

**UNIVERSIDAD DE HUANUCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**TESIS**

---

**“Eficacia de la biomasa de origen agrícola como adsorbente de colorantes de aguas residuales contaminadas por colorantes, Huánuco – 2024”**

---

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AMBIENTAL**

**AUTOR: Riquelme Loyola, Josue Geser**

**ASESOR: Morales Aquino, Milton Edwin**

**HUÁNUCO – PERÚ**

**2024**

# U

### TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis ( X )
- Trabajo de Suficiencia Profesional ( )
- Trabajo de Investigación ( )
- Trabajo Académico ( )

**LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:** Contaminación Ambiental  
**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)**

### CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

**Área:** Ingeniería, Tecnología

**Sub área:** Ingeniería ambiental

**Disciplina:** Ingeniería ambiental y geológica

### DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio ( X )
- UDH ( )
- Fondos Concursables ( )

# D

### DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 44858770

### DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 44342697

Grado/Título: Maestro en ingeniería, con mención en:  
gestión ambiental y desarrollo sostenible

Código ORCID: 0000-0002-2250-3288

### DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Bonifacio Munguía, Jonathan Oscar	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	46378040	0000-0002-3013-8532
2	Cámara Llanos, Frank Erick	Maestro en ciencias de la salud con mención en: salud pública y docencia universitaria	44287920	0000-0001-9180-7405
3	Vásquez Baca, Yasser	Título oficial de máster universitario en planificación territorial y gestión ambiental	42108318	0000-0002-7136-697X

# H



# UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

## Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 10:00 horas del día 12 del mes de diciembre del año 2024, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

- Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguia (Presidente)
- Mg. Frank Erick Camara Llanos (Secretario)
- Mg. Yasser Vasquez Baca (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 2714-2024-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: **"EFICACIA DE LA BIOMASA DE ORIGEN AGRÍCOLA COMO ADSORBENTE DE COLORANTES DE AGUAS RESIDUALES CONTAMINADAS POR COLORANTES, HUÁNUCO - 2024"**, presentado por el (la) Bach. **RIQUELME LOYOLA, JOSUE GESER**; para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) **APROBADO**..... Por **UNANIMIDAD**..... con el calificativo cuantitativo de **15**..... y cualitativo de **BUENO**..... (Art. 47)

Siendo las **11:00**.....horas del día **12**.....del mes de **Diciembre**.....del año **2024**....., los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguía  
DNI: 46378040  
ORCID: 0000-0002-3013-8532  
Presidente

Mg. Frank Erick Camara Llanos  
DNI: 44287920  
ORCID: 0000-0001-9180-7405  
Secretario

Mg. Yasser Vasquez Baca  
DNI: 42108318  
ORCID: 0000-0002-7136-697X  
Vocal



## UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: JOSUE GESER RIQUELME LOYOLA, de la investigación titulada “Eficacia de la biomasa de origen agrícola como adsorbente de colorantes de aguas residuales contaminadas por colorantes, Huánuco – 2024”, con asesor(a) MILTON EDWIN MORALES AQUINO, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 0856-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 14 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 25 de noviembre de 2024



RICHARD J. SOLIS TOLEDO  
D.N.I.: 47074047  
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO  
D.N.I.: 40618286  
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

## 27. RIQUELME LOYOLA, Josue Geser.docx

### INFORME DE ORIGINALIDAD



### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	4%
2	Submitted to Uttaranchal University, Dehradun Trabajo del estudiante	1%
3	<a href="https://repositorio.udh.edu.pe">repositorio.udh.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO  
D.N.I.: 47074047  
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO  
D.N.I.: 40618286  
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

## **DEDICATORIA**

En profundo agradecimiento a mis queridos padres, quienes a lo largo de sus vidas me han inculcado la cultura del trabajo y estudio. Su dedicación y esfuerzo constante para asegurarme una educación son un regalo que valoro más allá de las palabras. Esta tesis es el testimonio de su sacrificio y amor, y un recordatorio constante de la importancia del trabajo duro y la educación en nuestras vidas

## **AGRADECIMIENTO**

Quisiera comenzar expresando mi más sincero agradecimiento a Mg. MORALES AQUINO Milton Edwin, mi asesor de tesis, por su invaluable orientación y asesoramiento a lo largo de esta investigación. Su experiencia y conocimientos técnicos han sido fundamentales en el diseño, ejecución y análisis de este estudio. La rigurosidad de sus comentarios y la calidad de sus recomendaciones han elevado significativamente el nivel de esta investigación.

Agradezco también al Mg. Frank Camara, Mg. Jonathan Bonifacio y al Mg. Yasser Vásquez. miembros del comité de tesis, por sus aportes críticos y sugerencias detalladas. Sus evaluaciones minuciosas y observaciones precisas han sido esenciales para la mejora continua del proyecto.

Agradezco especialmente a Ing. Hernan Tarazona, por su generosa disposición y orientación en el laboratorio, su apoyo ha sido crucial para el éxito de nuestro proyecto, y sus conocimientos y orientación han aportado una perspectiva invaluable, su profesionalismo y disposición para colaborar no solo han facilitado nuestro trabajo, sino que también han enriquecido nuestra experiencia de manera significativa

A mi familia, en particular a mis padres German Riquelme, Esther Loyola y hermanos, quiero expresar mi profundo agradecimiento por su apoyo constante y comprensión. Su paciencia y aliento durante el proceso de investigación han sido invaluable para mantener mi motivación y enfoque.

Finalmente, extendo mi agradecimiento a mis colegas y amigos por sus discusiones enriquecedoras y su apoyo en momentos de desafío. Sus aportes y consejos han sido valiosos para la culminación exitosa de esta tesis.

A todos ustedes, mi sincero agradecimiento por su contribución y apoyo, que han sido determinantes para el éxito de este trabajo de investigación.

# ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
CAPITULO I.....	14
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	17
1.2.1. PROBLEMA PRINCIPAL.....	17
1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO.....	17
1.3. OBJETIVOS .....	18
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	18
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	18
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA .....	18
1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA .....	19
1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA .....	19
1.4.4. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA .....	20
1.4.5. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL .....	20
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.6.1. RECURSO TEÓRICO .....	21
1.6.2. RECURSO ÉTICO.....	21
1.6.3. RECURSO TEMPORAL.....	21
CAPITULO II.....	22
MARCO TEORICO .....	22
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	22

2.1.1.	ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	22
2.1.2.	ANTECEDENTES NACIONALES .....	25
2.1.3.	ANTECEDENTES LOCALES .....	27
2.2.	BASES TEÓRICAS .....	28
2.2.1.	CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS.....	28
2.2.2.	ADSORCIÓN.....	37
2.3.	DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	45
2.4.	HIPÓTESIS .....	47
2.4.1.	HIPÓTESIS GENERAL .....	47
2.5.	VARIABLES.....	47
2.5.1.	VARIABLE DEPENDIENTE .....	47
2.5.2.	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	47
2.6.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	48
CAPITULO III.....		50
METODOLOGÍA DE LA INVESTIACIÓN .....		50
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	50
3.1.1.	ENFOQUE.....	50
3.1.2.	ALCANCE O NIVEL .....	50
3.1.3.	DISEÑO.....	50
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	51
3.2.1.	POBLACIÓN .....	51
3.2.2.	MUESTRA.....	51
3.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 51	
3.3.1.	PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	51
3.3.2.	PREPARACIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS .....	52
3.3.3.	PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.....	53
3.3.4.	PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS 54	
CAPITULO IV.....		55
RESULTADOS .....		55
4.1.	ANÁLISIS INFERENCIAL.....	63
CAPITULO V.....		65
DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....		65
CONCLUSIONES .....		68
RECOMENDACIONES.....		70

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
ANEXOS.....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Reglas que controlan cómo se tratan las aguas .....	29
Tabla 2 simulación del agua contaminada de colorantes .....	52
Tabla 3 Niveles del colorante azul de metileno antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes .....	55
Tabla 5 Niveles de colorante eosina antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes .....	57
Tabla 6 Parámetros químicos del agua residual antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes .....	59
Tabla 7 Comparación de medias de la eficacia de la biomasa de origen agrícola como adsorbente de colorantes de aguas residuales contaminadas por colorantes, Huánuco - 2024.....	63
Tabla 8 Comparación de medias de la eficacia de la biomasa de origen agrícola como adsorbente de colorantes en parámetros químicos de aguas residuales contaminadas por colorantes, Huánuco - 2024 .....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Efecto de tiempo de contacto en el porcentaje de remoción .....	39
Figura 2 Efecto de la dosis del adsorbente .....	40
Figura 4 Efecto del pH para la adsorción del colorante .....	41
Figura 5 Forma no lineal del modelo de isoterma de Langmuir .....	42
Figura 6 Forma no lineal del modelo de isoterma Freundlich .....	43
Figura 7 Ajuste no lineal del modelo cinético de pseudoprimer y pseudosegundo orden .....	45

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Niveles del colorante azul de metileno antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes....	56
Gráfico 2 Niveles de colorante eosina antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes .....	58
Gráfico 3 Parámetro de conductividad del agua residual antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes....	60
Gráfico 4 Parámetro de pH del agua residual antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes .....	61
Gráfico 5 Parámetro de SST del agua residual antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes .....	62

## RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la eficacia de la biomasa de origen agrícola como adsorbente de colorantes en aguas residuales contaminadas por colorantes en Huánuco, 2024. Metodología: Se realizaron experimentos utilizando diferentes concentraciones de aguas residuales contaminadas con colorantes: azul de metileno y eosina, en porcentajes que varían del 2.5% al 10%. La biomasa de origen agrícola se aplicó para adsorber estos colorantes. Los niveles de colorante se midieron antes y después de la aplicación de la biomasa para evaluar su eficacia. Además, se analizaron parámetros químicos del agua residual, tales como la conductividad, el pH y los sólidos suspendidos totales (SST), antes y después del tratamiento. Se utilizó el estadístico t-Student para determinar la significancia de las diferencias observadas. Resultados: Los resultados mostraron una reducción significativa en los niveles de colorantes después de la aplicación de la biomasa. Para el azul de metileno, la concentración disminuyó desde 1,900 ppm a 0,003 ppm en el 2.5% de concentración inicial, y desde 11,000 ppm a 0,010 ppm en el 10% de concentración inicial. Para la eosina, los niveles bajaron de 1,900 ppm a 0,009 ppm en el 2.5% y de 11,000 ppm a 0,050 ppm en el 10%. Los parámetros químicos también mostraron cambios significativos: la conductividad aumentó, el pH disminuyó y los SST aumentaron después del tratamiento. Los resultados del t-Student indicaron significancia estadística en los cambios observados en la conductividad, el pH y los SST. Conclusiones: La biomasa de origen agrícola demostró ser un adsorbente eficaz para la eliminación de colorantes en aguas residuales. La capacidad de adsorción para el azul de metileno y la eosina fue notablemente alta, con reducciones significativas en las concentraciones de ambos colorantes. El tratamiento con biomasa también afectó los parámetros químicos del agua residual, aumentando la conductividad y los SST, y reduciendo el pH.

**Palabras claves:** Eficacia, biomasa, agrícola, colorantes, aguas.

## ABSTRACT

The main objective of this research was to evaluate the effectiveness of biomass of agricultural origin as a dye adsorbent in wastewater contaminated by dyes in Huánuco, 2024. Methodology: Experiments were conducted using different concentrations of wastewater contaminated with dyes: methylene blue and eosin, in percentages varying from 2.5% to 10%. Biomass of agricultural origin was applied to adsorb these dyes. The dye levels were measured before and after the application of the biomass to evaluate its efficacy. In addition, chemical parameters of the wastewater, such as conductivity, pH and total suspended solids (TSS), were analyzed before and after treatment. The t-Student statistic was used to determine the significance of the observed differences. Results: The results showed a significant reduction in dye levels after biomass application. For methylene blue, the concentration decreased from 1,900 ppm to 0.003 ppm at 2.5% initial concentration, and from 11,000 ppm to 0.010 ppm at 10% initial concentration. For eosin, levels dropped from 1,900 ppm to 0.009 ppm at 2.5% and from 11,000 ppm to 0.050 ppm at 10%. Chemical parameters also showed significant changes: conductivity increased, pH decreased and TSS increased after treatment. The t-Student results indicated statistical significance in the observed changes in conductivity, pH and TSS. Conclusions: Biomass of agricultural origin proved to be an effective adsorbent for dye removal in wastewater. The adsorption capacity for methylene blue and eosin was remarkably high, with significant reductions in the concentrations of both dyes. Biomass treatment also affected the chemical parameters of the wastewater, increasing conductivity and TSS, and reducing pH.

**Keywords:** Efficiency, biomass, agricultural, dyes, water

## INTRODUCCIÓN

La contaminación de aguas residuales por colorantes industriales representa un grave problema ambiental debido a la persistencia de estos contaminantes y sus efectos adversos en los ecosistemas acuáticos. Los colorantes sintéticos, como el azul de metileno y la eosina, se emplean ampliamente en diversas industrias, entre ellas la textil, cosmética, farmacéutica y de alimentos, que son responsables de un gran porcentaje de descargas de colorantes en el agua (Ananthashankar y Ghaly, 2014). Sin embargo, la liberación de estos colorantes sin el tratamiento adecuado compromete la calidad del agua, afectando tanto la salud humana como el medio ambiente. Desde el punto de vista de la salud, la exposición a estos colorantes puede causar problemas cutáneos, respiratorios e incluso efectos carcinogénicos a largo plazo en poblaciones expuestas (Assadipour et al., 2015). En el medio ambiente, los colorantes reducen la penetración de luz en el agua, alteran el proceso de fotosíntesis y afectan gravemente la flora y fauna acuática (Katheresan et al., 2018). En este contexto, es crucial desarrollar soluciones eficientes y sostenibles para eliminar estos contaminantes antes de que las aguas residuales se viertan en cuerpos de agua naturales.

Entre las técnicas de tratamiento de aguas residuales, la adsorción se ha consolidado como una de las más eficaces para la eliminación de colorantes, destacando por su simplicidad operativa y costos relativamente bajos. Sin embargo, el desarrollo de materiales adsorbentes accesibles y de bajo impacto ambiental sigue siendo un reto. La biomasa de origen agrícola ha emergido como una alternativa prometedora debido a su disponibilidad, biodegradabilidad y capacidad para adsorber contaminantes de manera eficiente. Diversos estudios han demostrado el potencial de la biomasa agrícola para la remoción de colorantes, como el trabajo de Holliday et al. (2024), donde se emplearon hojas de guisante como biosorbente para la adsorción de azul de metileno, obteniendo resultados significativos. Asimismo, investigaciones como las de Godoy (2022) y Lavado et al. (2020) destacan el

uso de desechos agrícolas como el carbón activado y los cladodios de tuna, con resultados favorables en la adsorción de colorantes.

Esta investigación se enfoca en evaluar la eficacia de la biomasa de origen agrícola como adsorbente de colorantes en aguas residuales contaminadas. Se utilizaron diferentes concentraciones de colorantes como azul de metileno y eosina para determinar el potencial de la biomasa en su eliminación. Los resultados mostraron una reducción significativa de ambos colorantes después del tratamiento, con concentraciones que pasaron de valores iniciales altos (1,900 ppm para azul de metileno y eosina al 2.5%) a casi nulos después de la adsorción. Además, se observaron cambios en parámetros químicos como el pH, la conductividad y los sólidos suspendidos totales (SST), que indican una transformación física y química del agua tratada.

La importancia de esta investigación radica en su contribución al desarrollo de soluciones sostenibles para el tratamiento de aguas residuales, utilizando materiales locales, económicos y biodegradables. Las conclusiones obtenidas confirman la eficacia de la biomasa agrícola en la remoción de colorantes, lo que sugiere su aplicación en tratamientos a mayor escala, contribuyendo así a la mitigación de los efectos negativos de los colorantes industriales en el medio ambiente.

# CAPITULO I

## PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Para los seres vivos, el agua ha sido bautizada como el combustible vital. El protoplasma de nuestras células alberga un 80 % de agua, así que todos debemos beber agua que sea fresca y segura. (Chaplin, 2021).

Las actividades en fábricas y granjas causan contaminación del agua con sustancias químicas como metales, tintes, pesticidas y otros compuestos. Recientemente, se han encontrado en el agua sustancias llamadas contaminantes emergentes, como medicamentos hormonales y otras sustancias orgánicas cuyo uso está aumentando constantemente, lo que hace que se acumulen. (Breslow, 2022).

En la mayoría de las naciones latinoamericanas, las normativas vigentes necesitan una revisión. En la actualidad, la polución se ha convertido en un desafío titánico, ya que el ascenso demográfico y el aumento en el uso de materiales y energía incrementan la cantidad de residuos y desechos que llegan al entorno, lo que lleva a que las normativas sobre la polución, especialmente en el ámbito de la calidad del agua, se tornen más rigurosas en numerosas naciones. (Valladares et al., 2017).

En la actualidad, la preocupación por la polución ha alcanzado niveles alarmantes. La expansión demográfica y el aumento en el uso de materiales y energía incrementan la presencia de desechos y residuos en el entorno, lo que lleva a que las normativas sobre la calidad del agua se vuelvan más rigurosas en numerosas naciones.

En la actualidad, la cantidad de compuestos orgánicos que se desvanecen en el entorno ha aumentado considerablemente. En el vasto universo de las industrias textiles, papeleras, imprentas, metalurgia, petroquímica, pesticidas, pinturas, solventes y farmacéuticas, se despliegan vastos océanos de agua y compuestos químicos orgánicos. (Martínez, 2012).

En la actualidad, la mayoría de los pigmentos utilizados son artificiales y su producción global supera el millón de toneladas anuales, de las cuales el 50% se destina a la industria textil. (Gómez Merino, 2020). Los lugares principales donde se produce algo están en Europa y Asia. Países como Alemania, Inglaterra, Suiza, Japón, Corea, Taiwán, China, India, Brasil y México fabrican tintes para telas. (Hunger, 2002). Se fabrican más de 100,000 tintes para vender. La cantidad producida cada año es más de 700 millones de kilogramos.

La fabricación de ropa produce sustancias dañinas que se liberan en la naturaleza. Muchos tintes utilizados en la industria de la moda son artificiales, lo que los hace difíciles de descomponer y desechar. La mayoría de las fábricas de ropa en nuestro país suelen verter sus aguas sucias sin tratarlas o usando tratamientos inadecuados que no eliminan los contaminantes. Debido a que los colorantes artificiales pueden causar cáncer y dañar el medio ambiente, las fábricas de ropa necesitan eliminarlos de sus aguas sucias para cumplir con las reglas de salud pública. Sin embargo, al utilizar métodos inadecuados, no consiguen eliminar correctamente estas sustancias contaminantes.

Los tintes para telas son más fuertes ante diferentes condiciones ambientales y de uso, como lavado, roce, exposición al sol, entre otros, y son económicos de producir.

No obstante, estas propiedades estables se deben a que los tintes artificiales tienen estructuras químicas complicadas que los hacen resistentes a los procesos de eliminación y descomposición de los desechos líquidos.

En nuestra nación, la mayoría de las empresas no tratan correctamente sus desechos líquidos, lo que causa un impacto malo en el medio ambiente y afecta el equilibrio de la naturaleza y la salud de las personas. Según información del INEI en 2014, en la ciudad de Lima se producían cada día 1 202,286 metros cúbicos de aguas sucias, pero solo se trataba el 21.2% de ellas. En Perú, a finales de 2007, el 63,6% de las personas que vivían en áreas urbanas contaban con alcantarillado. De todos los residuos producidos, solo

el 29,1% fue tratado en una planta de tratamiento de aguas. En la actualidad, aproximadamente 40 metros cúbicos por segundo de agua sucia se vierten en ríos y alrededor de 4,000 hectáreas de campos se riegan con esta agua sin tratar. El 21.2% de las aguas sucias en Lima Metropolitana son tratadas. El 63.6% de las personas que viven en áreas urbanas en Perú tienen acceso a alcantarillado. Solo el 29.1% del agua sucia recolectada por el alcantarillado es tratada. (collacci, 2018).

Las aguas sucias de las fábricas provienen de la producción, como la minería, la agricultura y la energía, a diferencia de las aguas sucias de las casas.

Según información del INEI, en la ciudad de Lima se producían cada día 1 202,286 metros cúbicos de aguas sucias en el año 2019, pero solo el 21.2% de ellas eran tratadas.

Esto sucede porque las instalaciones que tratan las aguas sucias no son lo bastante grandes para manejar la cantidad de agua que se produce. En Perú hay varias compañías que brindan soluciones y tecnologías para tratar aguas sucias de fábricas, como Séché Group, Spena Group y Linde Perú. Estas compañías ofrecen sistemas hechos a medida para limpiar aguas sucias. (Seo, 2022).

En Perú, los desechos industriales y domésticos, junto con las aguas residuales domésticas, no pueden ser devueltos a las fuentes naturales o reciclados sin un tratamiento previo. No obstante, la mayoría de las aguas residuales producidas en la nación, ya sean industriales o domésticas, no reciben tratamiento alguno y se lanzan sin tratamiento a los ríos, al mar o se reciclan sin tratamiento para usos agrícolas. (Fernández, 2011).

Algunas de las formas y herramientas usadas para limpiar aguas sucias de fábricas son: ajustar el nivel de acidez, eliminar residuos biológicos con ozono, oxigenar y eliminar malos olores, añadir minerales y desinfectar con ozono. La Autoridad Nacional de Agua (ANA) en Perú tiene reglas para limpiar aguas sucias de fábricas y ciudades.

Los tintes artificiales se usan mucho en diferentes industrias como la textil, plástica, del cuero, del papel, de las curtidorías, de las destilerías y de la alimentación, entre otras. Se calcula que se usan más de 100 000 tintes diferentes en esas industrias y se fabrican más de 700 000 toneladas de tintes cada año en todo el mundo. (Chikri et al., 2020). Estas fábricas están vertiendo aguas sucias de colores que dañan los cuerpos de agua. Estos colorantes impiden que la luz entre, lo que ralentiza la producción de alimentos de las plantas y detiene el crecimiento de los seres vivos en el agua. Además, estos colorantes pueden unirse a metales que son tóxicos para los peces y otros seres vivos, causando problemas de salud como el cáncer. (Garg, 2004).

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA PRINCIPAL**

¿Cuál es la eficacia de la biomasa de origen agrícola como adsorbente de colorantes de aguas residuales contaminadas por colorantes, Huánuco - 2024?

### **1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO**

¿Cuáles son los niveles del colorante azul de metileno antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes?

¿Cuáles son los niveles del colorante eosina antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes?

¿Cuáles son los parámetros químicos del agua residual antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes?

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la eficacia de la biomasa de origen agrícola como adsorbente de colorantes de aguas residuales contaminadas por colorantes, Huánuco - 2024.

#### **1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Determinar los niveles del colorante azul de metileno antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes.
- Determinar los niveles del colorante eosina antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes.
- Determinar los parámetros químicos del agua residual antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente estudio de investigación se argumenta por lo siguiente:

#### **1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

La contaminación del agua con tintes de fábricas es un problema grave para el medio ambiente porque son tóxicos y pueden dañar los ecosistemas acuáticos y la salud de las personas. Encontrar formas efectivas de eliminar estas sustancias contaminantes es muy importante para reducir sus impactos negativos.

Usar plantas como filtro es una opción amigable con el medio ambiente y duradera en contraste con los filtros artificiales usuales. Los restos de plantas y subproductos de la comida pueden ser una buena opción económica y respetuosa con el medio ambiente para limpiar aguas sucias.

La cantidad de materia orgánica de cultivos es grande y se encuentra en muchas partes del mundo. Usarlos como absorbentes no solo aprovecha estos recursos naturales que se renuevan, sino que también puede ayudar a disminuir la cantidad de desechos agrícolas y la dependencia de materiales artificiales.

La estructura porosa y la composición química de la biomasa agrícola ofrecen propiedades adsorbentes deseables para la retención de colorantes en solución acuosa. Estudios previos han demostrado el potencial de diversos tipos de biomasa agrícola, como cáscaras de frutas, residuos de cultivos y subproductos de la industria agroalimentaria, para adsorber eficazmente una amplia gama de contaminantes orgánicos, incluidos los colorantes.

#### **1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA**

La biomasa de origen agrícola ha demostrado ser efectiva en la adsorción de una variedad de contaminantes, incluidos los colorantes. Esta investigación busca validar y optimizar su uso como un método práctico y eficiente para el tratamiento de aguas residuales contaminadas por colorantes, proporcionando una solución efectiva para la remoción de estos compuestos.

Usar desechos agrícolas como filtros ayuda a limpiar aguas sucias y a manejar mejor los desechos agrícolas de forma sostenible. Esto puede ayudar a disminuir la contaminación del medio ambiente causada por la acumulación de estos desechos.

#### **1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA**

A pesar de que investigaciones anteriores han mostrado que la biomasa agrícola puede usarse para eliminar contaminantes, es

importante confirmar y extender estos resultados con un método confiable y que se pueda repetir.

Es válido comparar cómo efectiva es la biomasa de plantas en comparación con otros materiales usados para limpiar aguas sucias con tintes, desde el punto de vista de la metodología. Esto dará datos importantes sobre lo competitiva que es la biomasa agrícola y sus beneficios en cuanto a eficacia y precio.

#### **1.4.4. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA**

El presente estudio también se hace porque es económicamente de fácil acceso y se puedan establecer estos métodos naturales y de tal manera proteger los recursos hídricos. La biomasa agrícola puede ser una alternativa más económica en comparación con los adsorbentes comerciales convencionales. Utilizar subproductos agrícolas o residuos de cultivos como adsorbentes puede reducir significativamente los costos de tratamiento de aguas residuales, ya que estos materiales pueden estar disponibles a bajo costo o incluso de forma gratuita.

#### **1.4.5. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL**

La erradicación de pigmentos de las aguas residuales es vital para disminuir la polución y salvaguardar los hábitats acuáticos. Los pigmentos pueden ser nocivos y duraderos, alterando la pureza del agua y la existencia de los seres acuáticos. Utilizar la biomasa agrícola como sorbente brinda una alternativa eficiente y duradera para eliminar estos agentes contaminantes y elevar la pureza del agua.

El uso de desechos agrícolas como sorbentes ofrece una manera de manejar estos recursos de forma ecológicamente amigable. En vez de tirarlos o quemarlos, se les otorga una nueva misión benéfica en la gestión de desechos agrícolas, minimizando así la polución del suelo y del aire vinculada a la eliminación de desechos agrícolas.

## **1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

Para llevar a cabo este estudio, se enfrentan restricciones financieras para examinar las muestras y obtener los hallazgos.

## **1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.6.1. RECURSO TEÓRICO**

El sujeto investigador tiene la capacidad de explorar y desmenuzar estos datos, además de aplicar ciertos saberes adquiridos.

### **1.6.2. RECURSO ÉTICO**

Al llevar a cabo este proyecto, no afectará ni dañará a nadie, ni a la comunidad ni al entorno natural, sino que busca ofrecer una solución ecológica para las aguas residuales.

### **1.6.3. RECURSO TEMPORAL**

La investigación se realizará pronto, en unos 3 a 4 meses en el año 2024, para llevar a cabo todos los pasos necesarios.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Holliday et al., (2024) realizaron un estudio titulado Residuos agrícolas de guisantes como biosorbente contaminante de bajo costo para la eliminación de azul de metileno: cinética de adsorción, estudios isotérmicos y termodinámicos; para lo cual se utilizó como biosorbente para la adsorción del azul de metileno las hojas de guisante verde (*Pisum sativum*); a la que se realizó la caracterización mediante microscopia electrónica de barrido, espectroscopia infrarroja y análisis gravitacional térmico y con ello se identificó componentes claves de la biomasa, ya características físicas y compuestos químicos importantes para la adsorción. En dicha investigación se evaluaron las variables de tamaño de partícula, tiempo de contacto, agitación, dosis, pH de la solución, temperatura y concentración inicial del colorante y se encontraron los modelos cinéticos e isotérmicos que mejor se ajustan, así como también se identificaron las propiedades termodinámicas. Obteniendo como resultado que la adsorción teórica máxima fue de 167 mg/g siendo alta en comparación a otros biosorbentes que fueron estudiados. Los modelos que mejor se ajustaron fueron la isoterma de adsorción de Freundlich y el modelo cinético de adsorción de pseudosegundo orden. Por último, se concluye que la hojarasca de guisante es un adsorbente eficaz del azul de metileno; por lo tanto, también podría tener su aplicación en el tratamiento de aguas residuales.

Guan et al., (2023) en su investigación titulado Biocarbón de residuos agrícolas después de la activación del hidróxido de potasio: su evaluación adsorbente y mecanismo potencial desarrollaron un bioadsorbente en base a las ramas de Goji, la cual pasó por un proceso de pirólisis para obtener biocarbón con la activación del hidróxido de

potasio. Asimismo, realizaron la caracterización del biocarbón en cuanto a sus características estructurales y grupos funcionales y evaluaron su rendimiento de adsorción con el azul de metileno como contaminante. Como parte de los resultados se obtuvo que la capacidad de adsorción se relaciona significativamente con el área de superficie de los biochars con un coeficiente de determinación igual a 0.9642, siendo  $1378 \frac{m^2}{g}$  la mayor superficie con una alta capacidad de adsorción igual  $769 \frac{mg}{g}$  en comparación con sus productos homólogos; así como también se pudo observar que el biocarbón presentó una potente capacidad de adsorción hacia otros contaminantes orgánicos comunes. Finalmente, dicho estudio sugiere que en la producción de biocarbón poroso, la activación con KOH se intensifica gracias a la presencia de agua en los desechos agrícolas.

Pinky et al., (2023) en su estudio titulado Preparación sencilla de biocarbón microporoso a partir de desechos agrícolas germinados de Bangladesh (mazorca de maíz) mediante una cámara de calentamiento construida internamente para la eliminación de colorantes iónicos llevan a cabo una preparación fácil de biocarbón con una cámara de calentamiento construida internamente utilizando mazorcas de maíz germinadas de Bangladesh como precursor para la eliminación del azul de metileno; para ello las mazorcas de maíz pasan por un proceso de pirólisis a  $700^{\circ}\text{C}$  durante 2 horas, en un cámara de calentamiento construida internamente e un horno de mufla. El biocarbón obtenido se caracterizó por su composición elemental, cristalinidad, grupos funcionales, morfología de la superficie, composición elemental, área de superficie, carga superficial, estabilidad del tamaño de las partículas y la estabilidad térmica. En cuanto a la eficiencia de adsorción, este se evaluó en función a diversos factores como la concentración inicial del colorante ( $7$  a  $15 \frac{mg}{L}$ ), el pH (2 a 10) y la dosis del adsorbente (10 a 35 mg); al biocarbón obtenido no se le aplicó ningún tratamiento de activación y se obtuvo una capacidad máxima de adsorción de  $20,42 \frac{mg}{L}$  a  $25^{\circ}\text{C}$ ; como parte de resultados también se obtuvo que el

comportamiento de adsorción se ajusta más al modelo de isoterma de Langmuir y el modelo cinético de pseudosegundo orden. Por último, en la investigación se concluye que los desechos agrícolas como la mazorca de maíz, es un adsorbente eficaz para el tratamiento de aguas residuales con tintes; o esto lo describen con la oración de los desechos para tratar desechos.

Zahran et al., (2023) realizaron una investigación cuyo propósito es la aplicación del carbón activado procedente de residuos agrícolas para el tratamiento de aguas residuales; para lo cual usaron residuos de soja y semillas de algodón para la preparación del bioadsorbente; este estudio se caracteriza por la utilización de la agomezla para la producción de especies de carbón activado. El biocarbón obtenido se usó como material adsorbente para la eliminación de colorantes aniónicos y catiónicos en solución acuosa; que como parte de los resultados se obtuvo que el proceso de eliminación de naranja de metilo y violeta cristal alcanzó el equilibrio a los 120 minutos ajustándose al modelo cinético de pseudosegundo orden y se adaptó más al isoterma de Langmuir con una capacidad máxima de adsorción igual a  $131,5 \frac{mg}{g}$  y  $57,1 \frac{mg}{g}$  para el colorante de naranja de metilo y violeta cristal respectivamente; estos resultados reflejaron que el carbón activa presenta mayor afinidad hacia el tinte aniónico. Por último, en dicho estudio se revela que el uso de desechos agrícolas como adsorbente es eficaz para la eliminación de contaminantes orgánicos de soluciones acuosas; además de tener una gran implicancia medioambiental.

Amalina et al., (2022) en su estudio titulado Eliminación de tintes de agua residuales textiles mediante residuos agrícolas como adsorbente – revisión en el que muestran la importancia del uso de residuos agrícolas como adsorbentes para el tratamiento o eliminación de tintes metílicos que vienen en varios colores. En dicha investigación se menciona la problemática ambiental que se enfrenta, específicamente la contaminación del agua por diversos efluentes provenientes de las industrias y ante ello existe la necesidad de desarrollar adsorbentes a

partir de materias primas alternativas económicas, como son los adsorbentes agrícolas a base de cascaras. La biomasa se caracteriza por ser una fuente de los procesos de adsorción renovable para compuestos peligrosos, incluidos los metales o elementos tóxicos. Esta investigación se enfoca en el uso de desechos agrícolas para la eliminación de tintes en el que se evalúa la capacidad de adsorción, condiciones de operación y formas de aplicación; así como también se muestran los modelos cinéticos e isotérmicos la cual describen las propiedades del adsorbente y los mecanismos de adsorción.

### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES**

Godoy, (2022) realizó una tesis titulada Obtención de carbón activado de mazorca de maíz amiláceo (*Zea mays L.ssp amiláceo*) por activación química, para la remoción de un colorante sintético. El propósito era convertir las partes de las mazorcas de maíz en carbón activado, un material valioso que puede absorber colorantes. También se analizó la estructura y características físicas de este material. Se analizaron diferentes aspectos para hacer carbón activado, como la temperatura de 400°C y 500°C, el tiempo de 1,5 horas y 2 horas, y la cantidad de ácido fosfórico al 45% y 85%. Como parte de los resultados, se identificaron 8 tipos de carbón activado que se diferenciaron por su tamaño de partícula, porcentaje de humedad, porcentaje de cenizas, capacidad para eliminar colorantes, capacidad de absorción, área superficial y análisis de rayos X. El carbón activado con la mayor capacidad de absorción de azul de metileno fue de 9,993 mg/l y tenía un área superficial de 306,493 m<sup>2</sup>/g, siendo también un material micromesoporoso. Por otro lado, la capacidad de absorción de la nigrosina fue menor, con 9,524 mg/l. Finalmente, en ese estudio se determinó que el carbón activado hecho con residuos de mazorcas de maíz tiene una gran capacidad para absorber tanto colorantes con carga positiva como negativa.

Lavado et al., (2020) Se llevó a cabo un estudio donde se analizó cómo se puede usar la parte verde de la planta de nopal para eliminar

un tinte azul de una mezcla de agua. Se utilizaron diferentes pruebas para estudiar las propiedades de los cladodios de la tuna. Se evaluaron factores como el pH, el tiempo de contacto y la cantidad de biomasa en relación al volumen de la solución. Estos factores son importantes para el proceso de biosorción en un entorno estacionario. Los resultados mostraron que los datos encajaron con el modelo de adsorción de Langmuir. Se logró una capacidad máxima de absorción de 156,25 mg/g cuando se usaron 4 g/L de biomasa, un pH de 8 y se mantuvo el contacto por 120 minutos. Además, los datos se describen mejor con un modelo cinético de segundo orden falso, y la biosorción está controlada por una adsorción química. Se ha demostrado que los segmentos de cactus son una opción prometedora, efectiva y respetuosa con el medio ambiente para eliminar el colorante azul de metileno de las aguas residuales.

Cruz et al., (2020) realizaron un estudio titulado Biocarbón derivado de residuos agrícolas impregnado con ZnO para la eliminación de arsénico y plomo en el agua cuyo propósito es hacer uso de biomasa residual para la producción de biocarbón la cual se usará en el tratamiento del agua, no obstante, las propiedades texturales de estos materiales son bajas (área específica total y volumen de poro total) y por lo cual, en dicho estudio se busca impregnar ZnO sobre biocarbón derivado de biomasa residual agrícola, de esta manera se busca mejorar su capacidad de adsorción de As (V) y Pb(II). Residuos agrícolas usados fueron derivados de mazorca de maíz y cáscara de café; la cual estos materiales pasaron por un proceso de carbonización en condiciones suaves y luego se impregnaron con ZnO mediante el método de la precipitación de esta manera se dio la preparación del biocarbón. El producto obtenido se caracterizó por sus propiedades texturales, químicas, superficiales, morfológicas y estructurales y luego se probó su capacidad de adsorción con As(V) y Pb(II) en experimentos cinéticos y de equilibrio. Los resultados obtenidos indicaron que la impregnación con ZnO de los biocarbones tanto de la mazorca de maíz como de la cascara de café mejoro su capacidad de adsorción; el biocarbón impregnado de ZnO derivado de la mazorca de maíz alcanzó una

capacidad máxima de adsorción igual a  $25,9 \frac{mg}{g}$  para el As(V) y para el Pb fue de  $25,8 \frac{mg}{g}$ . En este estudio se concluye que el biocarbón impregnado con ZnO derivado de mazorca de maíz es un candidato adsorbente adecuado para su uso en la eliminación de As y Pb del agua contaminada.

Cruz et al., (2022) realizaron una investigación titulada Carbón activado a base de residuos agrícolas impregnados con nanopartículas de quitosano mediante tratamiento hidrotermal en el que adicionaron la capacidad antibacteriana a los bioadsorbentes elaborados a partir de mazorca de maíz y semillas de mombin rojo para su aplicación en el tratamiento de agua. Para ello, desarrollaron el tratamiento hidrotermal, teniendo este un enfoque respetuoso con el medio ambiente para impregnar nanopartículas sobre un sustrato. La presencia de las nanopartículas de quitosano sobre la superficie de los carbones activados obtenidos de precursores de residuos agrícolas se verificó mediante la micrografía FESEM, la espectroscopia RAMAN y los análisis FTIR-ATR. Los resultados muestran que al agregar partículas muy pequeñas de un material llamado quitosano, se alteró cómo estaban distribuidos los agujeros en el biocarbón, mas no la superficie total de poros ni el volumen de los poros, así como también, se vio un aumento en la capacidad antibacteriana frente a *Escherichia coli* y *Shiella flexneri*.

### **2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES**

Ponce, (2023) en su tesis cuyo propósito fue evaluar la efectividad del carbón activado de la cascara de naranja como material adsorbente de plomo en soluciones acuosa a nivel laboratorio; para lo cual como parte de la metodología primero realizó la caracterización de la cascara de naranja, posterior a ello realizó la activación del biocarbón usando ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ); para finalmente evaluar su capacidad de adsorción empleando diferentes cantidades de masas de carbón activado; 0g, 0.5g, 1g, 1.5g, y 2.0g en aguas contaminadas con plomo. Como resultado, se descubrió que la cáscara de naranja tiene un

8.3747% de humedad, un 69.5052% de material volátil, un 5.7568% de cenizas y un 16.3633% de carbón fijo. En cuanto a la cantidad de adsorción y la dosis, se observó cierta variación, siendo 0g (0%), 0.5 gramos (93.371%), 1 gramo (94.455%), 1.5 gramos (93.959%), and 2 gramos (93.727%). Finalmente, en el estudio se encontró que la cantidad adecuada es de 1 gramo, ya que se absorbe en un 94.455%. También se observó una diferencia importante ( $p < 0.005$ ).

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS**

La escasez del agua expresa el estado de disponibilidad de recursos hídricos en términos de vulnerabilidad, estrés, contaminación, la cual esto ha representado un escenario alarmante para la comunidad científica (Hasan et al., 2019), así como también el problema de la contaminación del agua es una gran preocupación (Sobhani, 2022) por ende para el 2030 se prevé alcanzar el sexto objetivo de desarrollo sostenible, relacionado con Agua limpia y saneamiento. La contaminación por productos farmacéuticos, pesticidas, metales pesados y los colorantes repercuten negativamente en la vida terrestre como acuática (Issaka et al., 2022) todos estos contaminantes provienen de las fuentes antropogénicas, y por el desenfrenado aumento de la población.

Las industrias textiles representan la fuente principal de contaminación del agua, porque generan efluentes peligrosos que contienen colorantes altamente tóxicos que ocasionan graves problemas ambientales, ya que estos tienden a acumularse en el medio ambiente (Mishra et al., 2010), siendo los tintes azoicos la clase principal; estas aguas residuales que contiene colorantes también provienen de las industrias como la alimentaria, la de muebles, pinturas, etc.; no obstante, la industria textil es la que consume una gran cantidad de agua y sus aguas residuales son las que contienen altas concentraciones de contaminantes (Keskin et al., 2021), por lo que es fundamental realizar

el tratamiento eficaz de estas aguas residuales utilizando tecnologías respetuosas con el medio ambiente.

### 2.2.1.1. COLORANTES

Los colorantes se caracterizan por presentar una biodegradabilidad trivial, lo cual significa, que estos se acumulan en el medio ambiente, además de ser cancerígenos y bajo la luz solar su vida media es superior a 2000 horas (Bessy et al., 2022), la gran mayoría de estos contaminantes provienen de la industria textil, por lo que es importante que las aguas residuales provenientes de esta industria reciban un adecuado tratamiento antes de su eliminación o reutilización (Ong et al., 2014); para ello existen varios tratamientos como la electrocoagulación y nanofiltración que son procesos industriales (Tavangar et al., 2019), así como también la adsorción que es uno de los métodos de eliminación de colorantes más utilizados en soluciones acuosas (Moosavi et al., 2020)

### 2.2.1.2. MARCO LEGAL SOBRE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ

En Perú existen reglas que controlan cómo se tratan las aguas sucias para proteger el medio ambiente y la salud de las personas. A continuación, te mostramos un resumen de las reglas más importantes (Enciso et al., 2024):

**Tabla 1**  
*Reglas que controlan cómo se tratan las aguas*

<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
Ley General de Aguas (Decreto Ley N° 17752)	Establece el marco legal para el uso y protección de los recursos hídricos en el país. Incluye disposiciones sobre el tratamiento de aguas residuales.
Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338)	Regula el uso y gestión integrada de los recursos hídricos,

	promoviendo su conservación y el tratamiento adecuado de las aguas residuales.
Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (Decreto Supremo N° 001-2010-AG)	Establece las directrices para la implementación de la Ley de Recursos Hídricos, incluyendo especificaciones técnicas para el tratamiento de aguas residuales.
Norma Técnica Peruana (NTP 339.127:2005)	Especifica los criterios de calidad de agua para reuso agrícola, incluyendo los límites permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas.
Reglamento de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos (Decreto Supremo N° 015-2015-MINAGRI)	Establece las condiciones y criterios para la calidad del agua, incluyendo el tratamiento y disposición de aguas residuales.
Ley de Promoción del Tratamiento de Aguas Residuales (Ley N° 30045)	Promueve la inversión en infraestructura y tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, incentivando la reutilización de agua tratada.

*Nota.* obtenido de (Arias et al., 2024)

### **2.2.1.3. MARCO INSTITUCIONAL SOBRE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ**

El tratamiento de aguas residuales en el Perú involucra a varias instituciones, cada una con roles y responsabilidades específicas (Bravo et al., 2024):

- Ministerio del Ambiente (MINAM): Responsable de la política ambiental y supervisión de la calidad del agua. El Ministerio del Ambiente es el organismo del Poder Ejecutivo encargado de diseñar y implementar políticas ambientales en el Perú, y tiene un papel clave como marco institucional en el tratamiento de aguas residuales industriales. Entre sus funciones se encuentran el diseño y implementación de políticas

ambientales, supervisión y fiscalización del cumplimiento de las normas ambientales, y regulación de la generación y tratamiento de aguas residuales industriales, estableciendo estándares de calidad y requisitos para el tratamiento y disposición de estas aguas

- **Autoridad Nacional del Agua (ANA):** Controla cómo se utilizan y administran los recursos de agua, y también supervisa el proceso de tratamiento de aguas residuales. Es la institución principal que guía y establece las normas técnicas del Sistema Nacional de Gestión del Agua en Perú. Fue establecida por una ley llamada Decreto Legislativo N° 997 y está bajo la responsabilidad del Ministerio de Agricultura y Riego. La ANA se encarga de cuidar y proteger el agua en diferentes áreas de forma sostenible, fomentando el cuidado del agua y la buena gestión del recurso en el país.
- **Gobiernos Regionales y Municipales:** Implementan y supervisan proyectos locales de tratamiento de aguas residuales. los gobiernos regionales y municipales desempeñan un papel clave en la gestión y tratamiento de aguas residuales industriales a través de sus funciones de planificación, regulación, administración de servicios y colaboración con el gobierno nacional. Esto les permite abordar los desafíos del tratamiento de aguas residuales a nivel regional y local.
- **Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA):** Fiscaliza el cumplimiento de las normas ambientales relacionadas con el tratamiento de aguas residuales. El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental es el ente rector y máximo responsable de la fiscalización ambiental en el Perú, y su función como marco institucional en el tratamiento de aguas residuales industriales es fiscalizar el tratamiento de aguas residuales, supervisar a las Entidades de Fiscalización Ambiental (EFA), controlar y seguir el manejo de residuos

sólidos y aguas residuales, regular y normar los aspectos técnicos y sanitarios del manejo de residuos sólidos y aguas residuales, y fiscalizar y sancionar a las entidades que no cumplen con las normas ambientales relacionadas con el manejo de residuos sólidos y aguas residuales.

#### **2.2.1.4. INDUSTRIAS O FUENTES DEL AZUL DE METILENO**

El azul de metileno es un colorante ampliamente utilizado en diversas industrias, entre las cuales destacan:

- **Industria Textil:** Utilizado para teñir fibras naturales y sintéticas. La industria textil es una de las industrias más importantes en muchos países, pero también es una de las que generan mayor contaminación. Uno de los contaminantes más comunes en las aguas residuales de la industria textil es el azul de metileno, un colorante altamente resistente a la degradación microbiana y difícil de eliminar en plantas de tratamiento convencionales (Moreno et al., 2022).

#### **❖ Factores que Contribuyen a la Contaminación**

- **Uso de Colorantes:** La industria textil utiliza una gran variedad de colorantes sintéticos y naturales para teñir y dar colores a los productos textiles. Estos colorantes pueden ser tóxicos y difíciles de degradar, lo que los hace persistir en el medio ambiente y afectar a los ecosistemas.
- **Consumo de Agua:** La industria textil es una de las que consume más agua, lo que genera un gran volumen de aguas residuales que contienen contaminantes como colorantes, sales, agentes surfactantes y metales pesados.
- **Procesos de Fabricación:** Los procesos de fabricación de textiles, como el teñido, el lavado y la limpieza de máquinas, también generan contaminantes como solventes clorados, biocidas y aniones tóxicos

- Industria Farmacéutica: Empleado como antiséptico y en tratamientos médicos.
- Industria Química: Utilizado como reactivo en diversos procesos químicos.
- Laboratorios de Investigación: Empleado en biología molecular y microbiología para la tinción de muestras.

#### **2.2.1.5. INDUSTRIAS O FUENTES DE LA EOSINA**

La eosina es un colorante rojizo que también tiene múltiples aplicaciones industriales (Jawaduddin et al., 2024):

Industria Textil: Utilizada para teñir tejidos y fibras, La eosina es un colorante sintético ampliamente utilizado en la industria textil para teñir fibras como la seda, el algodón y la lana. Al igual que otros colorantes, la eosina puede ser una fuente de contaminación en las aguas residuales de la industria textil.

Algunas características clave de la eosina en relación a la contaminación textil:

La eosina es un colorante altamente soluble en agua y difícil de eliminar en plantas de tratamiento convencionales. Esto puede llevar a su acumulación en cuerpos de agua receptores.

La eosina puede ser tóxica para organismos acuáticos, afectando la vida en ríos, lagos y mares donde se descargan las aguas residuales textiles.

Los procesos de teñido y lavado en la industria textil pueden generar grandes cantidades de efluentes contaminados con eosina y otros colorantes. La eosina, al igual que otros colorantes, puede persistir en el medio ambiente y bioacumularse a través de la cadena alimenticia.

Por lo tanto, el control y tratamiento adecuado de las aguas residuales que contienen eosina es crucial para mitigar el impacto ambiental de la industria textil. Esto requiere el uso de tecnologías avanzadas de tratamiento y una mejor gestión de los procesos de producción.

Industria Cosmética: Utilizada en la fabricación de productos como rubores y labiales.

Industria Farmacéutica: Empleada como colorante en medicamentos.

Laboratorios de Investigación: Utilizada en histología para la tinción de tejidos.

#### **2.2.1.6. IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS COLORANTES**

Los colorantes pueden tener diversos impactos ambientales, incluyendo (Kim et al., 2024):

Contaminación del Agua: Los colorantes vertidos sin tratamiento pueden contaminar cuerpos de agua, afectando la flora y fauna acuáticas.

Persistencia: Los colorantes pueden ser resistentes a la degradación biológica, permaneciendo en el ambiente durante largos períodos.

Toxicidad: Pueden ser tóxicos para los organismos acuáticos, afectando su crecimiento, reproducción y supervivencia.

Estética y Transparencia: Los colorantes afectan la estética del agua y su transparencia, impidiendo la penetración de la luz y afectando la fotosíntesis de las plantas acuáticas.

Alteración de Ecosistemas: La presencia de colorantes puede alterar las propiedades fisicoquímicas del agua, afectando la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos.

Toxicidad: Algunos colorantes pueden ser tóxicos para los organismos acuáticos y terrestres.

Alteración de Ecosistemas: La presencia de colorantes puede alterar las propiedades físicas y químicas del agua, afectando los ecosistemas.

Bioacumulación: Algunos colorantes pueden acumularse en los organismos, pasando a través de la cadena alimentaria y afectando a diferentes especies.

#### **2.2.1.7. IMPACTOS A LA SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO (SST) DE LOS COLORANTES**

El manejo y exposición a colorantes en el entorno laboral pueden tener varios impactos en la salud y seguridad de los trabajadores (Tan et al., 2024):

Reacciones Alérgicas: Algunos colorantes pueden causar reacciones alérgicas al entrar en contacto con la piel o los ojos. Estas reacciones pueden incluir enrojecimiento, picazón, erupciones cutáneas, hinchazón y dermatitis. En casos graves, pueden producirse reacciones alérgicas sistémicas que requieren atención médica inmediata.

Problemas Respiratorios: Inhalar polvos de colores puede irritar los conductos de aire, causando tos, estornudos y problemas para respirar. Estar expuesto por mucho tiempo o varias veces a algo puede causar problemas en la respiración, como asma relacionada con el trabajo, alergias nasales y otras enfermedades crónicas de los pulmones.

Toxicidad Sistémica: La exposición prolongada a ciertos colorantes puede tener efectos tóxicos en varios órganos del cuerpo. Los colorantes pueden ser absorbidos a través de la piel o inhalados, llegando al torrente sanguíneo y afectando el hígado, riñones, sistema nervioso y otros órganos vitales. Los síntomas

pueden incluir náuseas, dolores de cabeza, fatiga, daño hepático, y alteraciones renales.

#### **2.2.1.8. BIOMASA**

La biomasa es una fuente inagotable de carbono, porque sus componentes orgánicos son de origen animal o vegetal, e incluso estos se pueden clasificar en biomasa virgen o residuos de biomasa. Específicamente, los residuos forestales y agrícolas como la madera, hojas, troncos, hojas, cáscaras y nueces forman parte de los desechos de biomasa que mediante técnicas de conversión termoquímica estos terminan siendo productos de valor añadido como el biocarbón sólido; que este mediante procesos químicos de activación pueda convertirse en biocarbón activado, que posee características deseables para su aplicación en el control de la contaminación (Foong et al., 2020)

Con respecto a la biomasa vegetal, este se compone principalmente de tres componentes lignocelulósicos, que es la celulosa (40-60% en peso), hemicelulosa (15-30 % en peso) y lignina (10-25 % en peso); no obstante, estas composiciones van a depender de la fuente de biomasa (Foong et al., 2020)

#### **2.2.1.9. BIOCARBÓN**

El biocarbón es un material respetuoso con el medio ambiente, además de ser económico, la cual ha demostrado tener un gran potencial para la separación de metales pesados del agua, incluso siendo superior a otros materiales como el carbón activado y los sorbentes inorgánicos en cuanto a la eficiencia de eliminación de los metales pesados tóxicos de los sistemas acuosos (Shakoor et al., 2020), esto es porque el biocarbón presenta una estructura porosa rica en carbono, que esto se produce en base a la combinación de un tratamiento térmico y la limitación del oxígeno (Yang et al., 2015).

La eficiencia de adsorción del biocarbón está relacionado a sus propiedades físico-químicas, como una gran superficie y una alta porosidad (Yaashikaa et al., 2020) esto luego de pasar por un proceso de pirolisis (temperatura, velocidad de reacción, tiempo de calentamiento, etc.); este ajuste no solo influye en la eliminación de colorantes, sino también es eficiente para tratar una amplia gama de contaminantes (Rafiq et al., 2016). El biocarbón se puede preparar a partir de numerosas biomásas rentables, como la paja de arroz, cascaras, aserrín, sorgo, semillas, malezas, entre otros (Kwapinski et al., 2010)

#### **2.2.1.10. RESIDUOS AGRÍCOLAS**

Los residuos agrícolas poseen alta proporción de celulosa y lignocelulosa, lo cual esto hace que sean propuestos como adsorbentes alternativos de bajo costo; estos residuos se clasifican como residuos de cultivo y procesamiento (Aguilar et al., 2022). Los restos más habituales de la industria de alimentos y agricultura, como granos, semillas, frutas y verduras, pueden ser muy útiles para limpiar aguas residuales contaminadas (Ibrahim & Maslehuddin, 2021)

Los productos de desechos agrícola tiene muchas ventajas, como facilidad de eliminación, alta biodegradabilidad, bajo precio y alta disponibilidad además ser sostenible y respetuoso con el medio ambiente para ser aplicado como tratamiento de las aguas residuales (Krishnan et al., 2021)

#### **2.2.2. ADSORCIÓN**

La adsorción es una operación unitaria utilizada para propósitos académicos e industriales, su aplicación es para la eliminación de compuestos recalcitrantes, como colorantes, pesticidas, metales pesados de los efluentes, para recuperar metales valiosos de lixiviados y para purificar productos durante el procesamiento industrial (Piccin et al., 2017); siendo esta una técnica que supera a otros métodos de

tratamientos, por su perspectiva económica, la accesibilidad de las materias primas y la abundancia en la variedad de estas, la flexibilidad operativa, versatilidad en el diseño, aplicabilidad sin tratamiento previo, la no generación de subproductos no deseados y la probabilidad de recuperación del adsorbente (Barquilha & Braga, 2021).

La adsorción es la interacción entre biocarbón y especies de adsorbato, que se da mediante diversos mecanismos como las fuerzas de Van der Waals, interacciones electrostáticas, complejidad de superficies, intercambio iónico, interacciones hidrófobas, interacciones  $\pi$ , coprecipitación, partición y relleno de poros (Bonilla et al., 2017).

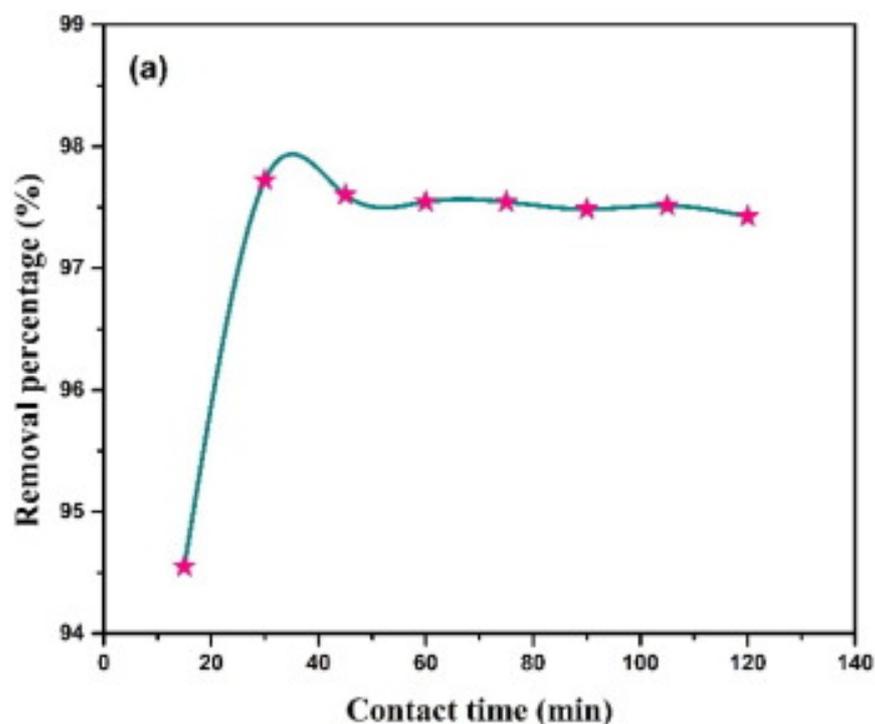
### **2.2.2.1. FACTORES INFLUYENTES EN LA ADSORCIÓN**

#### **a. Efecto del tiempo de contacto y concentración inicial del adsorbato**

La eficiencia de adsorción este ligado al tiempo de contacto y concentración inicial del colorante o contaminante, además que en ello también influye la disponibilidad de sitios activos del biocarbón, ya que la eliminación o adsorción es constante durante el tiempo de contacto hasta alcanzar el equilibrio o saturar la superficie del adsorbente (Pinky et al., 2023)

**Figura 1**

*Efecto de tiempo de contacto en el porcentaje de remoción*

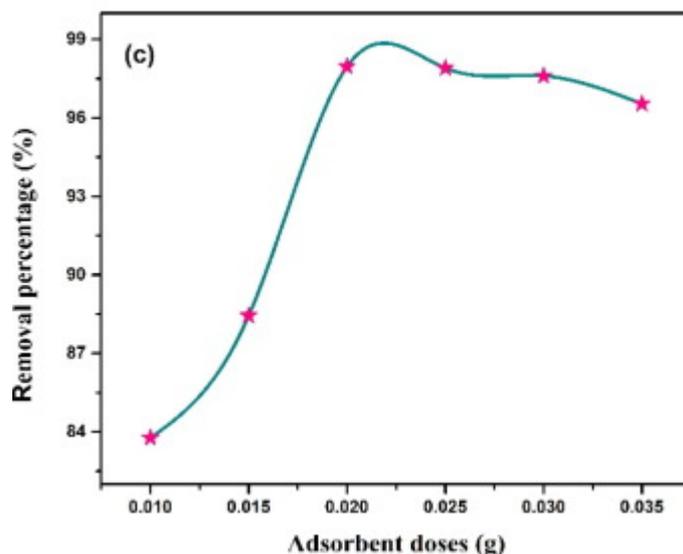


*Nota.* Tomado de (Pinky et al., 2023)

### **b. Efecto de la dosis de adsorbente**

El porcentaje de eliminación es proporcional al aumento de la dosis del adsorbente, no obstante, esto no significa que se va alcanzar una eficiencia total de eliminación en caso se da un aumento adicional de la dosis del adsorbente; ya que esto va a depender de los sitios activos disponibles para que el colorante o contaminante fuera adsorbido en la superficie del adsorbente; por el contrario con el exceso de dosis existe la posibilidad de que se agreguen partículas adsorbentes, lo que conducirá a sitios de unión limitados; así como también una vez alcanzado el equilibrio la tasa de eliminación disminuye (Shirmardi et al., 2016)

**Figura 2**  
*Efecto de la dosis del adsorbente*



*Nota.* (Pinky et al., 2023)

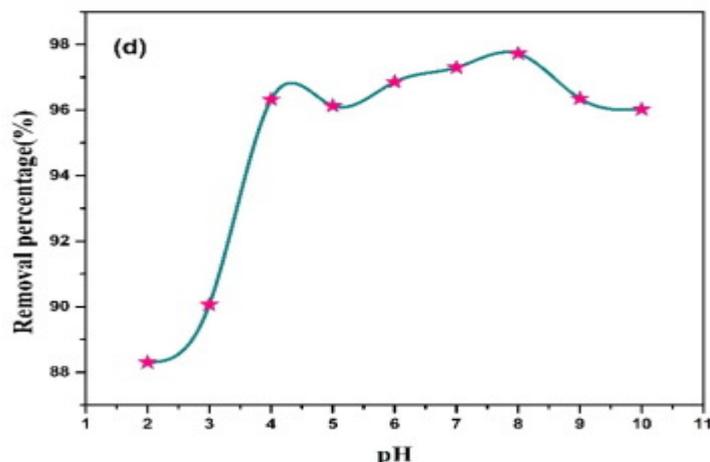
### **c. Efecto del pH**

La interacción entre adsorbente y adsorbato depende de la medida de pH de la solución. Pinky et al.,(2023) en su estudio nos menciona que con un aumento de pH de 2 a 4; el porcentaje de eliminación también aumentó bruscamente. Sin embargo, si el aumento del pH es muy significativo lo que se produce es una caída del porcentaje de eliminación

Con respecto a lo mencionado anteriormente; a un pH más bajo, la concentración de iones  $H^+$  es alta y los sitios tensioactivos se protonan, lo cual esto deja a la superficie del biocarbón con iones positivos, condiendo a la repulsión eléctrica entre colorante catiónico y el adsorbente. Cuando el pH sube, los sitios activos se vuelven más negativos, lo que ayuda a que las moléculas del colorante se adhieran mejor a la superficie del adsorbente. (Nath et al., 2021).

**Figura 3**

*Efecto del pH para la adsorción del colorante*



Nota. (Pinky et al., 2023)

#### **d. Isotermas de adsorción**

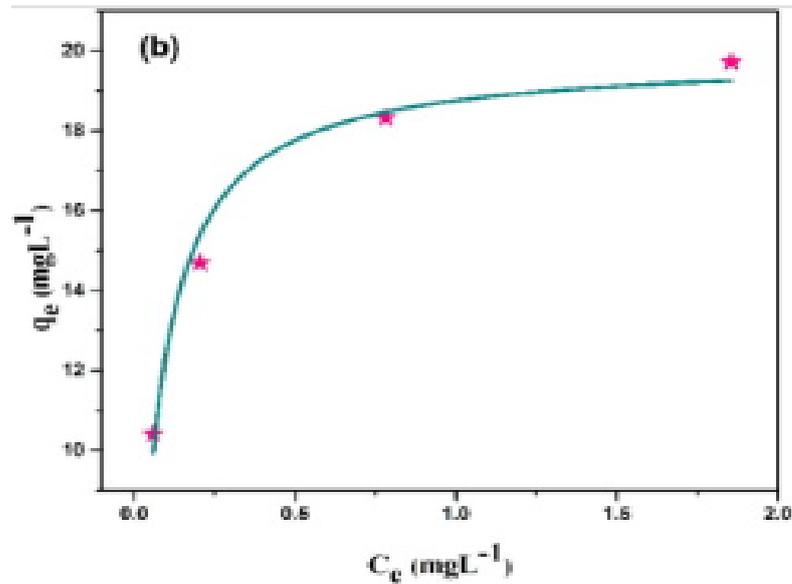
Los modelos isotérmicos son importantes, ya que proporcionan información con respecto a la eficiencia, la favorabilidad, mecanismos y la afinidad de la adsorción entre el adsorbato y el adsorbente (Wang et al., 2018). Existen diferentes modelos de isotermas como Langmuir, Freundlich, Temkin y Dubinin-Radushkevich.

Con respecto al modelo de Langmuir Lavado et al., (2010) Se dice que en este modelo, la sustancia se adhiere de manera uniforme en los lugares activados de la superficie del material que la absorbe, creando una capa delgada y sin que las moléculas que se adhieren interactúen entre sí, dicho modelo se expresa mediante la ecuación (1), siendo este su forma no lineal de representarlo.

$$q_e = \frac{q_{max}k_L C_e}{1+k_L C_e} \quad (1)$$

Donde  $C_e$  representa la concentración del colorante en equilibrio ( $mgL^{-1}$ );  $q_e$  es la cantidad adsorbida en equilibrio ( $mgg^{-1}$ );  $q_{max}$  es la capacidad máxima de adsorción del biocarbón y  $k_L$  es la constante de Langmuir. La figura 4 es correspondiente al modelo de isoterma de Langmuir.

**Figura 4**  
*Forma no lineal del modelo de isoterma de Langmuir*



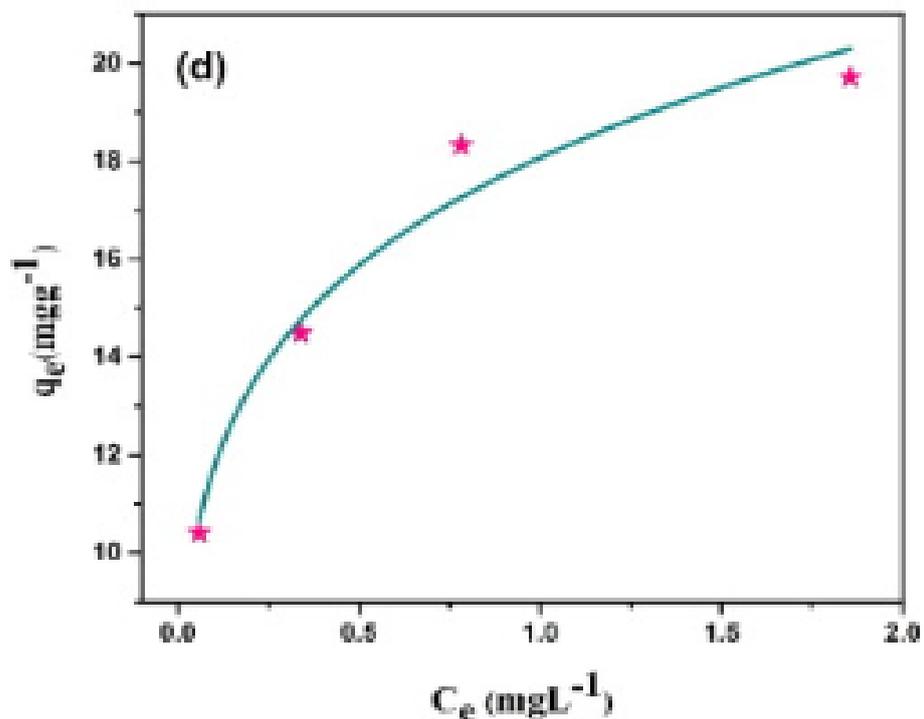
Nota. (Pinky et al., 2023)

El modelo de la isoterma de Freundlich se expresa mediante la ecuación (2); la cual considera que las energías de adsorción son heterogéneas y varían de acuerdo a la superficie cubierta (Lavado et al., 2010); lo cual esto se refiere a la adsorción en múltiples sitios y que no presenta una barrera energética.

$$q_e = k_F(c_e)^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

Donde las constantes  $k_F$  y  $n$  se refieren a la capacidad de adsorción e intensidad de adsorción, respectivamente. Estas constantes son características del sistema adsorbente/adsorbato (Balanta et al., 2010). La figura 5, muestra el comportamiento del modelo de isoterma de Freundlich.

**Figura 5**  
*Forma no lineal del modelo de isoterma Freundlich*



Nota. (Pinky et al., 2023)

### e. Cinética de adsorción

La cinética de adsorción brinda información con respecto a la velocidad de reacción, el paso de control de velocidad y el mecanismo de adsorción (Anastopoulos & Kyzas, 2014). Existen diferentes modelos cinéticos como el de pseudoprimer y segundo orden, Elovich y de difusión intrapartícula.

El modelo cinético de pseudo primer orden hace referencia que el mecanismo de adsorción está relacionado con la teoría de la difusión de membrana; y esta teoría está vinculado a la variación entre la capacidad de adsorción en equilibrio y la cantidad de adsorbato con el tiempo; y además de que en este modelo la adsorción es física (Ho & McKay, 1999) y se expresa de acuerdo a la ecuación (3).

$$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t}) \quad (3)$$

Aquí  $q_t$  representa la cantidad adsorbida en el momento  $t$  ( $mg g^{-1}$ );  $q_e$  es la cantidad adsorbida en equilibrio ( $mg g^{-1}$ ); y  $k_1$  es la constante de velocidad del modelo cinético de pseudo primer orden ( $g mg^{-1} min^{-1}$ ).

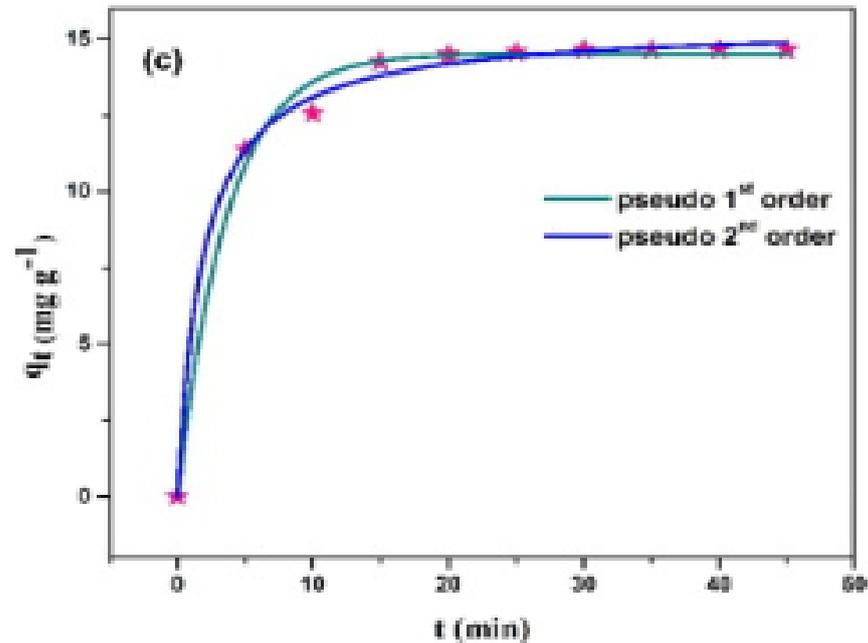
En el modelo cinético de pseudo segundo orden la tasa de sorción es recíproco a la tasa de adsorción, la cual incluye la difusión por membrana, adsorción superficial y difusión de partículas; en la cual se da la reacción química entre el adsorbente y el adsorbato, describiendo el mecanismo de adsorción química (Ho & McKay, 1999).

El modelo cinético de pseudo segundo orden se expresa mediante la ecuación (4), donde  $K_2$  representa la constante de velocidad del modelo cinético pseudo segundo orden, que se obtiene a partir de la intersección y pendiente de la gráfica de  $t/q_t$  vs  $t$  (Núñez et al., 2017). En la figura 6 Pinky et al., (2023) nos describe el ajuste no lineal del modelo cinético de pseudoprimer y pseudosegundo orden.

$$q_t = \frac{K_2 q_e^2 t}{1 + K_2 q_e t} \quad (4)$$

**Figura 6**

*Ajuste no lineal del modelo cinético de pseudoprimer y pseudosegundo orden*



*Nota.* (Pinky et al., 2023)

### 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **Adsorción:** es cuando ciertas sustancias se concentran en la superficie de un material sólido debido a la fuerza que las empuja hacia allí. Estas sustancias se unen a puntos específicos del material sólido a través de enlaces físicos o químicos.
- **Bioadsorción:** es una danza química fascinante que abarca la danza entre la adsorción y la absorción de moléculas e iones. Este innovador enfoque persigue principalmente eliminar metales pesados y otras sustancias de las aguas residuales industriales, empleando como sorbente diversos materiales biológicos, ya sean vivos o muertos.
- **biomasas inertes:** Son materiales que vienen de microorganismos, algas, plantas, desechos de biomasa, productos de la industria agrícola o ciertos polímeros naturales. Son mejores que las plantas vivas para tratar aguas con mucha cantidad de arsénico, además, son fáciles de obtener y más baratas.

- **Biomasa Vivas:** Es el entramado de criaturas vivientes que habitan un entorno específico. Puede abarcar diminutas criaturas, vegetales o criaturas vivientes. La biomasa puede abarcar tanto la masa de especies individuales como la masa de todas las especies que conforman la comunidad.
- **Efluentes:** Es un desecho gaseoso, líquido, sólido o una mezcla de estos que se desliza hacia un destino específico. Los desechos humanos surgen cuando las acciones humanas con el agua provocan transformaciones físicas, químicas y biológicas en las propiedades esenciales del líquido vital.
- **Residual:** Son líquidos contaminados provenientes de desechos diversos, tanto domésticos como industriales, en su mayoría. Así, descubrimos que las aguas residuales pueden albergar contaminantes provenientes de residuos urbanos o industriales.
- **Biomateriales:** Pueden ser hechos por el ser humano (como metales, cerámicas, plásticos) o de origen natural (como colágeno, quitina, entre otros). Dependiendo del tipo de material artificial usado para hacer un implante, se pueden clasificar en cerámicos, metálicos, poliméricos o compuestos.
- **Tintes Sintéticos:** son sustancias artificiales que se producen en laboratorios mediante reacciones químicas para dar color a diversos materiales, como textiles, papel, plásticos y alimentos. Son más vibrantes y duraderos que los tintes naturales, pero están hechos de productos químicos y pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente.
- **Adsorción en la fase líquida:** Es un proceso físico que ocurre cuando una sustancia en forma líquida o gaseosa se pega a la superficie de un material sólido al entrar en contacto, debido a una fuerza física. Este proceso no implica que se intercambien electrones, por lo que se puede revertir.

## **2.4. HIPÓTESIS**

### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

**Hi:** la biomasa de origen agrícola como adsorbente de colorantes es eficaz para remover los colorantes de las aguas residuales, Huánuco - 2024.

**Ho:** la biomasa de origen agrícola como adsorbente de colorantes no es eficaz para remover los colorantes de las aguas residuales, Huánuco - 2024.

## **2.5. VARIABLES**

### **2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE**

Aguas residuales contaminadas por colorantes.

### **2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Biomasa de origen agrícola como adsorbente.

## 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	dimensión	Indicadores	Valor Final	instrumento	variable
<b>Variable dependiente:</b> aguas residuales contaminadas por colorantes.	aguas residuales que contienen tintes y pigmentos provenientes de diferentes actividades industriales, domésticas o agrícolas. Estos colorantes pueden ser naturales o sintéticos y pueden provenir de una variedad de fuentes, incluyendo la industria textil, cosmética, farmacéutica, y de alimentos	aquellas aguas que presentan niveles específicos de colorantes determinados mediante técnicas analíticas (espectrofotometría UV-Vis, HPLC) en muestras recogidas de puntos de descarga industrial	colorantes	Azul de metileno	mg/L	Análisis de laboratorio	Continua
				Eosina	mg/L		
				conductividad	mS/cm		
				pH	Unid.		
<b>Variable Independiente:</b> biomasa de origen agrícola	uso de residuos agrícolas, tales como cáscaras de	residuos agrícolas preparados para adsorber contaminantes de	Biomasa	Bagazo de caña	kg.	Guía de observación	Continua
				SST	mg		

---

como adsorbente.	frutas, bagazo de caña, paja de arroz, entre otros, como materiales para la adsorción de contaminantes en soluciones acuosas	soluciones acuosas. Su capacidad de adsorción se mide mediante ensayos que determinan la cantidad de contaminante adsorbido por unidad de masa de biomasa bajo diferentes condiciones experimentales
------------------	--	--

---

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIACIÓN**

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

De acuerdo con la intervención del científico: se categoriza en un grupo intervenido, ya que se examinaron los hallazgos. De acuerdo con la cantidad de variables analíticas: se define como un tipo de variable analítico, ya que abarca más que una sola. De acuerdo con la cantidad de medidas realizadas en las variables analizadas: estudio longitudinal, ya que se analizó la variable reiteradamente. De acuerdo con la vigilancia de los datos sobre la variable analizada: se realizó un análisis prospectivo, ya que se recopilaron datos en el presente. (Supo & Zacarías, 2020).

##### **3.1.1. ENFOQUE**

Este estudio se enfocó en la cuantitativa, abordando un desafío específico y preciso, utilizando la estadística para desentrañar los datos. (Supo & Zacarías, 2020)

##### **3.1.2. ALCANCE O NIVEL**

El análisis se despliega en el ámbito aplicativo. Supo & Zacarías (2020) destacan que el enfoque aplicado de la variable evaluativa fue intervencionista, con el propósito de transformar de manera positiva la vida de la población analizada. Esta intervención fue meticulosamente orquestada y se llevó a cabo un minucioso análisis de los resultados esperados para evaluar su efectividad.

##### **3.1.3. DISEÑO**

El diseño experimental es cuando se controla una situación para cambiar una o más causas y ver cómo afecta a uno o más efectos. (Hernández et al., 2014). Por eso, el diseño fue de prueba ya que cambiaron factores que afectan otros y observaron los resultados de estos cambios.

$GE_1: O_1 \dots \dots x_1 \dots \dots O_2$

$GE_1$ : Grupo de estudio

$O_1$ : Análisis inicial

$O_2$ : Análisis final

$x_1$ : Intervención biomasa

## **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.2.1. POBLACIÓN**

Es el grupo de todos los elementos de la misma clase que comparten una característica específica o que se ajustan a una misma descripción y cuyas características y relaciones han sido estudiadas (Lerma, 2009). La cantidad de personas se calculó según la cantidad de agua sucia que se probó en el laboratorio.

### **3.2.2. MUESTRA**

Para el estudio, se realizaron 8 pruebas diferentes con repeticiones, lo que suma un total de 8 pruebas. Se simuló agua contaminada en un laboratorio, utilizando muestras de 1000 ml cada una. Con repeticiones en cada intento.

## **3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Se usaron mazorcas de maíz y bagazo de caña para hacer el filtro. Se recolectaron datos experimentales en un laboratorio acreditado.

### **3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

Para obtener la muestra, se siguieron las directrices dictadas por las regulaciones de calidad de aguas residuales domésticas o municipales, respaldadas por la R.M. N° 273-2013-Vivienda.

**Tabla 2**  
*Simulación del agua contaminada de colorantes*

Muestra de agua simulada	% de colorante en agua	Rélicas
		R <sub>1</sub>
X <sub>1</sub>	2.5 %	G <sub>1</sub>
X <sub>2</sub>	5 %	G <sub>2</sub>
X <sub>3</sub>	7.5 %	G <sub>3</sub>
X <sub>4</sub>	10 %	G <sub>4</sub>
X <sub>5</sub>	2.5 %	G <sub>5</sub>
X <sub>6</sub>	5 %	G <sub>6</sub>
X <sub>7</sub>	7.5 %	G <sub>7</sub>
X <sub>8</sub>	10 %	G <sub>8</sub>

*Nota.* (Rossatto et al., 2024), Facile synthesis of a novel, efficient, reusable inorganic adsorbent from volcanic rock powder wastes and its application for the removal of dyes and metals from water.

### 3.3.2. PREPARACIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS

Su propósito fue incluir todos los componentes fundamentales para obtener un seguimiento efectivo, por ello es de mucha importancia preparar con anticipación los diversos elementos de trabajo, tampones de pH, formatos (cadena de custodia, registro de datos de campo y etiquetas de los muestrarios de agua residual). De igual forma, debió contarse, pero no limitarse a los equipos y materiales para la toma de muestras y debidamente calibrados, tal como se describe a continuación.

#### **Materiales:**

- Pizetas
- Aguas destiladas y/o desionizadas
- Pipetas
- Cronómetros
- Relojes
- Cintas métricas
- Vasos o probetas graduados de 1 L

- Papeles aluminios
- Frasco debidamente etiquetado
- Caja térmica (pequeñas y grandes)
- Hielos u otros refrigerantes
- Bolsa de poli burbuja u otros materiales de embalajes adecuados
- Ficha de registros de campos
- Cadenas de custodias
- Papeles secantes
- Cintas adhesivas
- Plumones indelebles

### **3.3.3. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS**

- Escrutinio de información: Se revisaron minuciosamente los instrumentos de investigación, asegurando que los hallazgos alcanzados sean consistentes y de confianza.
- Encapsulación de información: Los hallazgos se convirtieron en enigmas numéricos.
- Elaboración de datos: tras la revisión y codificación de los datos, se llevó a cabo una tabla matriz tangible, que se transformará en una base de datos digital mediante Excel 2023; y, finalmente, se llevó a cabo el análisis de los datos empleando el paquete estadístico IBM SSPS Versión 26.0 para Windows.
- Estrategia para organizar información: A partir de los hallazgos, se organizaron los datos en cuadros estadísticos.
- Exposición de información: Los hallazgos se plasman en tablas y figuras académicas, con el propósito de llevar a cabo el escrutinio y interpretación adecuada de cada uno, siguiendo el prisma teórico y conceptual de las variables analizadas en el estudio.

### **3.3.4. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS**

Para llevar a cabo el análisis de datos en este estudio, se emplearon herramientas como SPSS y Excel. El análisis se llevará a cabo utilizando medidas de resumen, como las dispersiones, y se emplearán fichas técnicas para evaluación continua y una libreta de campo para la evaluación continua.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

**Tabla 3**

*Niveles del colorante azul de metileno antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes*

	% colorante	Momento de intervención	
		Pre	Post
		Media	Media
<b>Azul de metileno</b>	2.5%	1,900	,003
	5%	4,700	,006
	7.5%	7,500	,008
	10%	11,000	,010

En la tabla 3 se describe los niveles de colorante azul de metileno según las proporciones (%) de colorante utilizado para la adsorción de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas. Observando una disminución significativa post intervención; con mayor reducción al usar 2,5% y menor con 10%.

**Concentración del 2.5%:** La concentración inicial de azul de metileno fue de 1,900 ppm, que se redujo drásticamente a 0,003 ppm después de aplicar la biomasa. Esto indica una remoción casi total del colorante, lo que sugiere una alta eficacia del adsorbente a esta baja concentración de contaminante.

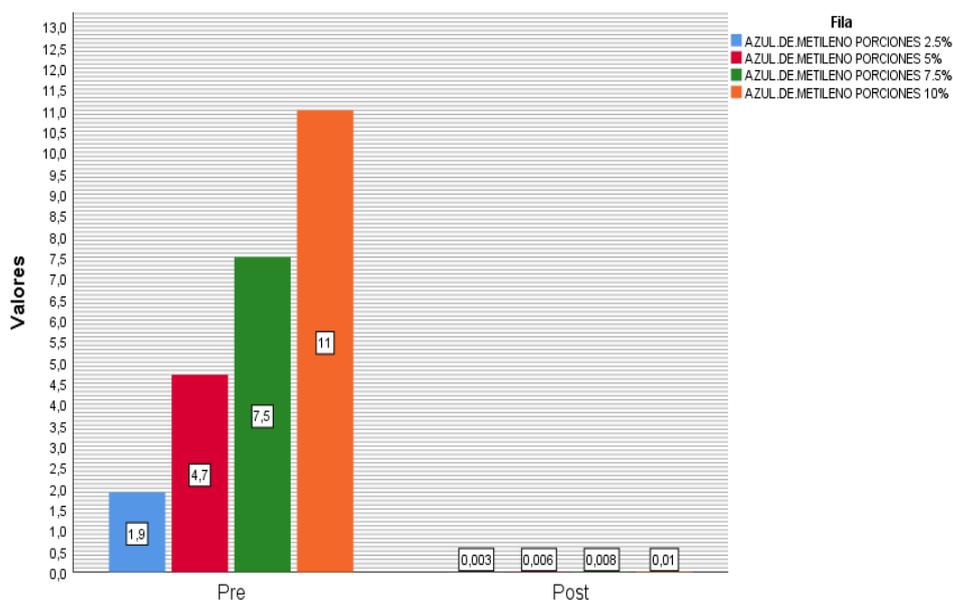
**Concentración del 5%:** En esta concentración, la biomasa redujo la concentración del azul de metileno de 4,700 ppm a 0,006 ppm. Aunque la reducción no fue tan drástica como en la concentración del 2.5%, los resultados siguen siendo muy positivos, mostrando que la biomasa mantiene una alta capacidad de adsorción incluso a una concentración media de contaminante.

**Concentración del 7.5%:** Con una concentración inicial de 7,500 ppm, la aplicación de la biomasa logró reducir la concentración del azul de metileno a 0,008 ppm. Esta reducción significativa refuerza la eficacia del adsorbente, mostrando su capacidad para manejar concentraciones más elevadas de contaminante.

Concentración del 10%: A la concentración más alta evaluada, de 10% de agua contaminada, se observó una disminución de la concentración de azul de metileno desde 11,000 ppm a 0,010 ppm. A pesar de la alta concentración inicial, la biomasa mostró una gran eficacia, logrando una remoción considerable del colorante.

### Gráfico 1

*Niveles del colorante azul de metileno antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes*



En la grafico 1 se observa una disminución significativa de la concentración de azul de metileno en aguas residuales tras el tratamiento con biomasa, mostrando una alta eficacia del adsorbente en todas las concentraciones evaluadas. A una concentración de colorante del 2.5%, la biomasa redujo la concentración inicial de 1,900 ppm a 0.003 ppm, evidenciando una remoción casi total. En concentraciones mayores, como el 5% y 7.5%, las reducciones fueron de 4,700 ppm a 0.006 ppm y de 7,500 ppm a 0.008 ppm, respectivamente, manteniendo una elevada capacidad de adsorción. Incluso en la concentración más alta del 10%, donde el azul de metileno inició en 11,000 ppm, se logró reducir a 0.010 ppm. Estos resultados demuestran la eficiencia de la biomasa para adsorber el colorante, especialmente en concentraciones bajas a medias, logrando una remoción efectiva del contaminante en diversas condiciones.

**Tabla 4**

*Niveles de colorante eosina antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes*

	% colorante	MOMENTO	
		Pre	Post
		Media	Media
Eosina	2.5%	1,900	,009
	5%	4,700	,010
	7.5%	7,500	,020
	10%	11,000	,050

En la tabla 4 describe los niveles de colorante eosina según las proporciones (%) de colorante utilizado para la adsorción de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas. Observando una disminución significativa post intervención; observando mayor disminución con 2,5% y menor disminución con 10%.

Concentración del 2.5%: La biomasa mostró una alta eficacia en la adsorción de eosina, reduciendo su concentración desde 1,900 ppm a solo 0,009 ppm. Este resultado sugiere que la biomasa es muy efectiva para eliminar la eosina en bajas concentraciones de agua contaminada.

Concentración del 5%: La concentración de eosina disminuyó significativamente tras la aplicación de la biomasa, pasando de 4,700 ppm a 0,010 ppm. Aunque la reducción no fue tan drástica como en la concentración del 2.5%, la biomasa sigue siendo muy efectiva en esta concentración intermedia.

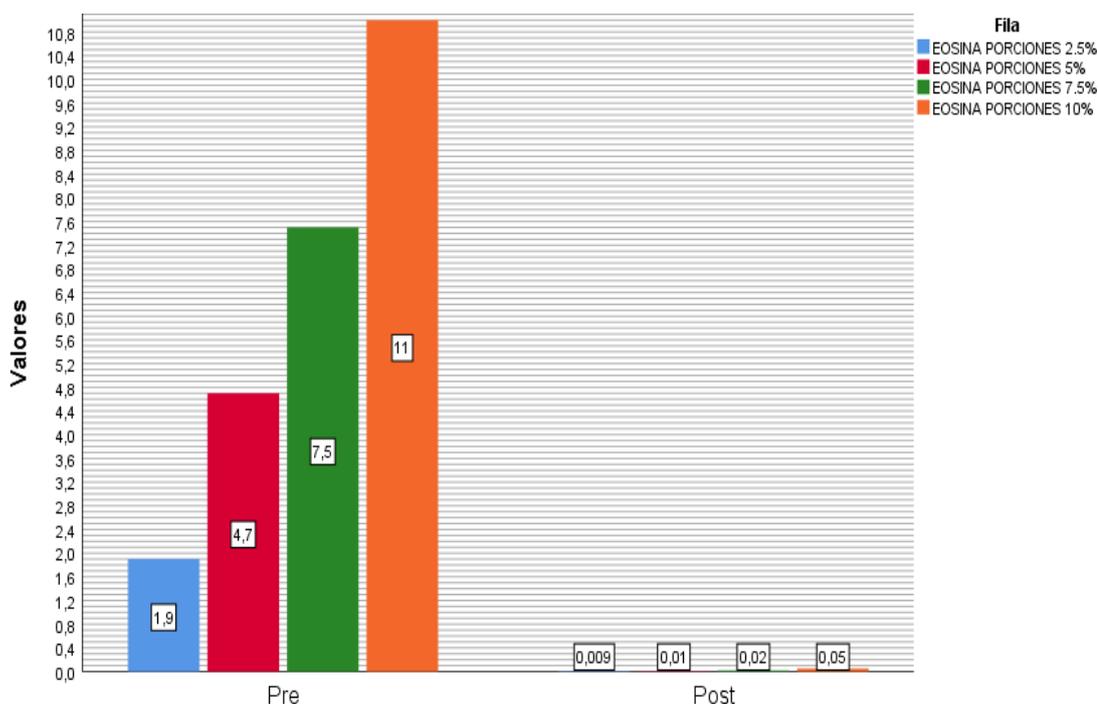
Concentración del 7.5%: A una concentración inicial de 7,500 ppm, la biomasa logró reducir la eosina a 0,020 ppm. Este resultado indica que, aunque la eficacia del adsorbente disminuye ligeramente a medida que aumenta la concentración de eosina en el agua, la biomasa aún es capaz de adsorber una cantidad considerable del colorante.

Concentración del 10%: En la concentración más alta evaluada (10%), la biomasa redujo la concentración de eosina de 11,000 ppm a 0,050 ppm. Aunque la eficacia de la adsorción es menor en comparación con

concentraciones más bajas, la biomasa demuestra un rendimiento significativo en la remoción del colorante, incluso en niveles elevados de contaminación.

### Gráfico 2

*Niveles de colorante eosina antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes*



En el gráfico 2 muestra una disminución significativa en los niveles de eosina en aguas residuales tras el tratamiento con biomasa, con mayor eficacia observada en concentraciones de colorante más bajas. A una concentración de 2.5%, la biomasa redujo la eosina de 1,900 ppm a 0.009 ppm, logrando casi una eliminación total del colorante. En concentraciones de 5% y 7.5%, las reducciones fueron de 4,700 ppm a 0.010 ppm y de 7,500 ppm a 0.020 ppm, respectivamente, manteniendo una alta capacidad de adsorción. En la concentración más elevada de 10%, la eosina disminuyó de 11,000 ppm a 0.050 ppm. Estos resultados resaltan la eficacia de la biomasa para adsorber eosina, especialmente en bajas concentraciones, y su capacidad para manejar niveles más altos de contaminación, aunque con una ligera reducción en su efectividad a concentraciones crecientes.

**Tabla 5**

*Parámetros químicos del agua residual antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes*

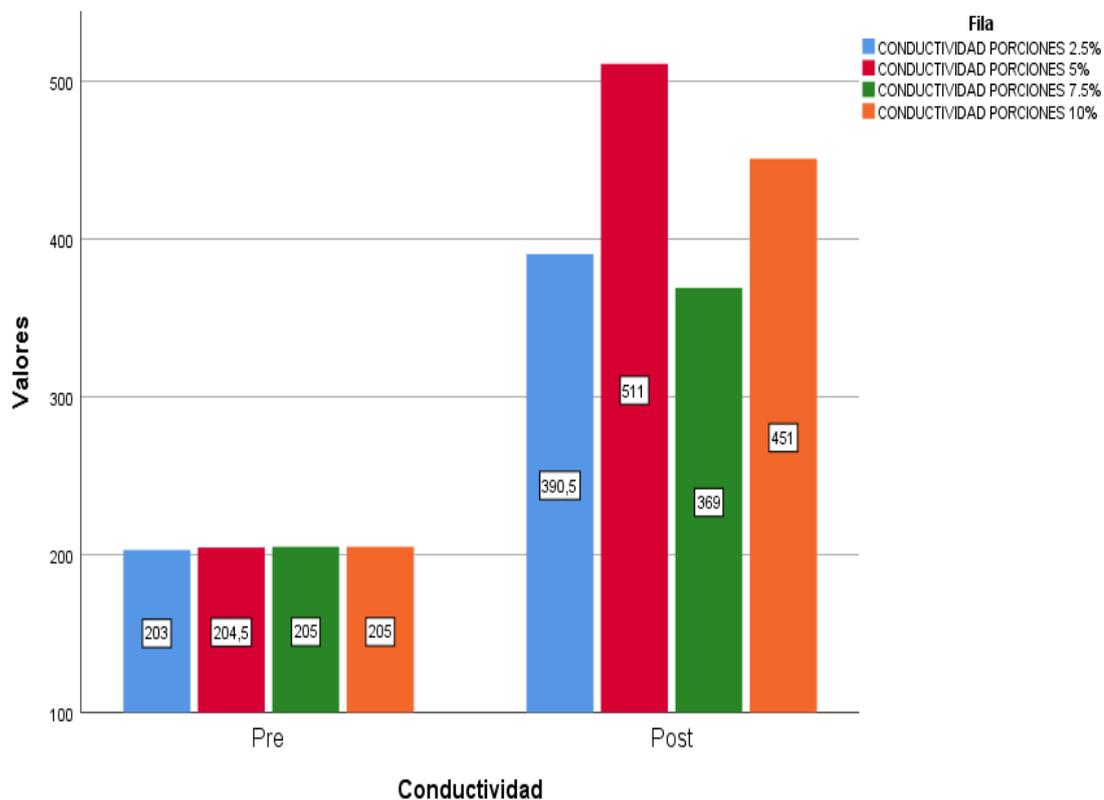
	% colorante	Momento de intervención	
		Pre	Post
		Media	Media
Conductividad	2.5%	203	391
	5%	205	511
	7.5%	205	369
	10%	205	451
Ph	2.5%	7,86	5,43
	5%	7,96	4,94
	7.5%	8,02	4,87
	10%	8,06	4,54
SST	2.5%	104	191
	5%	103	256
	7.5%	102	186
	10%	103	227

En la tabla 5 se describe los parámetros químicos del agua residual en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales tras el uso de biomasa de origen agrícola; observando disminución significativa post intervención en el pH del agua con el 10% obteniendo 4,54.

La aplicación de la biomasa de origen agrícola parece tener un impacto significativo en la calidad del agua residual contaminada, especialmente en términos de conductividad, pH, y sólidos suspendidos totales (SST). La conductividad aumentó en todas las concentraciones, lo que sugiere que la biomasa podría estar liberando iones en el agua. El pH disminuyó considerablemente, indicando un posible efecto acidificante de la biomasa. Finalmente, los SST también aumentaron, lo que podría estar relacionado con la liberación de partículas sólidas por parte de la biomasa. Estos resultados sugieren que, aunque la biomasa puede ser efectiva en la adsorción de ciertos contaminantes, también podría introducir cambios en otras propiedades fisicoquímicas del agua que deben ser considerados en aplicaciones prácticas

### Gráfico 3

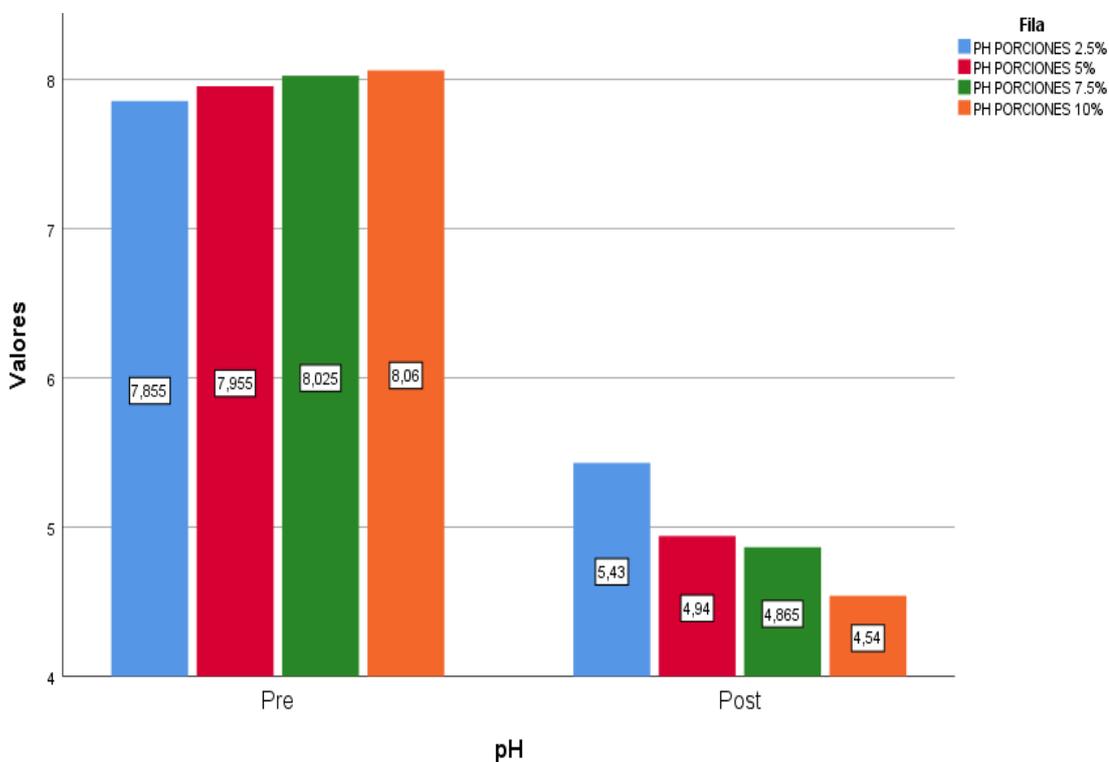
Parámetro de conductividad del agua residual antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes



En el gráfico 3 se muestra que la conductividad del agua residual aumenta de manera consistente después del tratamiento con biomasa en todas las concentraciones de colorante evaluadas. Esto sugiere que el proceso de adsorción con biomasa puede liberar ciertos iones o sales al agua, incrementando su capacidad para conducir electricidad. Por ejemplo, en la concentración del 2.5% de colorante, la conductividad pasa de 203  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 391  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mientras que en la concentración del 5% alcanza un incremento significativo de 205  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 511  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Este comportamiento es característico de los procesos en los que materiales orgánicos interactúan con el agua, liberando compuestos que contribuyen a una mayor conductividad.

#### Gráfico 4

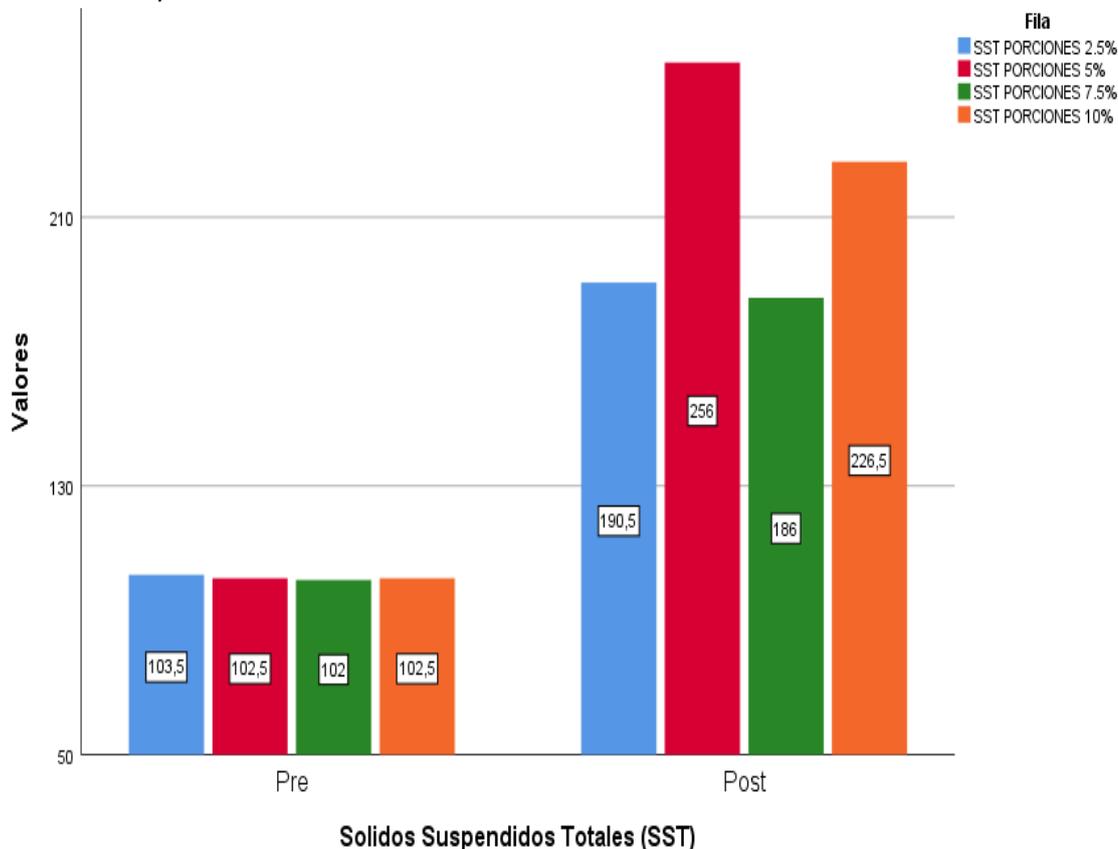
Parámetro de pH del agua residual antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes



En el gráfico 4 el tratamiento con biomasa reduce notablemente el pH del agua residual, indicando un aumento en la acidez después de la adsorción de colorantes. En todas las concentraciones de colorante, se observa esta disminución: para el 2.5%, el pH baja de 7.86 a 5.43, y en el 10%, el pH pasa de 8.06 a 4.54. Estos resultados sugieren que la biomasa puede liberar compuestos ácidos o alterar el equilibrio de iones en el agua, aumentando así su acidez. La disminución del pH es un efecto importante a considerar, pues puede influir en la aplicabilidad del agua tratada en distintos contextos.

### Gráfico 5

Parámetro de SST del agua residual antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes



En el gráfico 5 los niveles de sólidos suspendidos totales (SST) aumentan de manera considerable en todas las concentraciones de colorante tras el tratamiento, lo cual podría ser el resultado de la liberación de partículas por la biomasa durante la adsorción. En la concentración de 5%, el SST incrementa de 103 mg/L a 256 mg/L, siendo este el mayor aumento. Este incremento sugiere que el tratamiento con biomasa, aunque efectivo en la adsorción de colorantes, introduce partículas adicionales en el agua, las cuales permanecen en suspensión. Estos cambios en los SST resaltan la necesidad de pasos adicionales de clarificación para lograr una mayor calidad en el agua tratada.

#### 4.1. ANÁLISIS INFERENCIAL

**Tabla 6**

*Comparación de medias de la eficacia de la biomasa de origen agrícola como adsorbente de colorantes de aguas residuales contaminadas por colorantes, Huánuco - 2024*

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias
Azul de metileno	2,681	7	,031	3,890125
Eosina	2,119	7	,072	3,148625

En la tabla 6 se describe la comparación de medias de la eficacia de la biomasa de origen agrícola en las muestras utilizadas; observando una significancia  $< 0,05$  ( $0,031$ )  $t = 2,681$  en el azul de metileno. Por tal, la biomasa de origen agrícola como adsorbente de colorantes es eficaz para remover los colorantes de las aguas residuales.

La prueba t de Student mostró que la diferencia en la concentración de azul de metileno antes y después de la intervención con la biomasa es estadísticamente significativa ( $p = 0,031$ ). Esto indica que la biomasa utilizada es efectiva para remover el azul de metileno de las aguas residuales.

La reducción observada en la concentración de azul de metileno, junto con la significancia estadística, apoya la hipótesis de que la biomasa es un adsorbente eficaz para este colorante.

Aunque se observó una reducción en la concentración de eosina después de la intervención, esta no fue estadísticamente significativa ( $p = 0,072$ ). Esto sugiere que, aunque la biomasa tiene cierto efecto en la remoción de eosina, no se puede afirmar con certeza que sea eficaz bajo las condiciones del experimento.

Por lo tanto, aunque la biomasa es eficaz para remover algunos colorantes (como el azul de metileno), su eficacia puede variar según el tipo de colorante. Estos resultados sugieren la necesidad de más estudios para confirmar la eficacia de la biomasa en la remoción de otros colorantes como la eosina.

**Tabla 7**

*Comparación de medias de la eficacia de la biomasa de origen agrícola como adsorbente de colorantes en parámetros químicos de aguas residuales contaminadas por colorantes, Huánuco - 2024*

	<b>t</b>	<b>gl</b>	<b>Sig. (bilateral)</b>	<b>Diferencia de medias</b>
Conductividad	9,262	15	,000	317,375
pH	16,217	15	,000	6,45875
SST	9,297	15	,000	158,688

En la tabla 7 se describe la comparación de medias de la eficacia de la biomasa de origen agrícola en los parámetros químicos de aguas residuales; observando una significancia  $< 0,05$  (0,000) en la conductividad, pH y SST. Por tal, se deduce la efectividad como adsorbente de colorantes.

Los resultados indican que la intervención con la biomasa de origen agrícola tiene un impacto significativo en la conductividad, el pH y los sólidos suspendidos totales (SST) de las aguas residuales:

**Conductividad:** La biomasa aumenta significativamente la conductividad del agua, lo que puede estar relacionado con la liberación de iones por la biomasa.

**pH:** La biomasa provoca un cambio significativo en el pH, sugiriendo un efecto acidificante o alcalinizante en el agua.

**SST:** La biomasa incrementa los niveles de sólidos suspendidos totales, indicando que podría estar liberando partículas o sólidos en suspensión.

Estos resultados sugieren que, además de su efecto en la remoción de colorantes, la biomasa también afecta otras propiedades fisicoquímicas del agua. Es importante considerar estos cambios al evaluar la aplicación de la biomasa para el tratamiento de aguas residuales, ya que pueden influir en la calidad del agua tratada.

## CAPITULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente estudio tiene como objetivo de evaluar la eficacia de la biomasa de origen agrícola como adsorbente de colorantes de aguas residuales contaminadas por colorantes.

Siendo un desafío crítico debido a la toxicidad y persistencia de estos compuestos en el ambiente. La adsorción es uno de los métodos más efectivos para la eliminación de colorantes, y la biomasa de origen agrícola ha emergido como un adsorbente prometedor debido a su bajo costo y abundancia.

Encontrando significancia en la efectividad de la biomasa de origen agrícola para la reducción del colorante azul de metileno con un p-valor  $< 0,05$  (0,031).

Concordando con Xue et al., (2022) quienes mencionan que los adsorbentes obtenidos a partir de biomazas pueden mostrar una estructura de poro desarrollada y una alta área de superficie específica con diversos grupos funcionales dependiendo del protocolo de activación y estos adsorbentes se pueden preparar mediante procedimientos simples.

Holliday et al. (2024) El experimento con hojas de guisante verde reveló una capacidad de absorción teórica de 167 mg/g, siendo los modelos de isoterma de Freundlich y cinético de pseudosegundo orden los que ofrecieron el ajuste más óptimo. Estos hallazgos subrayan la extraordinaria eficacia de las hojas de guisante como biosorbente y su potencial uso en la purificación de aguas negras. Comparado revela una notable disminución en la presencia de azul de metileno tras la intervención, y la biomasa empleada revela una efectividad notable en la eliminación del pigmento. Ambos estudios revelan que los biosorbentes agrícolas pueden desempeñar un papel formidable en la erradicación de residuos. La biomasa como la de guisante posee una capacidad asombrosa para transformar las aguas residuales.

El estudio de Pinky et al. (2023) Se ha encontrado que el biocarbón hecho de mazorcas de maíz germinadas puede absorber 20,42 mg/L de azul de metileno sin necesidad de activación extra. Los modelos de Langmuir y de cinética de segundo orden se adaptaron más adecuadamente a la información recopilada. La información indica que la cantidad de azul de metileno disminuyó mucho después de la intervención. Ambos estudios indican que los residuos de la agricultura son útiles para eliminar colorantes. Comparar cómo los biosorbentes se preparan y cuánto pueden absorber nos ayuda a entender mejor si son eficaces para limpiar aguas sucias.

El estudio de Godoy (2022) Se ha comprobado que el carbón activado hecho con cáscaras de maíz tiene una gran capacidad para eliminar colorantes, tanto positivos como negativos, debido a su alta capacidad de absorción y gran área superficial. Al comparar estos resultados, se observa que la cantidad de azul de metileno disminuyó notablemente después de la intervención. La forma en que se prepara puede variar en cuanto a la activación y las condiciones de funcionamiento, lo que afecta la capacidad de absorción. Godoy usó productos químicos y altas temperaturas para crear su material. La capacidad de absorción de la biomasa es muy buena en comparación con el carbón activado de Godoy, lo que muestra que los desechos agrícolas pueden ser útiles para limpiar aguas sucias. Esta comparación resalta lo importante que es tener en cuenta cómo se prepara algo y las características físicas del material que se utiliza para saber si funcionará bien en situaciones reales.

La investigación de Lavado et al. (2020) revela que la biomasa de los cladodios de tuna presenta una capacidad de biosorción significativa para el colorante catiónico azul de metileno, con un máximo de 156,25 mg/g bajo condiciones óptimas de pH 8, dosis de 4 g/L y tiempo de contacto de 120 minutos. Este estudio utiliza técnicas avanzadas de caracterización como FTIR y SEM, y determina que la adsorción se ajusta al modelo de isoterma de Langmuir y al modelo cinético de pseudo-segundo orden, indicando una adsorción química predominante. Comparando estos resultados, donde los valores se presentan en ppm y la biomasa muestra una reducción

considerable en las concentraciones de azul de metileno, se puede analizar la efectividad relativa de ambos adsorbentes. Aunque la capacidad de adsorción de la biomasa de cladodios de tuna es superior a la observada en el estudio, La biomasa de cladodios de tuna se destaca como un material eficiente y biodegradable, lo que subraya la promesa de los desechos agrícolas y biológicos para el tratamiento de aguas residuales.

## CONCLUSIONES

- El estudio demuestra que la biomasa de origen agrícola es un adsorbente eficaz para la eliminación de colorantes de aguas residuales contaminadas. La biomasa mostró una capacidad destacada para reducir las concentraciones de colorantes como el azul de metileno y la eosina en diferentes porcentajes de contaminación inicial, con reducciones significativas en sus niveles post-intervención. Además, se observó que la biomasa afecta parámetros químicos importantes del agua, como la conductividad, el pH y los sólidos suspendidos totales, lo que indica su impacto en la química del agua residual.
- La biomasa de origen agrícola demostró una alta eficacia en la reducción de los niveles de azul de metileno en las aguas residuales. Los resultados muestran una disminución significativa en las concentraciones de azul de metileno, con valores reducidos desde 1,900 ppm a 0,003 ppm para la concentración inicial del 2.5%,; de 4,7 ppm a 0,006 para una concentración de 5%; de 7,5 ppm a 0,008 a una concentración de 7,5% y desde 11,000 ppm a 0,010 ppm para el 10%. Estos resultados confirman que la biomasa es un adsorbente efectivo para el azul de metileno, sugiriendo su potencial para aplicaciones en el tratamiento de aguas residuales contaminadas por este colorante.
- La biomasa también mostró eficacia en la remoción de eosina, con una reducción significativa en los niveles de este colorante. Las concentraciones de eosina disminuyeron de 1,900 ppm a 0,009 ppm para la concentración inicial del 2.5%, de 4,7 ppm a 0,010 a una concentración de 5%; de 7,5 ppm a 0,020 a una concentración de 7,5% y de 11,000 ppm a 0,050 ppm para el 10%. Esto indica que la biomasa es efectiva para adsorber eosina, lo que refuerza su capacidad para tratar una variedad de colorantes en las aguas residuales.
- El análisis de la conductividad mostró un aumento después de la intervención con la biomasa, con valores que subieron de 203 ppm a 391 ppm para el 2.5%, y de 205 ppm a 451 ppm para el 10%. Este incremento

sugiere que la biomasa puede haber liberado iones en el agua o alterado la composición iónica de la solución.

- El pH del agua disminuyó de manera significativa después del uso de la biomasa, con valores que bajaron de 7,86 a 5,43 para el 2.5%, y de 8,06 a 4,54 para el 10%. Este cambio en el pH indica que la biomasa puede estar influyendo en la acidez de la solución, posiblemente debido a reacciones químicas durante la adsorción.
- Se observó un aumento en los SST post-intervención, con valores que subieron de 104 ppm a 191 ppm para el 2.5%, y de 103 ppm a 227 ppm para el 10%. Este aumento podría reflejar la presencia de biomasa residual o cambios en la suspensión de sólidos durante el proceso de adsorción.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda optimizar las condiciones operativas, como el pH y la dosis de biomasa, para maximizar la eficiencia de adsorción y minimizar efectos adversos en la calidad del agua tratada. Dado que la biomasa mostró eficacia en la eliminación de colorantes, pero también afectó parámetros químicos como el pH y la conductividad.
- Realizar estudios adicionales para ajustar el tiempo de contacto y la dosis de biomasa podría mejorar la capacidad de adsorción y la eficiencia del proceso.
- Considerar el impacto ambiental de los residuos de biomasa post-adsorción, incluyendo el aumento en los sólidos suspendidos totales. Se sugiere investigar métodos para la gestión adecuada de estos residuos y su posible reutilización o tratamiento adicional.
- Explorar y comparar la eficacia de diferentes tipos de biomasa agrícola y otros materiales de adsorción para determinar cuáles ofrecen el mejor rendimiento en la eliminación de una variedad de colorantes y contaminantes.
- Considerar la implementación de la biomasa en sistemas de tratamiento de aguas residuales comunitarios o industriales para evaluar su rendimiento en condiciones reales y su costo-beneficio en comparación con tecnologías tradicionales.
- Expandir la investigación a otros tipos de colorantes y contaminantes para confirmar la eficacia general de la biomasa. Analizar cómo la biomasa se comporta con diferentes colorantes y ajustar las condiciones según sea necesario.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, J., Urbina, M. E., Rodríguez, B. E., León-Villegas, S. X., Luna, I. E., & Cárdenas, D. L. (2022). Development and Characterization of Bioadsorbents Derived from Different Agricultural Wastes for Water Reclamation: A Review. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(5). Scopus. <https://doi.org/10.3390/app12052740>
- Amalina, F., Razak, A. S. A., Krishnan, S., Zularisam, A. W., & Nasrullah, M. (2022). Dyes removal from textile wastewater by agricultural waste as an absorbent – A review. *Cleaner Waste Systems*, 3, 100051. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100051>
- Ananthashankar, & Ghaly. (2014). Production, Characterization and Treatment of Textile Effluents: A Critical Review. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*, 05(01). <https://doi.org/10.4172/2157-7048.1000182>
- Anastopoulos, I., & Kyzas, G. Z. (2014). Agricultural peels for dye adsorption: A review of recent literature. *Journal of Molecular Liquids*, 200, 381-389. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2014.11.006>
- Arias-Aguila, E., Vela-Cardich, R., & Ramos-Fernandez, L. (2024). Desarrollo y aplicación del modelamiento de calidad del agua con GESCAL-AQUATOOL en el río Lurín-Lima-Perú. *Tecnología y ciencias del agua*, 15(3), 250-288. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2024-03-06>
- Assadipour, G., Ke, G. Y., & Verma, M. (2015). Planning and managing intermodal transportation of hazardous materials with capacity selection and congestion. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 76, 45-57. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.02.003>
- Balanta, D., Grande, C. D., & Zuluaga, F. (2010). Extracción, identificación y caracterización de quitosano del micelio de *Aspergillus Niger* y sus aplicaciones como material bioadsorbente en el tratamiento de aguas.

*Revista Iberoamericana de Polímeros*, 11(5), 297-316.

- Barquilha, C. E. R., & Braga, M. C. B. (2021). Adsorption of organic and inorganic pollutants onto biochars: Challenges, operating conditions, and mechanisms. *Bioresource Technology Reports*, 15. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100728>
- Bessy, T. C., Bindhu, M. R., Johnson, J., Chen, S.-M., Chen, T.-W., & Almaary, K. S. (2022). UV light assisted photocatalytic degradation of textile waste water by Mg<sub>0.8</sub>-xZnxFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> synthesized by combustion method and in-vitro antimicrobial activities. *Environmental Research*, 204. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111917>
- Bonilla, A., Mendoza, D., & Reynel, H. (2017). *Adsorption Processes for Water Treatment and Purification*. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-58136-1>
- Bravo Toledo, L., Montaña Pisfil, J. A., Rodríguez Aburto, C. A., Del Águila Vela, E., Poma García, J. A., Poma García, C. R., Poma García, J. L., & Montaña Miranda, B. (2024). A Comparison of the Co-Treatment of Urban Wastewater and Acidic Water Using a Ternary Energy Diagram. *Sustainability*, 16(7), 2609. <https://doi.org/10.3390/su16072609>
- Breslow, R. (2022). The Principles of and Reasons for Using Water as a Solvent for Green Chemistry. En P. T. Anastas (Ed.), *Handbook of Green Chemistry* (1.<sup>a</sup> ed., pp. 1-29). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527628698.hgc047>
- Chaplin, M. F. (2021). Water: Its importance to life. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 29(2), 54-59. <https://doi.org/10.1111/j.1539-3429.2001.tb00070.x>
- Chikri, R., Elhadiri, N., Benchanaa, M., & El Maguana, Y. (2020). Efficiency of Sawdust as Low-Cost Adsorbent for Dyes Removal. *Journal of Chemistry*, 2020, 1-17. <https://doi.org/10.1155/2020/8813420>
- collacci, anggela. (2018, mayo 2). La situación de las aguas residuales en

Lima. *Clima de cambios.*  
<https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/la-situacion-de-las-aguas-residuales-en-lima/>

- Cruz, G. J. F., Aguirre, D., Canepa, C., Gómez, M. M., Solís, J. L., Santiago, J., Solís-Castro, R. L., Cruz, J. F., & Keiski, R. L. (2022). Agricultural residues-based activated carbons impregnated with chitosan nanoparticles by hydrothermal treatment. *Journal of Physics: Conference Series*, 2180(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2180/1/012019>
- Cruz, G. J. F., Mondal, D., Rimaycuna, J., Soukup, K., Gómez, M. M., Solis, J. L., & Lang, J. (2020). Agrowaste derived biochars impregnated with ZnO for removal of arsenic and lead in water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(3), 103800. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103800>
- Enciso-Rondon, V. B., Guadalupe-Lazaro, J. M., Boza-Sullca, P. L., Tantavilca-Martinez, N., & Arcos-Chuquillanqui, S. L. (2024). Toxic Metals Reduction in Acid Mine Drainage Through the Use of Calcium Carbonate: A Case Study in Canchayllo, Peru. En Y. Zeng & S. Wang (Eds.), *Environmental Science and Technology: Sustainable Development II* (pp. 107-121). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-54684-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-54684-6_9)
- Fernández Estela, A. (2011). Aguas residuales en el Perú, problemática y uso en la agricultura. *Repositorio Institucional - ANA*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4516>
- Foong, S. Y., Liew, R. K., Yang, Y., Cheng, Y. W., Yek, P. N. Y., Wan Mahari, W. A., Lee, X. Y., Han, C. S., Vo, D.-V. N., Van Le, Q., Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Sonne, C., Peng, W., & Lam, S. S. (2020). Valorization of biomass waste to engineered activated biochar by microwave pyrolysis: Progress, challenges, and future directions. *Chemical Engineering Journal*, 389, 124401. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124401>

- Garg, V. (2004). Basic dye (methylene blue) removal from simulated wastewater by adsorption using Indian Rosewood sawdust: A timber industry waste. *Dyes and Pigments*, 63(3), 243-250. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2004.03.005>
- Godoy, R. (2022). *Obtención de carbón activado a partir de mazorca de maíz amiláceo (Zea mays L. ssp amiláceo) por activación química, para la remoción de un colorante sintético* [Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga]. [https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/5726/1/TESIS%20Q528\\_God.pdf](https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/5726/1/TESIS%20Q528_God.pdf)
- Gómez Merino, E. (2020). *Eliminación de colorantes textiles utilizando carbones activados preparados a partir de semilla de chirimoya*. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/9641>
- Guan, J., Zhu, M., Zhou, J., Luo, L., Romanholo, L., Zhang, X., & Liu, J. (2023). Agricultural waste biochar after potassium hydroxide activation: Its adsorbent evaluation and potential mechanism. *Bioresource Technology*, 389, 129793. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129793>
- Hasan, E., Tarhule, A., Hong, Y., & Moore, B., III. (2019). Assessment of physical water scarcity in Africa using GRACE and TRMM satellite data. *Remote Sensing*, 11(8). Scopus. <https://doi.org/10.3390/rs11080979>
- Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34(5), 451-465. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00112-5)
- Holliday, M. C., Parsons, D. R., & Zein, S. H. (2024). Agricultural Pea Waste as a Low-Cost Pollutant Biosorbent for Methylene Blue Removal: Adsorption Kinetics, Isotherm And Thermodynamic Studies. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(5), 6671-6685. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02865-8>

- Hunger, K. (Ed.). (2002). *Industrial Dyes: Chemistry, Properties, Applications* (1.<sup>a</sup> ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/3527602011>
- Ibrahim, M., & Maslehuudin, M. (2021). An overview of factors influencing the properties of alkali-activated binders. *Journal of Cleaner Production*, 286, 124972. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124972>
- Issaka, E., Fapohunda, F. O., Amu-Darko, J. N. O., Yeboah, L., Yakubu, S., Varjani, S., Ali, N., & Bilal, M. (2022). Biochar-based composites for remediation of polluted wastewater and soil environments: Challenges and prospects. *Chemosphere*, 297. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134163>
- Jawaduddin, M., Su, Z., Siddique, M. S., Rashid, S., & Yu, W. (2024). Purifying surface water contaminated with azo dyes using nanofiltration: Interactions between dyes and dissolved organic matter. *Chemosphere*, 361, 142438. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142438>
- Katheresan, V., Kansedo, J., & Lau, S. Y. (2018). Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 4676-4697. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.06.060>
- Keskin, B., Ersahin, M. E., Ozgun, H., & Koyuncu, I. (2021). Pilot and full-scale applications of membrane processes for textile wastewater treatment: A critical review. *Journal of Water Process Engineering*, 42. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102172>
- Kim, Y., Nam, S.-N., Jung, B., Min Park, C., Jang, M., Park, C., Chae, S., Huang, Y., Jun, B.-M., & Yoon, Y. (2024). Removal of contaminants of emerging concerns and dyes by MXene-based membranes in water: A review. *Separation and Purification Technology*, 351, 128125. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.128125>
- Krishnan, S., Kadier, A., Fadhil Bin MD Din, M., Nasrullah, M., Najiha, N. N., Taib, S. M., Wahid, Z. A., Li, Y. Y., Qin, Y., Pant, K. K., Chelliapan, S., Kamyab, H., Ahmad, I., & Singh, L. (2021). Chapter 2—Application of

bioelectrochemical systems in wastewater treatment and hydrogen production. En L. Singh & D. M. Mahapatra (Eds.), *Delivering Low-Carbon Biofuels with Bioproduct Recovery* (pp. 31-44). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821841-9.00003-7>

Kwapinski, W., Byrne, C. M. P., Kryachko, E., Wolfram, P., Adley, C., Leahy, J. J., Novotny, E. H., & Hayes, M. H. B. (2010). Biochar from biomass and waste. *Waste and Biomass Valorization*, 1(2), 177-189. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s12649-010-9024-8>

Lavado, C., Sun, M. del R., & Bendezu, S. (2010). Adsorción de plomo de efluentes industriales usando carbones activados con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 76(2), 165-178.

Lavado, C., Sun, R., & Castro, T. (2020). Biosorción del colorante azul de metileno usando los cladodios de las tunas (*Opuntia ficus indica*). 83(3). <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v86n3/2309-8740-rsqp-86-03-231.pdf>

Martínez Tristán, A. (2012). Biosorción del colorante congo en sistemas en lote utilizando biomasa de *Chlorella* sp. <http://cd.dgb.uanl.mx//handle/201504211/5744>

Mishra, A. K., Arockiadoss, T., & Ramaprabhu, S. (2010). Study of removal of azo dye by functionalized multi walled carbon nanotubes. *Chemical Engineering Journal*, 162(3), 1026-1034. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.07.014>

Moosavi, S., Lai, C. W., Gan, S., Zamiri, G., Akbarzadeh Pivezhzani, O., & Johan, M. R. (2020). Application of efficient magnetic particles and activated carbon for dye removal from wastewater. *ACS Omega*, 5(33), 20684-20697. Scopus. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c01905>

Moreno, A., Figueroa, D., & Hormaza, A. (2022). Adsorción de azul de metileno sobre cascarilla de arroz. *Producción + Limpia*, 7(1), 9-18.

- Nath, H., Saikia, A., Goutam, P. J., Saikia, B. K., & Saikia, N. (2021). Removal of methylene blue from water using okra (*Abelmoschus esculentus* L.) mucilage modified biochar. *Bioresource Technology Reports*, 14. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100689>
- Nuñez, J., Colpas, F., & Taron, A. (2017). Aprovechamiento de residuos maderosos para la obtención de resinas de intercambio iónico. *Temas Agrarios*, 22(1), Article 1. <https://doi.org/10.21897/rta.v22i1.915>
- Ong, Y. K., Li, F. Y., Sun, S.-P., Zhao, B.-W., Liang, C.-Z., & Chung, T.-S. (2014). Nanofiltration hollow fiber membranes for textile wastewater treatment: Lab-scale and pilot-scale studies. *Chemical Engineering Science*, 114, 51-57. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2014.04.007>
- Piccin, J. S., Cadaval, T. R. S., de Pinto, L. A. A., & Dotto, G. L. (2017). Adsorption Isotherms in Liquid Phase: Experimental, Modeling, and Interpretations. En A. Bonilla, D. I. Mendoza-Castillo, & H. E. Reynel (Eds.), *Adsorption Processes for Water Treatment and Purification* (pp. 19-51). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-58136-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-58136-1_2)
- Pinky, N., Mobarak, M., Mustafi, S., Zesanur, M., Nahar, A., Saha, T., & Mohammed Bahadur, N. (2023). Facile preparation of micro-porous biochar from Bangladeshi sprouted agricultural waste (corn cob) via in-house built heating chamber for cationic dye removal. *Arabian Journal of Chemistry*, 16(9), 105080. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105080>
- Ponce, R. (2023). Evaluación de la efectividad del carbón activado de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) para la adsorción de plomo (Pb) en disolución acuosa a nivel laboratorio. *Universidad de Huánuco*. <http://localhost:8080/xmlui/handle/20.500.14257/4311>
- Rafiq, M. K., Bachmann, R. T., Rafiq, M. T., Shang, Z., Joseph, S., & Long, R. (2016). Influence of Pyrolysis Temperature on Physico-Chemical Properties of Corn Stover (*Zea mays* L.) Biochar and Feasibility for

Carbon Capture and Energy Balance. *PLOS ONE*, 11(6), e0156894.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156894>

Rossatto, D. L., Silva, L. F. O., El-Bahy, Z. M., Helal, M. H., De Lima, R., Netto, M. S., Da Boit Martinello, K., Vieira, Y., & Dotto, G. L. (2024). Facile synthesis of a novel, efficient, reusable inorganic adsorbent from volcanic rock powder wastes and its application for the removal of dyes and metals from water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(4), 113285. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.113285>

Seo, islas. (2022, mayo 25). Tratamiento de Agua Residual en Perú: Conoce sus Fases. *Industrias Islas Perú*. <https://industriasislas.pe/fases-de-tratamiento-de-agua-residual-en-peru-2/>

Shakoor, M. B., Ali, S., Rizwan, M., Abbas, F., Bibi, I., Riaz, M., Khalil, U., Niazi, N. K., & Rinklebe, J. (2020). A review of biochar-based sorbents for separation of heavy metals from water. *International Journal of Phytoremediation*, 22(2), 111-126. Scopus. <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1647405>

Shirmardi, M., Alavi, N., Lima, E. C., Takdastan, A., Mahvi, A. H., & Babaei, A. A. (2016). Removal of atrazine as an organic micro-pollutant from aqueous solutions: A comparative study. *Process Safety and Environmental Protection*, 103, 23-35. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.06.014>

Sobhani, A. (2022). Síntesis hidrotermal de nanocompuesto  $\text{CuMn}_2\text{O}_4/\text{CuO}$  sin agente de protección y estudio de su actividad fotocatalítica para la eliminación de la contaminación por colorantes. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(46), 20138-20152. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.04.149>

Tan, J., Xu, Y., Deng, Q., Li, Y., Yin, Y., Liang, X., & Luo, Y. (2024). Agricultural waste to environmental purifier: Application and mechanism of aminated pomelo peel for adsorption of anionic dyes and Cr(VI). *Industrial Crops and Products*, 218, 118960.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118960>

- Tavangar, T., Jalali, K., Alaei Shahmirzadi, M. A., & Karimi, M. (2019). Toward real textile wastewater treatment: Membrane fouling control and effective fractionation of dyes/inorganic salts using a hybrid electrocoagulation – Nanofiltration process. *Separation and Purification Technology*, 216, 115-125. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.01.070>
- Valladares-Cisneros, M. G., Valerio Cárdenas, C., De La Cruz Burelo, P., & Melgoza Alemán, R. M. (2017). Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(31), 55-73. <https://doi.org/10.22395/rium.v16n31a3>
- Wang, X., Jiang, C., Hou, B., Wang, Y., Hao, C., & Wu, J. (2018). Carbon composite lignin-based adsorbents for the adsorption of dyes. *Chemosphere*, 206, 587-596. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.183>
- Xue, H., Wang, X., Xu, Q., Dhaouadi, F., Sellaoui, L., Seliem, M. K., Ben Lamine, A., Belmabrouk, H., Bajahzar, A., Bonilla-Petriciolet, A., Li, Z., & Li, Q. (2022). Adsorption of methylene blue from aqueous solution on activated carbons and composite prepared from an agricultural waste biomass: A comparative study by experimental and advanced modeling analysis. *Chemical Engineering Journal*, 430, 132801. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.132801>
- Yaashikaa, P. R., Kumar, P. S., Varjani, S., & Saravanan, A. (2020). A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy. *Biotechnology Reports*, 28. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00570>
- Yang, J., Yu, M., & Chen, W. (2015). Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solution by activated carbon prepared from longan seed: Kinetics, equilibrium and thermodynamics. *Journal of Industrial and*

*Engineering Chemistry*, 21, 414-422. Scopus.  
<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.02.054>

Zahran, A. I., El-Zahhar, A. A., Ahmed, H. S., Masoud, A. M., Alghamdi, M. M., & El Naggari, A. M. A. (2023). Mixture of soya bean and cotton seed residuals for production of activated carbon species as efficient adsorbent in the process of wastewater decontamination via dye disposal. *Biomass Conversion and Biorefinery*.  
<https://doi.org/10.1007/s13399-023-03941-3>

### **COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Riquelme Loyola, J. (2025). *Eficacia de la biomasa de origen agrícola como adsorbente de colorantes de aguas residuales contaminadas por colorantes, Huánuco – 2024* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Metodología	Técnicas y procedimientos
<p><b>Problema general</b></p> <p>¿Cuál es la eficacia de la biomasa de origen agrícola como adsorbente de colorantes de aguas residuales contaminadas por colorantes, Huánuco - 2024?</p> <p><b>Problemas específicos</b></p> <p>P1: ¿Cuáles son los niveles del colorante azul de metileno antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en</p>	<p><b>Objetivo general</b></p> <p>Evaluar la eficacia de la biomasa de origen agrícola como adsorbente de colorantes de aguas residuales contaminadas por colorantes, Huánuco – 2024</p> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <p>O1: Determinar los niveles del colorante azul de metileno antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes</p>	<p>Hi: la biomasa de origen agrícola como adsorbente es eficaz para remover los colorantes de las aguas residuales, Huánuco - 2024.</p> <p>Ho: la biomasa de origen agrícola como adsorbente es eficaz para remover los colorantes de las aguas residuales, Huánuco - 2024</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <p>biomasa de origen agrícola como adsorbente.</p> <p><b>Variable dependiente.</b></p> <p>aguas residuales contaminadas por colorantes</p>	<p><b>TIPO DE ESTUDIO</b> con intervención, analítica, longitudinal, prospectivo.</p> <p><b>Enfoque:</b> El estudio es de enfoque cuantitativo.</p> <p><b>Alcance o nivel:</b> El presente estudio tiene un alcance cuasi – experimental.</p> <p><b>Diseño:</b> En el presente estudio se utilizó como diseño de estudio el experimental.</p> <p style="text-align: center;"><math>GE_1: O_1 \dots \dots x_1 \dots \dots O_2</math></p> <p><math>GE_1</math>: Grupo de estudio</p> <p><math>O_1</math>: Análisis inicial</p> <p><math>O_2</math>: Análisis final</p> <p><math>x_1</math>: Intervención con <i>biomasa</i></p> <p><b>POBLACIÓN:</b> La población se estimará por la cantidad de agua contaminada será simulada en laboratorio.</p> <p><b>MUESTRA:</b> Para el trabajo de investigación que se utilizará 8 ensayos (filtros) más repeticiones siendo un total de 8 ensayos, el agua contaminada fue simulada en laboratorio, cada muestra contiene 1000 ml. Con repeticiones por cada ensayo.</p>	<p style="text-align: center;"><b>TÉCNICAS INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b></p> <p>El material precursor que se usara para la elaboración del filtro será las mazorcas de maíz y el bagazo de caña, para el proceso de recolección de datos experimentales se llevará a cabo en las instalaciones del laboratorio acreditado</p> <p style="text-align: center;"><b>Para la recolección de datos</b></p>

---

aguas residuales contaminadas por colorantes?

P2: ¿Cuáles son los niveles del colorante eosina antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes?

P3: ¿Cuáles son los parámetros químicos del agua residual antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes?

presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes.

O2: Determinar los niveles del colorante eosina antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales contaminadas por colorantes.

O3: Determinar los parámetros químicos del agua residual antes y después del uso de la biomasa de origen agrícola como adsorbente en la eliminación de colorantes presentes en aguas residuales

Para la toma de muestra se seguirá los lineamientos establecidos en las normas de control de calidad de aguas residuales domésticas o municipales aprobadas al amparo de la R.M. N.º 273-2013-Vivienda.

---

contaminadas por  
colorantes.

---

**ANEXO 2**  
**PANEL FOTOGRÁFICO**



**Hacienda Yuncan Churubamba**



**Bagazo de caña de azúcar**



**Recolecta de bagazo**



**Recolecta de bagazo de caña**



**Triturado del bagazo**



**Secado del bagazo**



**Armado sistema de filtración**



**Armado de filtración**



**Armado del sistema de filtración**



**Preparación de colorantes azul metileno**



**Preparación de colorantes eosina**



**Colorante azul metileno con sus porcentajes**



**Colórate eosina con sus porcentajes**



**Filtración de azul metileno**



Filtración de eosina



Proceso de filtración azul metileno



Proceso de filtración de la eosina



Resultados de filtración de eosina



**Resultados de filtración azul metileno**



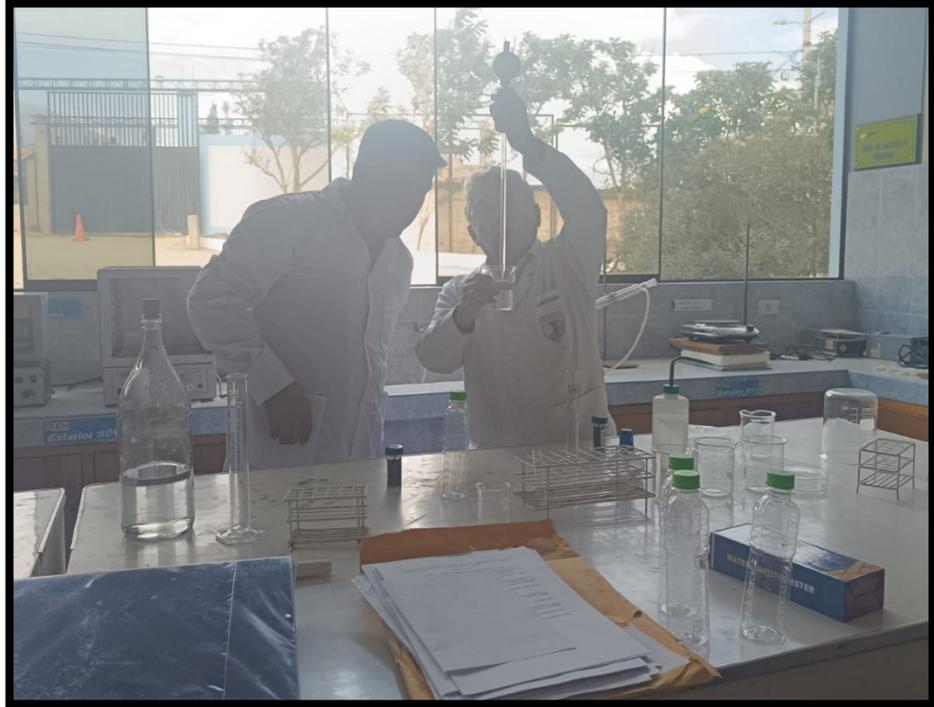
**Procedimiento para el análisis de laboratorio**



Calculando los datos para las muestras



Calculando datos para las muestras



**Preparación de muestras**



**Preparación de muestras según su porcentaje**



**Preparación de muestras eosina**



**Muestras de diferentes tonalidades de eosina**



**Realizando la muestra azul metileno**



**Muestras de diferentes tonalidades del azul metileno**



**Comparación con los resultados de filtración con azul metileno**



**Comparación de los resultados de filtración con eosina**

**ANEXO 3**  
**ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA IDENTIFICACIÓN DE COLORANTES**

<b>LABORATORIO</b>	UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO		<b>SOLICITANTE</b>	BACH. RIQUELME LOYOLA Josue Geser
<b>LUGAR</b>	LA ESPERANZA		<b>DOCENTE</b>	ING. TARAZONA MIRAVAL Hernan
<b>FACULTAD</b>	INGENIERÍA		<b>ESCUELA</b>	INGENIERÍA AMBIENTAL

**RESULTADOS DE LAS MUESTRAS AZUL METILENO**

PARAMETRO	UND . MEDIDA	PRE				POST			
		2.50 %	5%	7.50 %	10%	2.50%	5%	7.50%	10%
<b>AZUL DE METILENO</b>	UC	1.9 PPM	4.7 PPM	7.5 PPM	11 PPM	0.003 PPM	0.006 PPM	0.008 PPM	0.01 PPM
<b>CONDUCTIVIDAD</b>	MS/ CM	202	204	204	205	419	667	402	466
<b>PH</b>	UNI D.	7.96	7.98	8.03	8.01	5.56	4.6	4.56	4.48
<b>SST</b>	MG/ L	103	102	102	103	201	334	204	233

**RESULTADOS DE LAS MUESTRAS EOSINA**

PARAMETRO	UND . MEDIDA	PRE				POST			
		2.50 %	5%	7.50 %	10%	2.50%	5%	7.50%	10%
<b>EOSINA</b>	UC	1.9 PPM	4.7 PPM	7.5 PPM	11 PPM	0.009 PPM	0.01 PPM	0.02 PPM	0.05 PPM

<b>AD</b>	<b>CONDUCTIVID</b>	MS/ CM	204	205	206	205	362	355	336	436
	<b>PH</b>	UNI D.	7.75	7.93	8.02	8.11	5.3	5.28	5.17	4.6
	<b>SST</b>	MG/ L	104	103	102	102	180	178	168	220

MUESTRAS DE COLORANTES PRE - POST

**COLORATE AZUL METILENO**

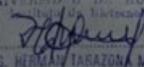
MUESTRA N°1 - PRE				FECHA: 15 / 07 / 2024
RESULTADOS				
N° JARRA	DOSIS:		PPM	
	L	ml		
J1	4	0.25	1.9	
J2	4	0.50	4.7	
J3	4	1.00	7.5	
J4	4	1.50	11	

MUESTRA N°1 - POST				FECHA: 15 / 07 / 2024
RESULTADOS				
N° JARRA	DOSIS:		PPM	
	L	ml		
J1	4	0.25	0.003	
J2	4	0.50	0.006	
J3	4	1.00	0.008	
J4	4	1.50	0.01	

**COLORANTE EOSINA**

MUESTRA N°1 - PRE				FECHA: 11 / 07 / 2024
RESULTADOS				
N° JARRA	DOSIS:		PPM	
	L	ml		
J1	4	0.25	1.9	
J2	4	0.50	4.7	
J3	4	1.00	7.5	
J4	4	1.50	11	

MUESTRA N°1 - POST				FECHA: 15 / 07 / 2024
RESULTADOS				
N° JARRA	DOSIS:		PPM	
	L	ml		
J1	4	0.25	0.009	
J2	4	0.50	0.01	
J3	4	1.00	0.02	
J4	4	1.50	0.05	

UNIVERSIDAD DE HUANUCO  
Facultad de Ingeniería  
  
ING. HÉRCULAN TARAZONA MIRAVAL  
DIRECTOR