesó 1 g del reactivo y se secó a 105 °C durante 1 hora para eliminar la humedad. Tras el secado, se midieron 141.4 mg de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ), los cuales se disolvieron en agua destilada en un matraz aforado de 100 mL.
- Para preparar una solución estándar de 50 ppm, se tomó una alícuota de 10 mL de la solución madre de cromo (VI) y se diluyó con agua destilada en un matraz aforado de 100 mL.
- Seguidamente, se preparó una solución de difenilcarbazida con una concentración de 5 mg/L. Para esto, se pesaron 0.25 g de difenilcarbazida y se disolvieron en 50 mL de acetona o etanol. La solución se almacenó en frascos de vidrio ámbar y se mantuvo refrigerada a 4°C.
- También se preparó una solución de ácido sulfúrico 0.2 N para la calibración del pH. Se añadieron 0.6 mL de  $H_2SO_4$  a un matraz de 100 mL que contenía 50 mL de agua destilada y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente, se completó el volumen con agua destilada.
- A partir de la solución estándar de 50 ppm, se preparó una curva de calibración con concentraciones de 0, 0.25, 0.50, 1, 1.50 y 2 mg/L. Estas soluciones se elaboraron en frascos de 50 mL; se ajustó el pH con  $H_2SO_4$  y luego se añadió 1 mL de difenilcarbazida. Las muestras se dejaron reposar durante 10 minutos antes de realizar las lecturas en el espectrofotómetro a 540 nm.
- Finalmente, se graficaron los valores de absorbancia (eje y) contra los valores de concentración (eje x) para obtener la ecuación de la curva de calibración.

#### **B. Determinación del contenido de cromo VI en el agua residual**

Después de filtrar la solución tratada con el adsorbente, se tomó una muestra de 10 mL y se transfirió a un matraz de 50 mL. Se añadieron 0.3 mL de  $H_2SO_4$  y 1 mL de difenilcarbazida, se agitó la mezcla y se dejó reposar durante 10 minutos. Posteriormente, se midió la absorbancia con un espectrofotómetro UV-VIS Shimadzu a 540 nm. Los valores de absorbancia obtenidos se sustituyeron en la ecuación de la curva de calibración para calcular el contenido de cromo en el agua residual mediante interpolación (17).

#### **3.4.5. Determinación de la eficiencia de adsorción del cromo VI**

Para calcular la eficiencia de adsorción del cromo VI se utilizó la siguiente fórmula:

$$Eficiencia\ de\ adsorción\ (\%) = \left( \frac{C_i - C_f}{C_i} \right) \times 100$$

Donde:

- $C_i$  representa la concentración de cromo antes de iniciar el proceso de adsorción.
- $C_f$  indica la concentración de cromo después de completar el proceso de adsorción.

Este cálculo dio un valor porcentual que representa la eficiencia con la que el adsorbente ha removido el cromo de la solución (9).

### **3.5. Técnica de procesamiento de datos**

El procesamiento de datos se llevó a cabo mediante un enfoque descriptivo combinado con un análisis del diseño bloques completamente al azar, siendo el factor tiempo. En primer lugar, se verificaron la normalidad y la homogeneidad de los datos para confirmar su idoneidad para el análisis, los cuales cumplieron ( $> 0.05$ ). Luego, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para detectar diferencias significativas entre los grupos. Cuando se encontraron diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey para realizar comparaciones múltiples y determinar las diferencias entre los grupos. Todo el procesamiento y análisis de datos se realizó utilizando el software Minitab versión 21, que facilitó la ejecución de estos procedimientos estadísticos.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados de investigación

##### 4.1.1. Eficiencia de la adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cascara de café

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los experimentos, que reflejan la capacidad de los residuos de cáscara de café para adsorber cromo hexavalente bajo diversas condiciones.

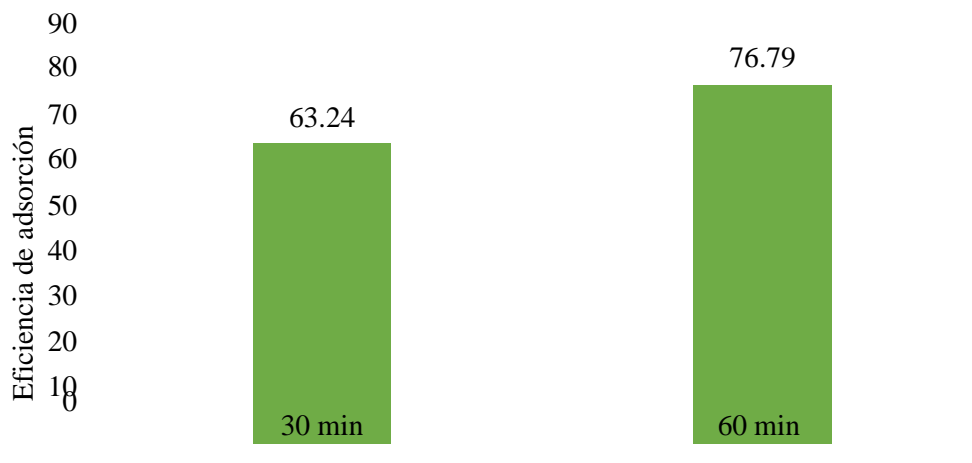
**Tabla 3.** Eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cascara de café.

Tratamiento	Tiempo (min)	Concentración final de Cr VI	Cantidad de Adsorción Cr VI mg/L	Eficiencia de Adsorción (%)	SD
T1	30	21.923	37.712	63.24	± 0.21
T2	60	13.838	45.796	76.79	± 0.28

Fuente: elaboración propia

La tabla 3 muestra la adsorción de cromo hexavalente (Cr VI) utilizando residuos de cáscara de café en efluentes industriales de curtiembre en San Pedro de Saño, Huancayo. Se evaluaron dos tratamientos con tiempos de contacto de 30 y 60 minutos. En el tratamiento T1 (30 minutos), se observó una cantidad de adsorción de 37.712 mg/L y una eficiencia del 63.24%. En el tratamiento T2 (60 minutos), la concentración final de Cr VI disminuyó a 13.838 mg/L, con una cantidad de adsorción de 45.796 mg/L y una eficiencia del 76.79%.

Las desviaciones estándar (SD) de 0.21 y 0.28 son relativamente pequeñas, lo que sugiere que las mediciones de eficiencia de adsorción son bastante consistentes para ambos tratamientos. Esto implica que los valores de eficiencia de adsorción están estrechamente agrupados alrededor de sus respectivas medias, indicando una alta precisión y confiabilidad en los resultados obtenidos



**Figura 7.** Comparación de la eficiencia de adsorción de la cascara de café a diferentes tiempos

Fuente: elaboración propia

La figura 7 indica que, al aumentar el tiempo de exposición de 30 a 60 minutos, la eficiencia de adsorción mejora significativamente, en este caso, aproximadamente un 13.55% más eficiente a los 60 minutos comparado con los 30 minutos. Esta tendencia sugiere que el aumento del tiempo de exposición favorece el proceso de adsorción, permitiendo que una mayor cantidad de sustancia sea adsorbida en el mismo material

#### 4.1.2. Eficiencia de la adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cascara de papa

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los experimentos, que reflejan la capacidad de los residuos de cáscara de papa para adsorber cromo hexavalente bajo diversas condiciones.

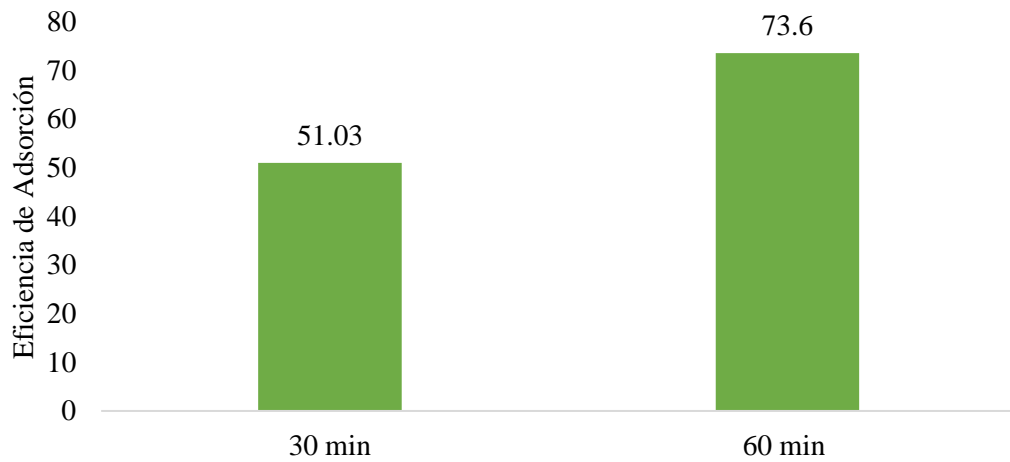
**Tabla 4.** Eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cascara de papa

Tratamiento	Tiempo (min)	Concentración final de Cr VI	Cantidad de Adsorción Cr VI mg/L	Eficiencia de Adsorción (%)	SD
T1	30	29.202	30.432	51.03	± 0.41
T2	60	15.745	43.889	73.60	± 0.36

Fuente: elaboración propia

La tabla 4 presenta los resultados de la adsorción de cromo hexavalente (Cr VI) utilizando residuos de cáscara de papa en efluentes industriales de curtiembre en San Pedro de Saño, Huancayo. Se evaluaron dos tratamientos con tiempos de contacto de 30 y 60 minutos. En el tratamiento T1 (30 minutos), se registró una cantidad de adsorción de 30.432 mg/L y una eficiencia del 51.03 %. En el tratamiento T2 (60 minutos), la concentración final de Cr VI se redujo a 15.745 mg/L, con una cantidad de adsorción de 43.889 mg/L y una eficiencia del 73.60 %.

Además, las desviaciones estándar de 0.41 y 0.36 son relativamente pequeñas, lo que sugiere que las mediciones de eficiencia de adsorción son bastante consistentes para ambos tratamientos. Esto implica que los valores de eficiencia de adsorción están estrechamente agrupados alrededor de sus respectivas medias, indicando una alta precisión y confiabilidad en los resultados obtenidos.



**Figura 8.** Comparación de la eficiencia de adsorción de la cascara de papa a diferentes tiempos

Fuente: elaboración propia

La figura 8 indica que, al aumentar el tiempo de exposición de 30 a 60 minutos, la eficiencia de adsorción de la cascara de papa mejora significativamente, en este caso, aproximadamente un 22.57% más eficiente a los 60 minutos comparado con los 30 minutos. Esta tendencia sugiere que el aumento del tiempo de exposición favorece el proceso de adsorción, permitiendo que una mayor cantidad de sustancia sea adsorbida en el mismo material.



#### 4.1.3. Eficiencia de la adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de la mezcla de cascara de café y cascara de papa

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los experimentos, que reflejan la capacidad de la mezcla de los residuos de cáscara de papa y cascara de café para adsorber cromo hexavalente bajo diversas condiciones.

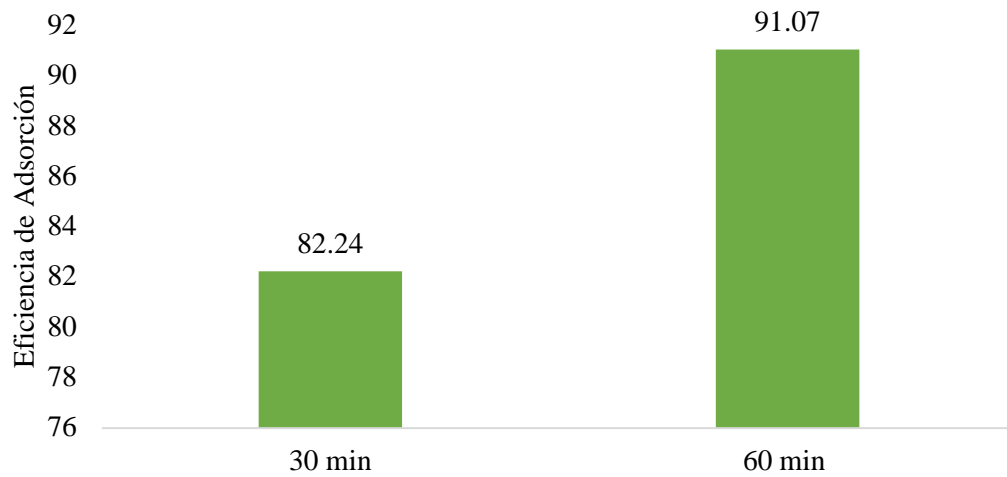
**Tabla 5.** Eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de la mezcla de residuos de cascara de papa y cascara de café

Tratamiento	Tiempo (min)	Concentración final de Cr VI	Cantidad de Adsorción Cr VI mg/L	Eficiencia de Adsorción (%)	DE
T1	30	10.588	49.046	82.24	± 0.27
T2	60	5.324	54.311	91.07	± 0.34

Fuente: elaboración propia

La tabla 5 presenta los resultados de la adsorción de cromo hexavalente (Cr VI) utilizando la mezcla de residuos de cáscara de papa y café en efluentes industriales de curtiembre en San Pedro de Saño, Huancayo. Se evaluaron dos tratamientos con tiempos de contacto de 30 y 60 minutos. En el tratamiento T1 (30 minutos), se registró una cantidad de adsorción de 49.046 mg/L y una eficiencia del 82.24 %. En el tratamiento T2 (60 minutos), la concentración final de Cr VI se redujo a 5.334 mg/L, con una cantidad de adsorción de 54.311 mg/L y una eficiencia del 91.07 %.

Además, las desviaciones estándar de 0.27 y 0.34 son relativamente pequeñas, lo que sugiere que las mediciones de eficiencia de adsorción son bastante consistentes para ambos tratamientos. Esto implica que los valores de eficiencia de adsorción están estrechamente agrupados alrededor de sus respectivas medias, indicando una alta precisión y confiabilidad en los resultados obtenidos.



**Figura 9.** Comparación de la eficiencia de adsorción de la mezcla de cascara de papa y café a diferentes tiempos

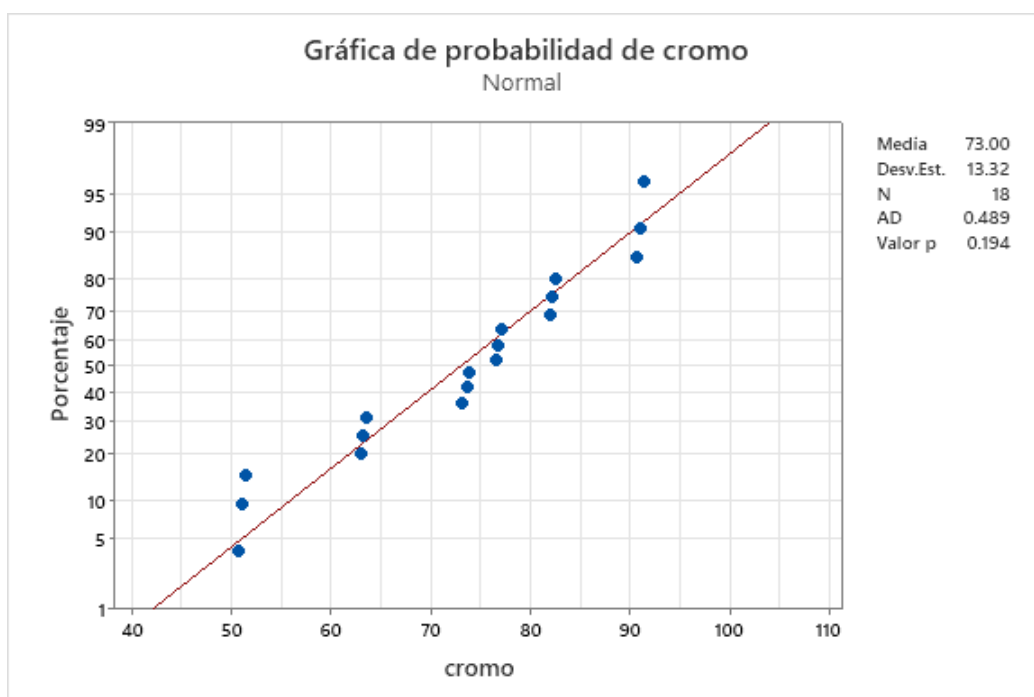
Fuente: elaboración propia

La figura 9 indica que, al aumentar el tiempo de exposición de 30 a 60 minutos, la eficiencia de adsorción mejora significativamente, en este caso, aproximadamente un 8% más eficiente a los 60 minutos comparado con los 30 minutos. Esta tendencia sugiere que el aumento del tiempo de exposición favorece el proceso de adsorción, permitiendo que una mayor cantidad de sustancia sea adsorbida en el material.

#### 4.1.4. Evaluación del efecto del tipo de adsorbente y tiempo en la adsorción de cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cáscara de café y cáscara

##### a. Prueba de normalidad

La figura 10 de probabilidad muestra que los datos de adsorción de cromo tienen una media de 73.00, una desviación estándar de 13.32, y un tamaño de muestra de 18. El estadístico de Anderson-Darling es 0.489 y el valor p es 0.194. Como el valor p es mayor que 0.05, no rechazamos la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal, lo que indica que los datos de adsorción de cromo son aproximadamente normales y adecuados para análisis estadísticos posteriores (ANOVA).

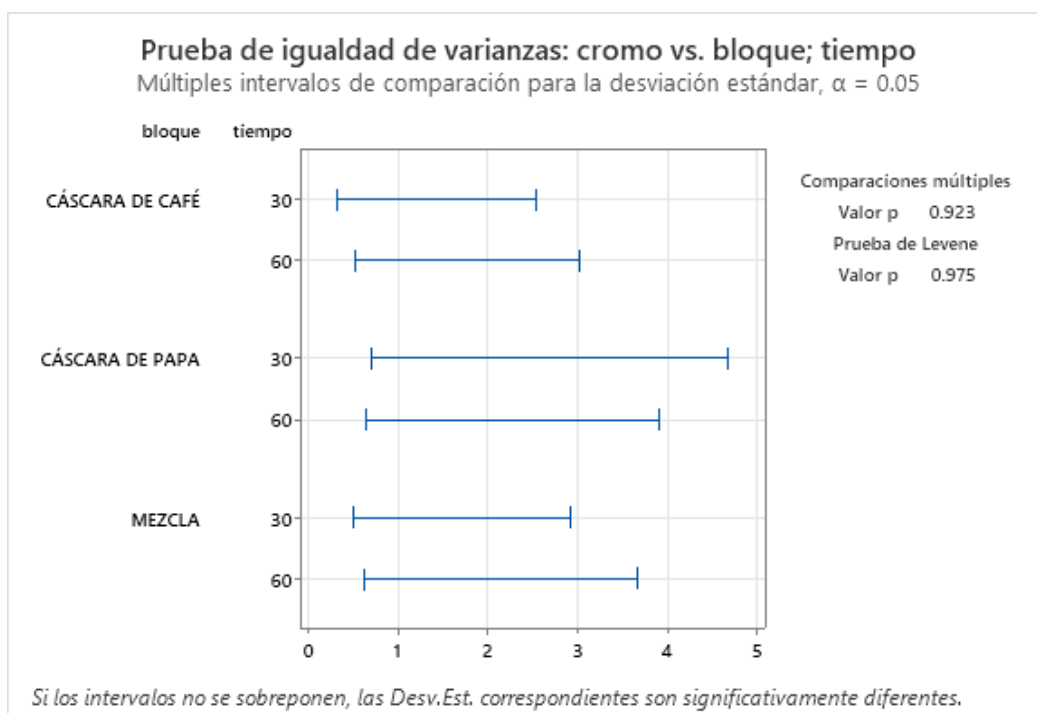


**Figura 10.** Prueba de normalidad

Fuente: elaboración propia

##### b. Prueba de homogeneidad

La figura 11 de prueba de igualdad de varianzas muestra los intervalos de comparación para la desviación estándar de la adsorción de cromo utilizando cáscara de café, cáscara de papa y una mezcla, evaluados a 30 y 60 minutos. Los resultados indican que las desviaciones estándar no son significativamente diferentes entre los tratamientos, dado que los valores p para las comparaciones múltiples (0.923) y la prueba de Levene (0.975) son mayores que 0.05. Esto sugiere que las varianzas son homogéneas y los datos son adecuados para el análisis de ANOVA, asumiendo varianzas iguales.



**Figura 11.** Prueba de homogeneidad de varianzas

Fuente: elaboración propia

### c. Análisis de varianza

El análisis de varianza (ANOVA) de la tabla 6 para la adsorción de cromo utilizando diferentes tipos de adsorbentes (cáscara de café, cáscara de papa, y una mezcla) y diferentes tiempos (30 y 60 minutos) revela resultados significativos para ambos factores. El efecto del tipo de adsorbente es altamente significativo, con un valor F de 88.28 y un valor p de 0.000, lo que indica que hay diferencias significativas en la adsorción de cromo entre los diferentes adsorbentes. Asimismo, el tiempo también muestra un efecto significativo con un valor F de 96.01 y un valor p de 0.000, indicando que el tiempo de adsorción (30 vs 60 minutos) tiene un impacto significativo en la cantidad de cromo adsorbido. El error total del modelo es 147.32 con 14 grados de libertad y una media cuadrática de 10.52. Además, el error puro, que representa la variabilidad no explicada por el modelo, es muy pequeño con una suma de cuadrados ajustada de 1.21 y una media cuadrática de 0.10, sugiriendo que el modelo captura la mayor parte de la variabilidad en los datos. En conjunto, el análisis ANOVA demuestra que tanto el tipo de adsorbente como el tiempo influyen significativamente en la adsorción de cromo, y el pequeño error puro indica que el modelo se ajusta bien a los datos observados.

**Tabla 6.** Análisis de varianza

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Bloque (tipo de adsorbente)	2	1857.92	928.96	88.28	0.000
Tiempo	1	1010.29	1010.29	96.01	0.000
Error	14	147.32	10.52		
Error puro	12	1.21	0.10		
Total	17	3015.53			

Fuente: elaboración propia

**d. Comparaciones múltiples**

La agrupación utilizando el método de Tukey para los diferentes bloques de adsorbentes (mezcla, cáscara de café, y cáscara de papa) muestra que las medias de adsorción de cromo son significativamente diferentes entre sí. La mezcla tiene la mayor media de adsorción (86.6589) y se agrupa en la categoría A. La cáscara de café tiene una media de 70.0162 y se agrupa en la categoría B, mientras que la cáscara de papa tiene la menor media de 62.3142 y se agrupa en la categoría C. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, lo que indica que cada tipo de adsorbente tiene una efectividad diferente en la adsorción de cromo, con la mezcla siendo la más efectiva, seguida por la cáscara de café y luego la cáscara de papa.

**Tabla 7.** Agrupación utilizando el método de Tukey para los adsorbentes

<b>Bloque</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
Mezcla	6	86.6589	A
Cáscara de café	6	70.0162	B
Cáscara de papa	6	62.3142	C

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

Fuente: elaboración propia

La Tabla 8 muestra los resultados de la agrupación utilizando el método de Tukey para el tiempo en la adsorción de cromo hexavalente con residuos de cáscara de café y cáscara. Los tiempos de 60 y 30 minutos se han comparado, revelando que la media para 60 minutos es 80.4882, clasificada bajo el grupo A, mientras que para 30 minutos la media es 65.5046, clasificada bajo el grupo B. Esto indica que el tiempo de 60 minutos proporciona una adsorción significativamente mayor que el tiempo de 30 minutos, ya que las medias no comparten una letra común en la agrupación. En el contexto de la evaluación del efecto del tipo de adsorbente y el tiempo, estos resultados sugieren que un

tiempo de adsorción más largo mejora la eficiencia en la remoción de cromo hexavalente, lo cual es crucial para optimizar el proceso de tratamiento utilizando estos residuos.

**Tabla 8.** Agrupación utilizando el método de Tukey para el tiempo

<b>Tiempo</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
60 minutos	9	80.4882	A
30 minutos	9	65.5046	B

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

Fuente: elaboración propia

En resumen, el tratamiento más efectivo para la adsorción de cromo hexavalente es el que utiliza la mezcla de adsorbentes durante un período de 60 minutos. La mezcla de adsorbentes presentó la mayor eficiencia con una media de 86.6589 %, clasificada en el grupo de Mezcla, lo que indica una superioridad en comparación con la cáscara de café y la cáscara de papa. Además, el tiempo de 60 minutos mostró una media de 80.4882 %, significativamente mayor que el tiempo de 30 minutos (65.5046 %), destacándose como el intervalo óptimo para maximizar la adsorción. Por lo tanto, para lograr la mejor remoción de cromo hexavalente, se recomienda utilizar la mezcla de adsorbentes durante 60 minutos.

## 4.2. Discusión de resultados

Referente al objetivo general, sobre la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente (Cr VI) utilizando residuos agrícolas cáscara de café, cáscara de papa y la mezcla de los dos, destacan la viabilidad y eficacia de estos materiales como bioadsorbentes. De acuerdo con Arrieta y Martínez (11) y Aragaw et al. (12), han demostrado que el carbón activado derivado de cáscara de café es altamente eficiente para la eliminación de Cr VI, con eficiencias de hasta el 99.65% bajo condiciones óptimas, resaltando la importancia de parámetros como el pH, el tamaño de partícula y el tiempo de contacto. Por otro lado, Pabón (9) y Berihun (15) han investigado el uso de la cáscara de papa y de café para la remoción de Cr VI de aguas residuales de curtiembre, encontrando que tratamientos químicos mejoran significativamente la eficiencia de adsorción. Asimismo, Salas (16) y Silva (17) en Perú, han confirmado la efectividad de residuos locales como la borra de café y la panca de maíz, con remociones de Cr VI superiores al 90%, mostrando que estos residuos son opciones económicas y sostenibles para el tratamiento de efluentes industriales. Finalmente, Paredes y Valle (18) han validado la alta eficiencia de la cáscara de limón en la remoción de Cr VI en aguas residuales de la industria textil en Huancayo, logrando una remoción del 96%. En conjunto, estos estudios subrayan la potencialidad de utilizar residuos agrícolas para el tratamiento de efluentes industriales, destacando la importancia de la optimización de las condiciones de adsorción para maximizar la eficiencia de remoción de Cr VI.

Referente al primer objetivo específico, al aplicar cáscara de café como bioadsorbente al agua residual proveniente de las curtiembres, el tratamiento T2 (60 minutos) mostró una concentración final de Cr VI de 13.838 mg/L, con una cantidad de adsorción de 45.796 mg/L y una eficiencia de adsorción del 76.79%. Este valor es similar a los reportado por Arrieta y Martínez (11) quienes informaron una capacidad de adsorción del 75.42% del cromo hexavalente en aguas del Río Bogotá utilizando cáscara de café, un valor menor al nuestro, probablemente debido a diferencias en el tamaño de las partículas y las condiciones específicas del agua residual. Sin embargo, Berihun (15) quien encontró una eficiencia del 98.19% utilizando carbón activado de cáscara de café para eliminar iones de cromo (VI) de aguas residuales. Asimismo, Aragaw et al. (12), informaron que la optimización del proceso de adsorción con carbón activado de cáscara de café alcanzó una eficiencia máxima de 99.65% para Cr, con un tiempo de contacto de 120 minutos, lo cual difiere de nuestros resultados debido a los diferentes tiempos de adsorción evaluados. Además, Silva (17) mostró una remoción del 97.79%, indicando que la borra de café es altamente eficiente en el proceso de biosorción y concluyó que se requieren al menos 30 minutos de contacto para alcanzar un buen

porcentaje de remoción de hasta el 95%. Los mejores resultados de Silva se obtuvieron con concentraciones de 50 ppm, logrando una remoción superior al 90%, un valor mayor que el obtenido en nuestro estudio. Estos resultados sugieren que, aunque la cáscara de café es un bioadsorbente efectivo, la eficiencia de adsorción de Cr (VI) depende significativamente de las condiciones experimentales y los tiempos de contacto. Factores como el tamaño de las partículas, la concentración inicial de Cr (VI), el pH, la temperatura y el tipo específico de residuos utilizados (cáscara de café versus borra de café) afectan los resultados. Además, la presencia de otros contaminantes en el agua residual puede influir en la eficiencia de adsorción. Optimizar condiciones como el pH, la dosis de adsorbente y el tiempo de contacto es crucial. Comparado con estudios previos, el carbón activado de cáscara de café ofrece mayor eficiencia, aunque es más costoso. Sin embargo, el uso de residuos crudos sigue siendo una opción económica y atractiva para el tratamiento de aguas residuales. Futuras investigaciones deberían enfocarse en mejorar la eficiencia de adsorción mediante pretratamientos simples o combinaciones con otros materiales adsorbentes.

En relación al segundo objetivo específico al aplicar cáscara de papa como bioadsorbente al agua residual proveniente de las curtiembres, el tratamiento T2 (60 minutos) mostró una concentración final de Cr VI de 15.745 mg/L, con una cantidad de adsorción de 43.889 mg/L y una eficiencia de adsorción del 73.60%. Estos resultados comparables a lo que reportó Pabón (9), en su estudio donde utilizó la cáscara de papa como material bioadsorbente para la remoción de cromo VI de aguas residuales provenientes de una curtiembre durante la etapa de curtido, logró un valor de 45,46 mg/L en una solución sintética. Estos resultados destacan la eficacia de la cáscara de papa como bioadsorbente, corroborando su potencial para reducir significativamente las concentraciones de cromo VI en efluentes industriales. Este estudio y la comparación con el otro estudio subrayan la importancia del tratamiento adecuado del bioadsorbente, ya que este proceso mejora notablemente la capacidad de adsorción del material, convirtiéndolo en una solución viable y sostenible para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados.

En relación al tercer objetivo específico se logró una adsorción de la mezcla de adsorbentes 49,046 mg/L (82.24%) en un tiempo de 30 minutos y de 54,311 mg/L (91.07%) en un tiempo de 60 minutos. Estos resultados son comparables con Cifuentes y Fraile (13) quienes al evaluar biosorbentes en mezclas naturales para la remoción de Cr (VI) a partir de una solución acuosa y su potencial aplicación en el tratamiento de efluentes de curtiembres, reportaron remociones máximas de 72,8% utilizando cáscara de mandarina, 99.4% con cáscara de plátano y  $99.0 \pm 0,3\%$  con bagazo de caña de



azúcar. Además, al combinar estos biosorbentes, lograron una eficiencia de adsorción del 91,2%. Estos resultados indican que los biosorbentes naturales pueden ser altamente efectivos en la remoción de Cr (VI), variando su eficiencia según el material utilizado. Esto sugiere la posibilidad de explorar combinaciones de diferentes biosorbentes para optimizar los procesos de remoción de contaminantes en aguas residuales de curtiembres. Además, la comparación entre diferentes estudios subraya la importancia de considerar tanto el tiempo de contacto como la naturaleza del biosorbente en la eficacia del proceso de adsorción.

En relación al cuarto objetivo específico, el tipo de adsorbente y el tiempo tienen efecto significativo en la remoción del cromo. Estos resultados son comprobables con los estudios de Pabón (9) y Charles et al. (14). Pabón demostró que la cáscara de papa tamizada y tratada químicamente es efectiva en la remoción de Cr (VI), obteniendo una concentración final de 45,46 mg/L en una solución sintética, lo que indica una buena eficiencia de adsorción. Por otro lado, Charles et al. (2021) evaluaron la cáscara de café, tanto cruda como modificada con ácido sulfúrico, y encontraron que la modificación mejora significativamente la adsorción de Cr<sup>3+</sup>, alcanzando una remoción del 69,3% con la cáscara modificada en comparación con el 47,52% de la cáscara no modificada. Estos antecedentes son relevantes ya que ambos demuestran la capacidad de los residuos agrícolas tratados y no tratados para actuar como bioadsorbentes efectivos, lo que valida la importancia del tipo de adsorbente y el tiempo de contacto en la eficiencia de adsorción de cromo hexavalente.

## CONCLUSIONES

1. La evaluación de la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente usando residuos de cáscara de café y cáscara de papa en efluentes industriales de curtiembre en el Distrito de San Pedro de Saño – Huancayo muestra que ambos tipos de adsorbentes, tanto por separado como en combinación, tienen capacidades significativas para eliminar cromo hexavalente. La mezcla de cáscara de café y cáscara de papa resultó ser la más efectiva, alcanzando una eficiencia de adsorción superior al 90% a 60 minutos, comparado con el uso individual de cada adsorbente. Estos resultados subrayan la viabilidad de utilizar residuos agrícolas como soluciones sostenibles para la remoción de contaminantes en efluentes industriales, contribuyendo así a la mejora de la calidad del agua en áreas afectadas por la contaminación por cromo hexavalente.
2. La eficiencia de adsorción del cromo hexavalente utilizando residuos de cáscara de café muestra una mejora con el aumento del tiempo de contacto. A los 30 minutos, se observa una eficiencia del 63.24%, que aumenta a 76.79% después de 60 minutos de contacto. Este incremento en la eficiencia con el tiempo sugiere que un tiempo de contacto más prolongado permite una mayor eliminación de cromo hexavalente. Las bajas desviaciones estándar en las mediciones indican una alta precisión en los resultados obtenidos, reflejando una consistencia en la capacidad de adsorción del material.
3. Los residuos de cáscara de papa muestran una eficiencia en la adsorción del cromo hexavalente que aumenta con el tiempo de contacto, alcanzando un 51.03% a los 30 minutos y un 73.60% a los 60 minutos. Este aumento en la eficiencia con el tiempo sugiere que un mayor tiempo de exposición permite una mejor eliminación de cromo hexavalente. Las desviaciones estándar bajas indican que los resultados son consistentes y reflejan una precisión en la capacidad de adsorción del material.
4. La mezcla de cáscara de café y cáscara de papa exhibe la mayor eficiencia en la adsorción del cromo hexavalente, alcanzando un 82.24% a los 30 minutos y un 91.07% a los 60 minutos. Esto sugiere que la combinación de estos adsorbentes resulta ser la más eficaz para la eliminación de cromo hexavalente. Las bajas desviaciones estándar reflejan una alta precisión en los resultados obtenidos.
5. El análisis estadístico revela que tanto el tipo de adsorbente como el tiempo de contacto influyen notablemente en la adsorción de cromo hexavalente. Los resultados indican que la combinación de cáscara de café y cáscara de papa, junto con un tiempo de contacto de 60 minutos, resulta ser la más eficiente, logrando una media de eficiencia del 91.07%. Esto subraya la superioridad de estos factores para maximizar la remoción del contaminante.

## **RECOMENDACIONES**

1. Evaluar otros tipos de residuos orgánicos y su combinación con cáscara de café para comparar su eficacia en la adsorción de cromo hexavalente.
2. Investigar diferentes parámetros operativos, como pH, temperatura, y velocidad de agitación, para optimizar la eficiencia de adsorción.
3. Para mejorar la eficiencia en la adsorción de cromo hexavalente usando una mezcla de cáscara de café y cáscara de papa, se recomienda emplear un diseño de mezclas que explore diversas proporciones de ambos adsorbentes y tiempos de contacto.
4. Realizar estudios sobre la estabilidad y durabilidad de los materiales adsorbentes en ciclos prolongados de uso para evaluar su viabilidad en aplicaciones industriales continuas.
5. Se recomienda evaluar el impacto ambiental del uso de estos residuos y el proceso de adsorción para asegurar que el método propuesto sea sostenible y ecológicamente viable.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSEFA, Hailemariam et al. Advances in Adsorption Technologies for Hexavalent Chromium Removal: Mechanisms, Materials, and Optimization Strategies. *Desalination and Water Treatment* [en línea]. 2024, 100576 [consultado el 01 de julio de 2024]. ISSN 1944-3986. Disponible en: doi: <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100576>
2. SINGH, Pooja, Nilisha ITANKAR y Yogesh PATIL. Biomangement of hexavalent chromium: Current trends and promising perspectives. *Journal of Environmental Management* [en línea]. 2021, 279, 111547 [consultado el 03 de julio de 2024]. ISSN 0301-4797. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111547>
3. ZULFIQAR, Usman et al. Chromium toxicity, speciation, and remediation strategies in soil-plant interface: A critical review. *Frontiers in Plant Science* [en línea]. 2023, 13 [consultado el 24 de junio de 2024]. ISSN 1664-462X. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1081624>
4. HANNAINSTRUMENTS. Medición de cromo hexavalente en agua potable» HANNA® instruments Perú. [en línea]. 2020. [consultado el 22 de junio de 2024]. Disponible en: <https://hannainst.com.pe/blog/analisis-de-agua-boletines/medicion-de-cromo-hexavalente-en-agua-potable/>
5. VILA, Miquel Sabaté. Daños a la Salud por la Exposición a Cromo y sus Compuestos - Quirónprevención. [en línea]. 2022. [consultado el 22 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.quironprevencion.com/blogs/es/prevenidos/danos-salud-exposicion-cromo-compuestos>
6. MAYTA, Roddy y MAYTA, Jhony. Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. [en línea]. 2017. Vol. 83, no. 3, p. 331–340. [consultado el 21 de junio de 2024]. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2017000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=esRESUMEN](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=esRESUMEN)
7. HUAMANÍ, Gumercindo. *La industria de la curtiembre y su incidencia en el medio de la Ciudad de Lima - 2012* [en línea]. Trabajo de grado, Universidad Nacional del Callao, 2012 [consultado el 10 de abril de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/1613>
8. FAROOQ, Umar et al. Biosorption of heavy metal ions using wheat based biosorbents – A review of the recent literature. *Bioresource Technology* [en línea]. 2010, 101(14), 5043–

5053 [consultado el 02 de julio de 2024]. ISSN 0960-8524.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.030>

9. PABÓN, Janeth. *Aprovechamiento de la cáscara de papa como material bioadsorbente en la remoción de Cromo VI de aguas residuales provenientes de una curtiembre en la etapa de curtido* [en línea]. Trabajo de grado, Universidad de Manizales, 2022 [consultado el 5 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/6072>
10. SUÁREZ, Diego y VILLEGAS, Elvito. Evaluación de la adsorción del carbón obtenido del mesocarpio de cacao (*Theobroma cacao* L.) modificado por ultrasonido. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. [en línea]. 2019. Vol. 85, no. 2, p. 216–230. [consultado el 12 de junio]. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2019000200009&lng=es&nrm=iso&tlng=esLa](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2019000200009&lng=es&nrm=iso&tlng=esLa)
11. ARRIETA, Natalia. *Adsorción de cromo hexavalente presente en aguas del río Bogotá utilizando cáscara de café*. Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás, 2023.
12. ARAGAW, Temesgen et al. Chromium Removal from Electroplating Wastewater Using Activated Coffee Husk Carbon. *Adsorption Science & Technology* [en línea]. **2022**, 1–17 [consultado el 29 de julio de 2024]. ISSN 2048-4038. Disponible en: doi: <https://doi.org/10.1155/2022/7646593>
13. ESPINOZA, Yunay. *Evaluación de biosorbentes naturales para la remoción de Cr (VI) a partir de una solución acuosa y su potencial aplicación en el tratamiento de efluentes de curtiembres* [en línea]. Trabajo de grado, Universidad el Bosque, 2021 [consultado el 13 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12495/7087>
14. OWINO OLOO, Charles et al. Kinetic and Isotherm Modelling of adsorption of Cr<sup>3+</sup> metal ions from Tannery wastewater on to unmodified and acid-modified Arabica coffee husks biosorbents. *Asian Journal of Research in Chemistry* [en línea]. 2024, 1–5 [consultado el 29 de julio de 2024]. ISSN 0974-4150. Disponible en: <https://doi.org/10.52711/0974-4150.2024.00001>
15. BERIHUN, Dessalew. Removal of Chromium from Industrial Wastewater by Adsorption Using Coffee Husk. *Journal of Material Science & Engineering* [en línea]. 2017, **06**(02) [consultado el 29 de julio de 2024]. ISSN 2169-0022. Disponible en: doi: <https://doi.org/10.4172/2169-0022.1000331>

16. SALAS, Juan. *Remoción de cromo vi con panca de maíz como biosorbente en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, 2023* [en línea]. Trabajo de grado, Universidad Nacional Federico Villareal, 2024 [consultado el 15 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.13084/8840>
17. SILVA, Maribel. *Capacidad de biosorción de cromo hexavalente en medio acuoso usando la borra de café* [en línea]. Trabajo de grado, Universidad Nacional de Cajamarca, 2021 [consultado el 15 de mayo de 2024]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.14074/4322>
18. PAREDES, Marilia y VALLE, Milagros. *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"* [en línea]. Trabajo de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020 [consultado el 22 de mayo de 2025]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6474>
19. THANIKAIVELAN, Palanisamy et al. Progress and recent trends in biotechnological methods for leather processing. *Trends in Biotechnology* [en línea]. 2004, **22**(4), 181–188 [consultado el 21 de julio de 2024]. ISSN 0167-7799. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2004.02.008>
20. MADHAV, Sugghosh et al. A review of textile industry: Wet processing, environmental impacts, and effluent treatment methods. *Environmental Quality Management* [en línea]. 2018, **27**(3), 31–41 [consultado el 21 de julio de 2024]. ISSN 1088-1913. Disponible en: doi: <https://doi.org/10.1002/tqem.21538>
21. COVINGTON, Anthony. *Tanning Chemistry: The Science of Leather* [en línea]. 2009 [consultado el 24 de mayo de 2024]. ISBN 978-0-85404-170-1. Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?id=Og7OwDQp0CwC&printsec=frontcover&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=Og7OwDQp0CwC&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
22. OCIŃSKI, Daniel, et al. Natural community of macroalgae from chromium-contaminated site for effective remediation of Cr(VI)-containing leachates. *Science of the Total Environment* [en línea]. 2021, 786 [consultado el 22 de julio de 2024] ISSN 147501. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147501>
23. DUARTE, Palomera y Abril Wooendolin. *Estudio de la reducción de disoluciones de cromo hexavalente a cromo trivalente maestría en electroquímica*. Tesis para obtener el grado de magister en electroquímica, Centro de Investigación Tecnológico en Electroquímica., 2008.
24. KAPRARA, E, et al. Evaluation of current treatment technologies for Cr (VI) removal from water sources at sub-ppb levels. *Proceedings of the 13th International Conference on*

- Environmental Science and Technology* [en línea]. 2013. P. 5–7 [consultado el 20 de julio de 2024]. Disponible en: <http://ikee.lib.auth.gr/record/269318>
25. ISLAM, Aminul et al. Recent innovative research on chromium (VI) adsorption mechanism. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* [en línea]. 2019. Vol. 12 [consultado el 21 de julio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100267>
  26. RAMOS, Diego Suárez and VILLEGAS, Elvito. Evaluación de la adsorción del carbón obtenido del mesocarpio de cacao (*Theobroma cacao* L.) modificado por ultrasonido. *Rev Soc Quím Perú*. 85(2) 2019. 2019. P. 22–26.
  27. ESTRADA, Santos. *Modelación de fenómenos de adsorción en problemas de flujo y transporte a condiciones controladas de laboratorio* [en línea]. Tesis para obtener el título de ingeniero petrolero, Universidad Nacional Autónoma de México, 2016.
  28. AKSU, Zümriye. Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review. *Process Biochemistry* [en línea]. 2005. Vol. 40, no. 3–4, p. 997–1026 [consultado el 21 de julio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.04.008>
  29. LAKSHMANRAJ, Levankumar et al. Studies on the biosorption of hexavalent chromium from aqueous solutions by using boiled mucilaginous seeds of *Ocimum americanum*. *Journal of Hazardous Materials* [en línea]. 2009. Vol. 169, no. 1–3, p. 1141–1145 [consultado el 21 de julio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.022>
  30. SALEH, Tawfik et al. Water treatment technologies in removing heavy metal ions from wastewater: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* [en línea]. 2022. Vol. 17 [consultado el 22 de julio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100617>
  31. TEJADA, Tovar et al. Cr (VI) biosorption: Effect of temperature, particle size and bed height. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* [en línea]. 2020. No. 96, p. 78–86. [consultado el 22 de julio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20191149>
  32. RODRÍGUEZ, Adriana et al. Bioadsorción de cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa de amaranto (*Amaranthus caudatus*). *Avances en Ciencias e Ingeniería* [en línea]. 2017. Vol. 8, no. 2, p. 11–20 [consultado el 10 de abril de 2024]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323652282002>

33. SOUZA, Felipe et al. Production of Nutritious Flour from Residue Custard Apple (*Annona squamosa* L.) for the Development of New Products. *Journal of Food Quality* [en línea]. 2018. Vol. 2018, no. 1 [consultado el 15 de abril de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2018/5281035>
34. SHARMA, D. C. and FORSTER, C. F. Removal of hexavalent chromium using sphagnum moss peat. *Water Research* [en línea]. 1993. Vol. 27, no. 7, p. 1201–1208. [consultado el 20 de junio de 2024]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(93\)90012-7](https://doi.org/10.1016/0043-1354(93)90012-7).
35. DORIA, Herrera et al. Estandarización de la difenilcarbazida como indicador y acomplejante en la identificación de cromo hexavalente – Cr (VI). *Producción + Limpia - Julio* [en línea]. 2013. Vol. 8, no. 2 [consultado el 21 de junio de 2024]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v8n2/v8n2a02.pdf>
36. SALOMÉ, Martínez Salomé y JARAMILLO, Gamboa René Andrés. Análisis de aceptabilidad y percepción del consumidor de aplicaciones alimentarias de subproductos de café. *Informador Técnico* [en línea]. 28 de marzo 2023. Vol. 87, no. 1, p. 40–52 [consultado el 21 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.23850/22565035.5192>.
37. SALOMÉ-MARTÍNEZ, Salomé y JARAMILLO-GAMBOA, René Andrés. Análisis de aceptabilidad y percepción del consumidor de aplicaciones alimentarias de subproductos de café. *Informador Técnico* [en línea]. 28 March 2023. Vol. 87, no. 1, p. 40–52. [consultado el 21 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.23850/22565035.5192>.
38. DEMIRBAS, Ayhan. Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: A review. *Journal of Hazardous Materials* [en línea]. 15 de septiembre 2008. Vol. 157, no. 2–3, p. 220–229 [consultado el 28 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.01.024>
39. CAMACHO, Oviedo Hansel et al. Uso de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum* L) en la clarificación del agua de la Ciénaga de Malambo. *Investigación e Innovación en Ingenierías* [en línea]. 2020. P. 100–111 [consultado el 20 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3572>
40. AL-WESHAHY, A. y RAO, V. A. Potato Peel as a Source of Important Phytochemical Antioxidant Nutraceuticals and Their Role in Human Health - A Review. *Phytochemicals as Nutraceuticals - Global Approaches to Their Role in Nutrition and Health* [en línea]. 23 marzo 2012 [consultado el 11 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.5772/30459>
41. BARRERA, Díaz Carlos E., LUGO, Lugo Violeta and BILYEU, Bryan. A review of chemical, electrochemical and biological methods for aqueous Cr(VI) reduction. *Journal of*



- Hazardous Materials* [en línea]. 15 de julio 2012. Vol. 223–224, p. 1–12 [consultado el 20 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.04.054>
42. MUSSATTO, Solange et al. Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food Bioprocess Technol* [en línea]. Julio, 2011. Vol. 4, p 661 – 672 [consultado el 20 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0565-z>
  43. SINGH, Reena, GAUTAM, Neetu, MISHRA, Anurag and GUPTA, Rajiv. Heavy metals and living systems: An overview. *Indian J Pharmaco* [en línea]. Junio, 2011. Vol. 4(3), p 246 - 253 [consultado el 09 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.4103/0253-7613.81505>
  44. AKAN, J. C., MOSES, E. A., OGUGBUAJA, V. O. and ABAH, J. Assessment of tannery industrial effluents from kano metropolis, kano state, Nigeria. *Journal of Applied Sciences* [en línea]. 1 de octubre 2007. Vol. 7(19), p. 2788–2793 [consultado el 13 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.3923/jas.2007.2788.2793>
  45. ÑAUPAS, Humberto et al. *Metodología de la investigación Cuantitativa-Cualitativa y Redacción de la Tesis* [en línea]. 2018. Bogotá-México, DF 5a. Edición.
  46. PRIOR, Ronald y SCHAICH, Karen. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. [en línea]. 18 de mayo 2005. Vol. 53, no. 10, p. 4290–4302. 2793 [consultado el 25 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/JF050269>

## **ANEXOS**

## Anexo 1: Matriz de consistencia

Problema general	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál es la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cáscara de café y cáscara de papa en efluentes industriales de curtiembre, en el Distrito de San Pedro de Saño - Huancayo?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluar la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cáscara de café y cáscara de papa en efluentes industriales de curtiembre, en el Distrito de San Pedro de Saño – Huancayo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El uso de residuos de cáscara de café y cáscara de papa como adsorbentes es eficiente para la eliminación del cromo hexavalente en efluentes industriales de curtiembre en el Distrito de San Pedro de Saño – Huancayo.</li> </ul>	<p><b>Variable independiente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tipo de adsorbente</li> <li>Tiempo de contacto</li> </ul>	<p><b>Método de investigación:</b> Método científico</p> <p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> Descriptivo - explicativo</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> Diseño experimental, diseño de bloques completamente al azar</p> <p><b>Población:</b> Agua residual del efluente generado por las curtiembres</p> <p><b>Muestra:</b> 18 litros de efluente generado por las curtiembres</p> <p><b>Muestreo:</b> No probabilístico</p> <p><b>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</b> Las técnicas de recolección de datos fue la observación indirecta.</p> <p>Los instrumentos utilizados incluyeron balanzas de precisión para medir la masa del adsorbente, cronómetros para registrar el tiempo de contacto y espectrofotómetro.</p> <p><b>Técnica de procesamiento de datos</b> El procesamiento de datos se realizó utilizando un enfoque descriptivo combinado con un análisis detallado tanto de los bloques como del factor tiempo. se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para identificar posibles diferencias significativas entre los grupos</p>
<p><b>Problemas específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál es la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cascara de café en efluentes industriales de curtiembre según el tiempo de contacto del distrito de San Pedro de Saño – Huancayo?</li> <li>¿Cuál es la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cascara de papa (canchan) en efluentes industriales de curtiembre según el tiempo de contacto del distrito de San Pedro de Saño – Huancayo?</li> <li>¿Cuál es la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de la mezcla de cáscara de café y papa (canchan) en efluentes industriales de curtiembre según el tiempo de contacto del distrito de San Pedro de Saño – Huancayo?</li> <li>¿Cuál es el efecto del tipo de adsorbente y el tiempo en la adsorción de cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cáscara de café y cáscara de papa en efluentes industriales de curtiembre, en el Distrito de San Pedro de Saño - Huancayo?</li> </ul>	<p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cascara de café en efluentes industriales de curtiembre según el tiempo de contacto del distrito de San Pedro de Saño – Huancayo.</li> <li>Determinar la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cascara de papa en efluentes industriales de curtiembre según el tiempo de contacto del distrito de San Pedro de Saño – Huancayo.</li> <li>Determinar la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de la mezcla de cáscara de café y papa (canchan) en efluentes industriales de curtiembre según el tiempo de contacto del distrito de San Pedro de Saño – Huancayo</li> <li>Determinar el efecto del tipo de adsorbente y el tiempo en la adsorción de cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cáscara de café y cáscara de papa en efluentes industriales de curtiembre, en el Distrito de San Pedro de Saño – Huancayo.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los residuos de cáscara de café son eficientes en la adsorción del cromo hexavalente en efluentes industriales de curtiembre según el tiempo de contacto en el distrito de San Pedro de Saño – Huancayo.</li> <li>Los residuos de cáscara de papa son eficientes en la adsorción del cromo hexavalente en efluentes industriales de curtiembre según el tiempo de contacto en el distrito de San Pedro de Saño – Huancayo.</li> <li>La mezcla de residuos de cáscara de café y cáscara de papa (canchan) es eficiente en la adsorción del cromo hexavalente en efluentes industriales de curtiembre según el tiempo de contacto en el distrito de San Pedro de Saño – Huancayo.</li> <li>El tipo de adsorbente y el tiempo de contacto tienen efecto significativo en la eficiencia de adsorción del cromo hexavalente mediante el uso de residuos de cáscara de café y cáscara de papa en efluentes industriales de curtiembre en el distrito de San Pedro de Saño – Huancayo.</li> </ul>	<p><b>Variable dependiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eficiencia de adsorción del cromo hexavalente</li> </ul>	

Fuente: elaboración propia

## Anexo 2: Informe de resultado de análisis

### a. Curva de calibración



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA**  
**AGROINDUSTRIAL**

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
 "Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

**RESULTADO DE ANÁLISIS**



Solicitado por: Dianna Carolina Castillo Tanta Liz Cristina Villacresis Huashuayo	Fecha análisis: 08/07/2024	Fecha de reporte: 09/07/2024
Tipo de análisis: Elaboración de la curva de calibración		
Método de análisis: Colorimétrico		Técnica: Espectrofotometría UV-VIS

CURVA DE CALIBRACIÓN								
Concentración (mg/L)	ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS PROM	SD	Coefficient e de variación (CV %)	Límite de detección (LDD) (3 <sup>o</sup> S/m)	Límite de cuantificación (LDC) (10 <sup>o</sup> S/m)
0	0.056	0.055	0.054	0.055	0.001	0.018	0.004	0.014
0.25	0.183	0.181	0.184	0.183	0.002	0.008	0.007	0.022
0.5	0.368	0.369	0.372	0.370	0.002	0.006	0.009	0.030
1	0.692	0.682	0.692	0.689	0.006	0.008	0.025	0.084
1.5	0.998	0.995	0.996	0.996	0.002	0.002	0.007	0.022
2	1.269	1.272	1.275	1.275	0.003	0.002	0.013	0.043





UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN DE PRODUCTOS AGRARIOS

*Dr. Alfonso Ruiz Rodríguez*  
 RESPONSABLE F. DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN DE PRODUCTOS AGRARIOS

*Ing. Zebina Leandro De la Cruz*  
 LABORATORISTA

Página 1 de 5

**b. Determinación de la eficiencia de adsorción de cromo hexavalente en agua residual de curtiembre utilizando cáscara de café**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA  
AGROINDUSTRIAL**



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

Solicitado por: Dianna Carolina Castillo Tanta Liz Cristina Villacresis Huashuayo	Fecha análisis: 09/07/2024	Fecha de reporte: 10/07/2024
Tipo de análisis: Determinación de la eficiencia de adsorción de cromo hexavalente (Cr VI) en el agua residual de curtiembre utilizando cáscara de café		
Método de análisis: Colorimétrico		Técnica: Espectrofotometría UV-VIS

AGUA RESIDUAL DE LA CURTIEMBRE			
	Absorbancia	Concentración inicial de Cr VI	Concentración inicial de Cr VI
R1	0.789	59.420	59.635
R2	0.8	60.306	
R3	0.786	59.178	

CONDICIONES EXPERIMENTALES			RESULTADOS OBTENIDOS		
Repeticiones	Tiempo (min)	Absorbancia	Concentración final de Cr VI	Cantidad de remoción Cr VI	Eficiencia de remoción (%)
T1	30	0.325	22.031	37.604	63.06
T1	30	0.322	21.789	37.846	63.46
T1	30	0.325	22.031	37.604	63.06
T2	60	0.222	13.731	45.904	76.98
T2	60	0.225	13.973	45.662	76.57
T2	60	0.224	13.892	45.743	76.70



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN DE PRODUCTOS - EPAG  
*Dr. Alfonso Ruiz Rodríguez*  
RESPONSABLE DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN DE PRODUCTOS - EPAG  
*Ing. Zebina Leandro De la Cruz*  
LABORATORISTA



c. **Determinación de la eficiencia de adsorción de cromo hexavalente en agua residual de curtiembre utilizando cáscara de papa**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA**  
**AGROINDUSTRIAL**



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
 "Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

Solicitado por: Dianna Carolina Castillo Tanta Liz Cristina Villacresis Huashuayo	Fecha análisis: 11/07/2024	Fecha de reporte: 12/07/2024
Tipo de análisis: Determinación de la eficiencia de adsorción de cromo hexavalente (Cr VI) en el agua residual de curtiembre utilizando cáscara de papa		
Método de análisis: Colorimétrico		Técnica: Espectrofotometría UV-VIS

AGUA RESIDUAL DE LA CURTIEMBRE			
	Absorbancia	Concentración inicial de CR VI	Concentración inicial de CR VI
R1	0.789	59.420	59.635
R2	0.8	60.306	
R3	0.786	59.178	

CONDICIONES EXPERIMENTALES			RESULTADOS OBTENIDOS		
Repeticiones	Tiempo (min)	Absorbancia	Concentración final de Cr VI	Cantidad de remoción Cr VI	Eficiencia de remoción (%)
T1	30	0.413	29.122	30.513	51.17
T1	30	0.411	28.961	30.674	51.44
T1	30	0.414	29.202	30.432	51.03
T2	60	0.243	15.423	44.212	74.14
T2	60	0.243	15.423	44.212	74.14
T2	60	0.243	15.423	44.212	74.14



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN DE PRODUCTOS AGRARIOS  
*Dr. Alfonso Ruiz Rodríguez*  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN DE PRODUCTOS AGRARIOS  
*Ing. Zebina Leandro De la Cruz*  
 LABORATORISTA

**d. Determinación de la eficiencia de adsorción de cromo hexavalente en agua residual de curtiembre utilizando la mezcla de cáscara de café y cáscara de papa**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA  
AGROINDUSTRIAL**



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

Solicitado por: Dianna Carolina Castillo Tanta Liz Cristina Villacresis Huashuayo	Fecha análisis: 15/07/2024	Fecha de reporte: 16/07/2024
Tipo de análisis: Determinación de la eficiencia de adsorción de cromo hexavalente (Cr VI) en el agua residual de curtiembre utilizando la mezcla de cáscara de café y cáscara de papa		
Método de análisis: Colorimétrico		Técnica: Espectrofotometría UV-VIS

AGUA RESIDUAL DE LA CURTIEMBRE			
	Absorbancia	Concentración inicial de CR VI	Concentración inicial de CR VI
R1	0.789	59.420	59.635
R2	0.8	60.306	
R3	0.786	59.178	

CONDICIONES EXPERIMENTALES			RESULTADOS OBTENIDOS		
Repeticiones	Tiempo (min)	Absorbancia	Concentración final de Cr VI	Cantidad de remoción Cr VI	Eficiencia de remoción (%)
T1	30	0.181	10.427	49.208	82.52
T1	30	0.181	10.427	49.208	82.52
T1	30	0.181	10.427	49.208	82.52
T2	60	0.115	5.109	54.526	91.43
T2	60	0.118	5.351	54.284	91.03
T2	60	0.115	5.109	54.526	91.43



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS Y COMPOSICIÓN DE PRODUCTOS - EPAG  
*Dr. Alfonso Ruiz Rodríguez*  
RESPONSABLE DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS Y COMPOSICIÓN DE PRODUCTOS - EPAG  
*Ing. Zebina Leandro De la Cruz*  
LABORATORISTA



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA**  
**AGROINDUSTRIAL**



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Los resultados solo se restringen a la muestra evaluada, asimismo hace de conocimiento y de conformidad que estos análisis se llevaron a cabo juntamente con los Bachilleres: Dianna Carolina Castillo Tanta y Liz Cristina Villacresis Huashuayo, solicitadas previamente, todos los análisis se desarrollaron en el laboratorio de Análisis de Composición de Productos- EPIAG, este presente informe tiene vigencia 90 días a partir de la fecha de emisión. La corrección o enmienda del documento anula automáticamente su validez y constituye un delito contra la Fe pública y el infractor es sujeto a sanciones civiles y penales por dispositivos legales vigentes. Prohibido su reproducción parcial o total del informe de análisis de resultados

Atentamente,



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN DE PRODUCTOS - EPIAG  
*Dr. Alfonso Ruiz Rodríguez*  
RESPONSABLE DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN DE PRODUCTOS - EPIAG  
*Ing. Zebina Leandro De la Cruz*  
LABORATORISTA



### Anexo 3: Evidencia fotográficas

#### Preparación del carbón activado (material adsorbente)



#### Visita a la empresa de curtiembre de San Pedro de Saño





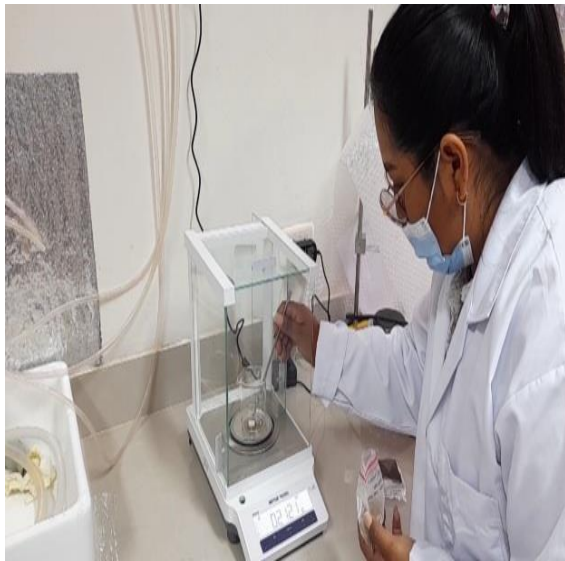


Recolección del agua residual

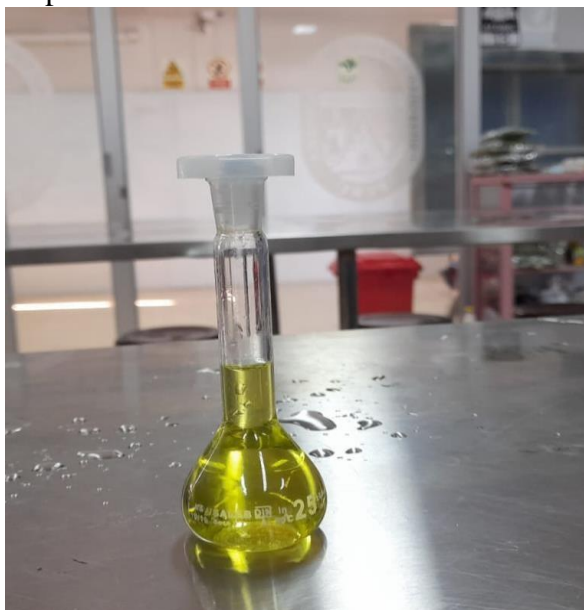




## Interacción del adsorbente y agua residual de la curtiembre



Preparación de la solución cromo hexavalente



Ajuste del pH



## Preparación de la curva de calibración



## Análisis de la muestra

