

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y  
RECURSOS NATURALES**



**Tesis**

**Biosorción de Pb, Cu y As en aguas contaminadas utilizando biomasa del bagazo de  
caña a nivel de laboratorio, Abancay-2023**

Asesor:

Dra. Soto Carrión, Carolina

Autor:

Paucar Ancco, Sheila Katheryn

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Abancay – Apurímac – Perú

2025

# Acta de sustentación



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE ING. AMBIENTAL Y RR.NN

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 015

En la ciudad de Abancay, a los 07 días del mes de febrero del 2025, siendo las 09:00 a.m. horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 006-2025-UTEA-FI-EPIARN de la Escuela Profesional de Ing. Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	MG. PIMENTEL MALDONADO, WALDIR (Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)
Dictaminante :	ING. ROJAS CÁCERES MARIELA (Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)
Replicante :	MG. SALAS PEÑA, VANESA (Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis  Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

**"BIOSORCIÓN DE PB, CU Y AS EN AGUAS CONTAMINADAS UTILIZANDO BIOMASA DEL BAGAZO DE CAÑA A NIVEL DE LABORATORIO, ABANCAY-2023"**

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: **PAUCAR ANCCO, SHEILA KATHERYN**  
(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERÍA AMBIENTAL**  
(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: **UNANIMIDAD**  
(Unanimidad o Mayoría) (\*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)	Firma
Br. <b>PAUCAR ANCCO SHEILA KATHERYN</b>	<b>13</b>	

Siendo las 11:00 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: **MG. PIMENTEL MALDONADO, WALDIR**  
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

Dictaminante: **ING. ROJAS CÁCERES MARIELA**  
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

Replicante: **MG. SALAS PEÑA, VANESA**  
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(\*) **Mayoría:** Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; **Unanimidad:** Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.

(\*\*) 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

## Reporte de similitud

Biosorción de Pb, Cu y As en aguas contaminadas utilizando biomasa del bagazo de caña a nivel de laboratorio, Abancay-2023

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>21</b> %	<b>21</b> %	<b>5</b> %	<b>9</b> %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>5</b> %
<b>2</b>	<b>dspace.ups.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>2</b> %
<b>3</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes</b> Trabajo del estudiante	<b>1</b> %
<b>5</b>	<b>repositorio.unh.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>6</b>	<b>dspace.ucuenca.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>7</b>	<b>repositorio.unfv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>8</b>	<b>rodin.uca.es</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %

## Metadatos complementarios

<b>Datos del Autor</b>	
<b>Apellidos y nombres</b>	: Paucar Ancco Sheila Katheryn
<b>Tipo de Documento de Identidad</b>	: DNI
<b>Número de Documento de Identidad</b>	: 76598435
<b>URL ORCID</b>	: <a href="https://orcid.org/0000-0002-5256-2166">https://orcid.org/0000-0002-5256-2166</a>
<b>Datos del Asesor</b>	
<b>Apellidos y nombres</b>	: Soto Carrión Carolina
<b>Tipo de Documento de Identidad</b>	: DNI
<b>Número de Documento de Identidad</b>	: 31011917
<b>URL ORCID</b>	: <a href="https://orcid.org/0000-0001-5200-5768">https://orcid.org/0000-0001-5200-5768</a>
<b>Datos de la Investigación</b>	
<b>Facultad</b>	: Ingeniería
<b>Escuela Profesional</b>	: Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
<b>Línea de Investigación</b>	: Calidad Ambiental
<b>Rango de años que se realizó la investigación</b>	: 1 año y 6 meses
<b>Fuente de financiamiento</b>	: Financiado por la Universidad Tecnológica de los Andes
<b>Porcentaje de similitud</b>	: 19 %
<b>URL de OCDE</b>	: <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01</a>

## **Dedicatoria**

"A mis queridos padres, quienes han sido mi fuente constante de apoyo, inspiración y guía a lo largo de este arduo pero gratificante camino académico. Su amor incondicional y sacrificio han sido la luz que ha iluminado cada paso de mi travesía. Este logro no solo es mío, sino también de ustedes, cuyo ejemplo de perseverancia y dedicación ha sido mi mayor motivación. A ustedes dedico con profundo agradecimiento este trabajo, como un humilde reconocimiento a su infinito amor y al invaluable legado que han dejado en mi vida."

## **Agradecimiento**

"Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo. Agradezco profundamente el apoyo incondicional de mi familia, cuyo aliento y comprensión fueron fundamentales en cada etapa de este proceso. También estoy agradecido con mis profesores y mentores, sobre todo con mi asesora cuya orientación experta y conocimientos compartidos fueron invaluable para el desarrollo de este estudio. Además, quiero reconocer el apoyo brindado por mis amigos y compañeros, quienes estuvieron ahí para motivarme y ofrecer su colaboración cuando más lo necesitaba. Este logro no habría sido posible sin su contribución y confianza en mí. Finalmente, agradezco a la Universidad Tecnológica de los Andes por el apoyo financiero que hizo posible llevar a cabo esta investigación."

## Resumen

El estudio “Biosorción de Pb, Cu y As en aguas contaminadas utilizando Biomasa del bagazo de caña a Nivel de Laboratorio, Abancay-2023” tuvo como objetivo evaluar la efectividad del bagazo de caña de azúcar en la biosorción de Pb, Cu y As en aguas contaminadas a nivel de laboratorio. Se utilizó la técnica de observación experimental de laboratorio que consistió en el registro de los resultados obtenidos, teniendo como población a las aguas contaminadas con Pb, Cu y As, enfocándose en 21 litros de agua contaminada como muestra preparadas en laboratorio.

El bagazo de caña de azúcar fue tratado mediante lavado, secado a 80 °C, molienda y tamizado. Se prepararon 92 muestras: 30 para Pb y As, y 32 para Cu, variando parámetros como el pH, la dosis, el tiempo y las concentraciones de los metales. Las muestras se analizaron mediante espectrometría de absorción atómica después de ser filtradas y conservadas con HCl.

Los resultados mostraron que la biomasa alcanzó una efectividad del 45.26% para Pb con 3 g/L, 30 minutos de contacto y pH 5. Para Cu, la efectividad fue del 15.97% con 4 g/L, 60 minutos y pH 4. Para As, se obtuvo un 21.10% con 4 g/L, 30 minutos y pH 4.5. Las capacidades de biosorción fueron 17.10 mg/g para Pb, 5.60 mg/g para Cu y 5.39 mg/g para As.

En conclusión, la biomasa de bagazo de caña es efectiva para la biosorción de estos metales, destacándose especialmente en la eliminación de Pb.

Palabras clave: Biosorción, biomasa, plomo, cobre, arsénico.

## Abstract

The study "Biosorption of Pb, Cu, and As in contaminated water using sugarcane bagasse biomass at the laboratory level, Abancay-2023" aimed to evaluate the effectiveness of sugarcane bagasse in the biosorption of Pb, Cu, and As in contaminated water at the laboratory level. The experimental laboratory observation technique was used, which involved recording the results obtained, with the population consisting of water contaminated with Pb, Cu, and As, focusing on 21 liters of contaminated water prepared in the laboratory.

The sugarcane bagasse was treated by washing, drying at 80 °C, grinding, and sieving. A total of 92 samples were prepared: 30 for Pb and As, and 32 for Cu, with variations in parameters such as pH, dose, time, and concentrations of the metals. The samples were analyzed using atomic absorption spectrometry after being filtered and preserved with HCl. The results showed that the biomass achieved an effectiveness of 45.26% for Pb with 3 g/L, 30 minutes of contact, and pH 5. For Cu, the effectiveness was 15.97% with 4 g/L, 60 minutes, and pH 4. For As, 21.10% was obtained with 4 g/L, 30 minutes, and pH 4.5. The biosorption capacities were 17.10 mg/g for Pb, 5.60 mg/g for Cu, and 5.39 mg/g for As.

In conclusion, sugarcane bagasse biomass is effective in the biosorption of these metals, especially in the removal of Pb.

Keywords: Biosorption, biomass, lead, copper, arsenic.

## Índice

Acta de sustentación .....	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos complementarios .....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento .....	vi
Resumen y palabras clave.....	vii
Abstract and keywords .....	viii
Índice .....	ix
Índice de tablas .....	xii
Índice de figuras .....	xvi
I. Introducción .....	18
II. Planteamiento del problema .....	20
2.1. Descripción y formulación del problema .....	20
2.2. Objetivos.....	22
2.2.1. Objetivo general.....	22
2.2.2. Objetivos específicos .....	23
2.3. Justificación e importancia .....	23
2.4. Hipótesis .....	24

2.4.1.	Hipótesis general.....	24
2.4.2.	Hipótesis específicas .....	25
2.5.	Variables .....	26
III.	Marco teórico.....	27
3.1.	Antecedentes de la investigación .....	27
3.1.1.	A nivel internacional.....	27
3.1.2.	A nivel nacional .....	29
3.1.3.	A nivel regional y local.....	32
3.2.	Bases teóricas.....	33
3.3.	Definición de términos.....	57
IV.	Metodología .....	62
4.1.	Tipo y nivel de investigación.....	62
4.2.	Ámbito temporal y espacial .....	63
4.3.	Población y muestra.....	63
4.4.	Instrumentos.....	63
4.5.	Procedimientos.....	65
4.6.	Análisis de datos .....	76
4.7.	Consideraciones éticas .....	76
V.	Resultados y discusión.....	77

5.1.	Resultados.....	77
5.2.	Discusión de resultados .....	104
VI.	Conclusiones.....	109
VII.	Recomendaciones .....	111
VIII.	Referencias bibliográficas.....	113
IX.	Anexos .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## Índice de tablas

Tabla 1 Matriz de operacionalización de variables .....	26
Tabla 2 Actividades industriales y comerciales que generan problemas de aguas contaminadas .....	35
Tabla 3 Factores que influyen en el proceso de biosorción.....	47
Tabla 4 Análisis elemental del bagazo de caña de azúcar .....	49
Tabla 5 Composición química del bagazo de caña de azúcar .....	50
Tabla 6 Estándares de Calidad Ambiental (ECA) .....	56
Tabla 7 LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas	56
Tabla 8 LMP de efluentes líquidos para el sub-sector hidrocarburos .....	57
Tabla 9 Muestras de plomo realizadas en laboratorio .....	70
Tabla 10 Muestras de cobre realizadas en laboratorio .....	71
Tabla 11 Muestras de arsénico realizadas en laboratorio .....	71
Tabla 12 Resultados de análisis de composición química de la pulpa del bagazo de caña de azúcar.....	77
Tabla 13 Factores de biosorción de plomo en agua contaminada variando el pH (3,5,6 y 7) .....	78
Tabla 14 Factores de biosorción de cobre en agua contaminada variando el pH (3,4,5 y 6) .....	78
Tabla 15 Factores de biosorción de arsénico en agua contaminada variando el pH (3,4,4.5 y 5) .....	79
Tabla 16 Resultados de lecturas en plomo de concentraciones inicial y final para determinar el pH efectivo.....	79
Tabla 17 Resultados de lecturas en cobre de concentraciones inicial y final para determinar	

el pH efectivo.....	80
Tabla 18 Resultados de lecturas en arsénico de concentraciones inicial y final para determinar el pH efectivo .....	80
Tabla 19 Resultados de los análisis de plomo en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintos pH (3.05,5.04,6.0,y 7.54) .....	80
Tabla 20 Resultados de los análisis de cobre en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintos pH (3,4,5 y 6) .....	81
Tabla 21 Resultados de los análisis de arsénico en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintos pH (3,4,4.5 y 5) .....	82
Tabla 22 Factores de biosorción de plomo en agua contaminada variando la dosis de biosorbente (200, 300 y 400mg).....	84
Tabla 23 Factores de biosorción de cobre en agua contaminada variando la dosis de biosorbente (100, 200, 300 y 400mg) de bagazo de caña de azúcar .....	84
Tabla 24 Factores de biosorción de arsénico en agua contaminada variando la dosis de biosorbente (100, 200,300 y 400 mg) de bagazo de caña de azúcar .....	85
Tabla 25 Resultados de lecturas en plomo de concentraciones inicial y final para determinar la dosis efectiva de biosorbente .....	85
Tabla 26 Resultados de lecturas en cobre de concentraciones inicial y final para determinar la dosis efectiva de biosorbente .....	86
Tabla 27 Resultados de lecturas en arsénico de concentraciones inicial y final para determinar la dosis efectiva de biosorbente.....	86
Tabla 28 Resultados de los análisis de plomo en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintas pesos de biomasa del bagazo de caña de azúcar.....	87
Tabla 29 Resultados de los análisis de cobre en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintas dosis de biosorbente (100, 200, 300 y 400mg) de bagazo de caña .....	87

Tabla 30 Resultados de los análisis de arsénico en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintas dosis de biosorbente (100, 200, 300 y 400mg) de bagazo de caña.....	88
Tabla 31 Factores de biosorción de plomo en agua contaminada variando los tiempos de contacto (10, 20,30, 60 y 120min).....	90
Tabla 32 Factores de biosorción de cobre en agua contaminada variando los tiempos de contacto (10, 20, 30, 60 y 180min).....	90
Tabla 33 Factores de biosorción de arsénico en agua contaminada variando los tiempos de contacto (10,20,30 y 60 min).....	91
Tabla 34 Resultados de lecturas en plomo de concentraciones inicial y final para determinar el tiempo de contacto efectivo .....	91
Tabla 35 Resultados de lecturas en cobre de concentraciones inicial y final para determinar el tiempo de contacto efectivo .....	92
Tabla 36 Resultados de lecturas en arsénico de concentraciones inicial y final para determinar el tiempo de contacto efectivo.....	92
Tabla 37 Resultados de los análisis de plomo en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintos tiempos de contacto (10,20,30,60 y 120min) .....	93
Tabla 38 Resultados de los análisis de cobre en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintos tiempos de contacto (10,20,30,60 y 180) .....	94
Tabla 39 Resultados de los análisis de arsénico en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintos tiempos de contacto (10,20,30 y 60) .....	94
Tabla 40 Factores de biosorción de plomo en agua contaminada variando las concentraciones (50, 100 y 150ppm) .....	96
Tabla 41 Factores de biosorción de cobre en agua contaminada variando las concentraciones (50, 100 y 150ppm) .....	96

Tabla 42 Factores de biosorción de arsénico en agua contaminada variando las concentraciones (50, 100 y 150 ppm).....	97
Tabla 43 Resultados de lecturas en plomo de concentraciones inicial y final para determinar la concentraciones efectiva.....	97
Tabla 44 Resultados de lecturas en cobre de concentraciones inicial y final para determinar la concentraciones efectiva.....	98
Tabla 45 Resultados de lecturas en arsénico de concentraciones inicial y final para determinar la concentraciones efectiva.....	98
Tabla 46 Resultados de los análisis de plomo en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintas concentraciones(50,100 y 150ppm).....	99
Tabla 47 Resultados de los análisis de cobre en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintas concentraciones (50,100 y 150ppm).....	99
Tabla 48 Resultados de los análisis de arsénico en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintas concentraciones (50,100 y 150ppm) .....	100
Tabla 49 Análisis de prueba ANOVA .....	102
Tabla 50 Análisis de prueba ANOVA .....	103
Tabla 51 Análisis de prueba ANOVA .....	103
Tabla 52 Análisis de prueba ANOVA .....	104

## Índice de figuras

Figura 1 Biosorción de iones metálicos.....	40
Figura 2 Biosorción de Metales Pesados.....	41
Figura 3 Mecanismos de interacción entre metales pesados y microorganismos .....	42
Figura 4 Microcopia electrónica de barrido del bagazo de caña .....	48
Figura 5 Modelos de Langmuir y Freundlich.....	54
Figura 6 Lavado de bagazo de caña de azúcar .....	66
Figura 7 Proceso de secado del biosorbente.....	66
Figura 8 Biosorbente seco .....	67
Figura 9 Tamiz N° 35 establecido malla 500um .....	68
Figura 10 Proceso de tamizado.....	68
Figura 11 Biosorbente tamizado.....	69
Figura 12 Preparación de la muestra contaminada.....	69
Figura 13 Agitación de la muestra con el biosorbente .....	70
Figura 14 Filtración de muestras .....	72
Figura 15 Biosorbente filtrado.....	72
Figura 16 Rotulación de muestras .....	73
Figura 17 Preparación de muestras diluidas para lecturas.....	73
Figura 18 Muestras diluidas para las lecturas.....	74
Figura 19 Lectura de muestras por el equipo de absorción atómica .....	74
Figura 20 Diagrama de flujo de metodología.....	75
Figura 21 Porcentaje de biosorción a distintos pH en Pb, Cu y As (3,4,4.5, 5, 6 y 7.5) .....	83
Figura 22 Porcentaje de biosorción a distintas dosis de bagazo de caña de azúcar (100,200,300 y 400mg) en soluciones de Pb, Cu y As.....	89
Figura 23 Porcentaje de biosorción a distintos tiempos de contacto del biosorbente (10, 20,	

30, 60, 120 y 180min) en soluciones de Pb, Cu y As .....	95
Figura 24 Porcentaje de biosorción a distintas concentraciones en Pb, Cu y As (50, 100 y 150ppm).....	100
Figura 25 Porcentaje de biosorción efectiva en Plomo, Cobre y Arsénico .....	101

## I. Introducción

La contaminación por metales pesados, como el plomo (Pb), el cobre (Cu) y el arsénico (As), es una de las principales amenazas ambientales y de salud pública. Estos contaminantes, provenientes principalmente de actividades industriales y agrícolas, son altamente tóxicos y persisten en el medio ambiente, lo que dificulta su eliminación. La exposición prolongada a estos metales puede causar efectos graves en los ecosistemas y en la salud humana, lo que resalta la necesidad urgente de tecnologías eficaces para su remoción.

La biosorción ha emergido como una alternativa prometedora para la descontaminación de aguas, aprovechando materiales naturales, como el bagazo de caña de azúcar, para adsorber metales pesados. Este subproducto agrícola, abundante y de bajo costo, posee características que lo hacen adecuado para este proceso, ofreciendo una solución accesible y sostenible para el tratamiento de aguas contaminadas.

Este estudio tiene como objetivo determinar la efectividad del bagazo de caña de azúcar para la biosorción de Pb, Cu y As en aguas contaminadas. A través de experimentos de laboratorio, se analizaron factores como la dosis de biomasa, el pH, el tiempo de contacto y las concentraciones de los metales, con el fin de identificar las condiciones más favorables para maximizar la remoción de estos contaminantes.

Con esta investigación se busca no solo entender el comportamiento del bagazo de caña de azúcar como adsorbente, sino también aportar a la búsqueda de métodos de tratamiento más económicos y sostenibles para la descontaminación de aguas a nivel local y, potencialmente, en contextos industriales.

La tesis está organizada en varias secciones clave. En el planteamiento del problema se describe la importancia de abordar la contaminación por metales pesados y se presentan los objetivos de la investigación, la justificación del estudio, la hipótesis y las variables consideradas. El marco teórico ofrece una revisión detallada de los antecedentes

relacionados con la biosorción de metales pesados, destacando el uso del bagazo de caña de azúcar y otros materiales biosorbentes en el tratamiento de aguas. En la metodología, se explican los procedimientos experimentales, el diseño del estudio y las herramientas utilizadas para analizar los resultados. Los resultados y la discusión presentan los hallazgos obtenidos, comparándolos con estudios previos y analizando la efectividad del bagazo de caña de azúcar. Finalmente, las conclusiones resumen los principales hallazgos y se proponen recomendaciones para futuras investigaciones.

## **II. Planteamiento del problema**

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

El agua es esencial para la vida humana y los ecosistemas, pero la creciente contaminación la está haciendo cada vez menos segura para el consumo humano. Los altos niveles de contaminación han puesto al agua en una situación alarmante, a pesar de su importancia tanto para las personas como para la naturaleza. Además, la contaminación del agua se ha convertido en un problema generalizado y preocupante, lo que refleja la creciente preocupación por los efectos negativos que las actividades humanas están causando en el medio ambiente.

El aumento de la contaminación por metales pesados en aguas residuales industriales representa un problema global. Estos metales tienen la capacidad de incorporarse en las cadenas alimenticias, lo que puede comprometer la salud, el bienestar y el equilibrio de los ecosistemas.

A nivel nacional, el Perú enfrenta desafíos significativos en la gestión de aguas residuales, particularmente aquellas que contienen metales pesados como arsénico, cobre y plomo. Actividades como la minería, la metalurgia, la industria electrónica, entre otras, generan efluentes altamente contaminantes que, en muchos casos, se vierten directamente a los cuerpos de agua sin un tratamiento adecuado. Esto provoca la contaminación de ríos y fuentes de agua potable, lo que no solo daña el ecosistema, sino que también representa una grave amenaza para la salud pública. La presencia de metales tóxicos en el agua incrementa la exposición a enfermedades relacionadas con estos contaminantes, afectando tanto a las comunidades cercanas a las zonas industriales como a la población en general, debido a la posible contaminación de fuentes de agua que abastecen a muchas regiones del país.

La mayoría de las industrias generan efluentes con altas concentraciones de

metales pesados y otros contaminantes perjudiciales, lo cual motiva la búsqueda de diversas alternativas para abordar este problema global. Según Vera, Uguña, García, Flores y Vásquez (2016), estas alternativas incluyen métodos como la precipitación, el tratamiento redox, el intercambio iónico, la filtración, procesos electroquímicos, tecnología de membranas y recuperación evaporativa. Sin embargo, debido a su alto costo y complejidad, estas soluciones son difíciles de implementar.

Se resaltaron las limitaciones de estas alternativas, como la generación de grandes cantidades de lodo residual en el proceso de floculación, lo cual implica un manejo adicional y costoso del residuo generado. Además, los métodos tradicionales como el intercambio iónico, la separación por membrana y la precipitación presentan bajos rendimientos en términos de eficiencia en la remoción de metales pesados, lo que limita su efectividad. Estos enfoques no solo demandan una inversión significativa en infraestructura, materiales y energía, sino que también ofrecen niveles de recuperación poco satisfactorios, lo que hace que no sean rentables ni sostenibles a largo plazo. Como resultado, muchas industrias prefieren no invertir en estas tecnologías, lo que lleva a la no adecuada gestión de las aguas residuales y, por ende, a un mayor impacto ambiental.

A pesar de estas limitaciones, se observa una motivación para explorar y encontrar nuevas alternativas que utilicen materiales accesibles y de bajo costo para una remoción eficiente de metales. La biosorción mediante biomateriales derivados de residuos agrícolas representa una de estas opciones, aunque aún no ha sido ampliamente adoptada en aplicaciones industriales.

Este estudio aborda la necesidad de encontrar métodos alternativos eficientes para eliminar plomo, cobre y arsénico del agua contaminada, especialmente en industrias con recursos limitados. En Apurímac, donde la minería es predominante, estas alternativas son viables. Según el informe realizado por la Contraloría General de la

República del Perú (2021), en Apurímac existen 111 pasivos ambientales mineros, estos son residuos de actividades extractivas que contienen metales pesados, que contaminan el agua y afectan la salud, así mismo el Ministerio del Ambiente (2013) reportó altos niveles de arsénico en la provincia de Espinar, superando el ECA de agua para la categoría 3, mientras que Guerrero y Ccallo (2024) encontraron concentración excesiva de cobre en el río Challhuahuacho, superando el ECA en la categoría 3 y 4. La falta de infraestructura y tecnología para tratar aguas residuales amenaza las fuentes de agua y la calidad de vida de las comunidades agrícolas, lo que hace urgente implementar soluciones tecnológicas y políticas para proteger el medio ambiente y la salud pública, promoviendo un desarrollo sostenible.

### **Problema general**

¿Cuál es la efectividad de la biomasa del bagazo de caña de azúcar en la biosorción de Pb, Cu y As en aguas contaminadas a nivel de laboratorio, Abancay-2023?

### **Problemas específicos**

- ¿Cuál es la dosis efectiva de la biomasa del bagazo de caña de azúcar en la biosorción de Pb, Cu y As en aguas contaminadas a nivel de laboratorio, Abancay-2023?
- ¿Cuál es el pH efectivo en la biosorción de Pb, Cu y As utilizando la biomasa del bagazo de caña de azúcar en aguas contaminadas a nivel de laboratorio, Abancay-2023?
- ¿Cuál es el tiempo de contacto efectivo en la biosorción de Pb, Cu y As utilizando la biomasa del bagazo de caña de azúcar en aguas contaminadas a nivel de laboratorio Abancay-2023?

## **2.2. Objetivos**

### **2.2.1. Objetivo general**

Determinar la efectividad de la biomasa del bagazo de caña de azúcar en la biosorción de Pb, Cu y As en aguas contaminadas a nivel de laboratorio Abancay-2023.

### **2.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar la dosis efectiva de la biomasa del bagazo de caña de azúcar en la biosorción de Pb, Cu y As en aguas contaminadas a nivel de laboratorio Abancay-2023.
- Determinar el pH efectivo en la biosorción de Pb, Cu y As utilizando la biomasa del bagazo de caña de azúcar en aguas contaminadas a nivel de laboratorio Abancay-2023.
- Determinar el tiempo de contacto efectivo en la biosorción de Pb, Cu y As utilizando la biomasa del bagazo de caña de azúcar en aguas contaminadas a nivel de laboratorio Abancay-2023.

### **2.3. Justificación e importancia**

Técnicamente, el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados representa un desafío importante debido a la alta complejidad y el costo de los métodos convencionales. En este contexto, la biosorción emerge como una técnica eficiente, de bajo costo y fácil de aplicar, que utiliza biomasa como el bagazo de caña de azúcar para remover metales pesados como plomo (Pb), cobre (Cu) y arsénico (As). Este residuo agrícola es abundante en nuestra región, lo que convierte a esta técnica en una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales industriales. Además, los datos obtenidos de las pruebas de laboratorio en este estudio permitirán evaluar la efectividad de la biosorción, proporcionando información valiosa para futuras investigaciones y su implementación tanto en el sector privado como en el público.

Teóricamente, el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados es esencial para

proteger la salud y los ecosistemas. Metales como el plomo, cobre y arsénico son tóxicos y su presencia en cuerpos de agua puede generar consecuencias graves. La biosorción, en la cual organismos biológicos como plantas y residuos agrícolas absorben metales, es una solución eficiente y amigable con el medio ambiente. En este estudio, el uso del bagazo de caña de azúcar para remover estos contaminantes no solo es viable desde el punto de vista técnico, sino también alineado con principios de sostenibilidad. Los resultados de este laboratorio ayudarán a profundizar en la comprensión teórica de la biosorción y su aplicabilidad.

Socioambientalmente, El tratamiento adecuado de aguas contaminadas es crucial para la salud pública y la protección del medio ambiente, ya que los metales pesados afectan tanto a los ecosistemas acuáticos como a las comunidades cercanas. El bagazo de caña de azúcar, un residuo agrícola accesible, ofrece una solución sostenible para la remoción de contaminantes y la gestión de residuos, a la vez que reduce los costos operativos de las industrias. Este estudio proporciona datos que pueden aplicarse en futuras investigaciones y en el desarrollo de sistemas de filtración simples para tratar aguas en zonas rurales, utilizando bagazo de caña para biosorber metales como Pb, Cu y As. Además, apoya proyectos educativos y de concientización ambiental sobre el tratamiento de aguas y el reciclaje de residuos agrícolas, promoviendo un desarrollo más sostenible y mejorando la calidad del agua y la salud ambiental.

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

La efectividad de la biomasa del bagazo de caña de azúcar es significativa en la biosorción de Pb, Cu y As en aguas contaminadas a nivel de laboratorio Abancay-2023.

#### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- La dosis efectiva de la biomasa del bagazo de caña de azúcar es mínima en la biosorción de Pb, Cu y As en aguas contaminadas a nivel de laboratorio Abancay-2023.
- El pH efectivo en la biosorción de Pb, Cu y As es 5 utilizando la biomasa del bagazo de caña de azúcar en aguas contaminadas a nivel de laboratorio Abancay-2023.
- El tiempo de contacto efectivo en la biosorción de Pb, Cu y As utilizando la biomasa del bagazo de caña de azúcar es mínimo en aguas contaminadas a nivel de laboratorio Abancay-2023.

## 2.5. Variables

**Tabla 1**

*Matriz de operacionalización de variables*

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES (CARACTERISTICAS)	INDICADORES	UNIDAD DE MEDICIÓN
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b>  <i>BIOMASA DEL BAGAZO DE CAÑA</i>	Según Amangandi (2017), el bagazo es el material residual que queda después de extraer el jugo de la caña de azúcar mediante cualquier método, ya sea molino o prensa.  En cuanto al bagazo de caña ( <i>Saccharum officinarum</i> ), su estructura física podría promover la capacidad de bioadsorción de metales, gracias a su superficie irregular y la presencia de diversos grupos funcionales, como los anillos aromáticos de lignina (Vera et al., 2016)	Fibra que actúa como biosorbente de acuerdo a una dosis y cantidad establecida, con una granulometría mínima. Esta biomasa se caracteriza por su composición de alto contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que la convierte en un material potencialmente útil.	Características del bagazo de caña de azúcar	Dosis	mg/lt
				Granulometría	um
				Composición Química	%
<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b>  <i>BIOSORCIÓN</i>	De acuerdo con Tejada et al. (2015) la bioadsorción es un método que permite la captación activa o pasiva de iones metálicos. Este proceso se basa en la capacidad de diversas biomasa, ya sean vivas o muertas, para capturar y acumular estos contaminantes metálicos a través de distintos mecanismos.  La efectividad de la bioadsorción está determinada por las propiedades del material biosorbente, así como por factores clave que afectan el proceso, tales como la cantidad utilizada, el tamaño de las partículas, el pH, la temperatura, la velocidad de agitación y el tiempo de contacto (Castillo et al., 2005).	Proceso fisicoquímico para la biosorción de metales, con el fin de determinar su capacidad, se determinó la concentración inicial y final de la muestra, el tiempo de contacto efectivo y la cantidad de remoción.	Capacidades de biosorción	Concentración Inicial y Final	PPM
				Tiempo de Contacto	minutos
				Efectividad (Cantidad de remoción)	mg/lt %
				Temperatura	°C
				Agitación	RPM
				pH	Acido, neutro, básico.

Nota. *Elaboración propia*

### III. Marco teórico

#### 3.1. Antecedentes de la investigación

##### 3.1.1. A nivel internacional

En la revista cubana de química Trujillo et al. (2021) en su investigación titulada “Remoción de Pb (II) usando meollo del bagazo de la caña de azúcar como biosorbente”, cuyo objetivo fue determinar la capacidad de sorción, realizar la caracterización del bagazo y establecer las condiciones favorables, usaron el método SEM (Microscopia Electrónica de Barrido), realizaron la caracterización físico-química completa reportada en trabajos anteriores, y ensayos de laboratorio por el método batch, colocaron una masa determinada del bagazo en contacto con 50 ml de soluciones de Pb (II) como muestra, en frascos erlenmeyers de 250 mL, obtuvieron un resultado exitoso obteniendo una capacidad máxima de sorción de 22.39mg/g, los estándares más adecuados con los cuales trabajaron fueron en un tamaño de partícula de 0.5mm, en un tiempo efectivo de 45 minutos, dosis de 3g/L, temperatura de 30°C, a un pH de 5, en conclusión indica que es un absorbente efectivo para la remoción de iones de Pb.

En el artículo de Martínez et al. (2017) “Caracterización físico química del bagazo de caña natural utilizado como biosorbente en la remoción de hidrocarburos en agua” publicado en la revista ICIDCA sobre derivados de la caña de azúcar, cuyo objetivo era determinar la capacidad de adsorción del bagazo, usaron el método SEM y ensayos de laboratorio, donde tomaron como muestra 1 litro de hidrocarburos, el resultado fue capacidad de adsorción de 1,77 g de hidrocarburo por gramo de bagazo natural, en el análisis SEM se revelaron cambios estructurales en el bagazo después de su uso, evidenciando un desmembramiento superficial y la presencia de elementos químicos como Fe, Si, Na y Mg, con un incremento en la relación C/O en

comparación con el bagazo de caña de azúcar no utilizado, en conclusión el bagazo de caña tiene alta capacidad de adsorción en hidrocarburo.

En el proyecto de investigación ejecutado por Amangandi (2017) “Remoción de plomo en agua residual mediante bioadsorción obtenida del bagazo de caña de azúcar” donde su objetivo fue la verificación de la variación de concentración de plomo usando el bagazo de caña, cuya técnica para la recolección de datos la realizaron mediante la observación y la toma de apuntes en Excel, construyeron un biofiltro a escala de laboratorio, cuya muestra fue 6 litros de solución de plomo, donde se puede apreciar que obtuvieron resultados emotivos, con un porcentaje de remoción del plomo de 76.14%, con los siguientes parámetros adecuados, tiempo óptimo de 20 minutos, una dosis de 600g, además con el uso de la prueba Anova tuvieron como conclusión que la remoción se dio en gran porcentaje por el material absorbente en este caso el bagazo de caña.

Vera et al. (2016) en su estudio “Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente” con el objetivo de determinar las condiciones y el porcentaje de biosorción en plomo y cadmio, usaron el método SEM, análisis elemental, y ensayos de laboratorio, tomaron como muestra 300ml de soluciones de cadmio y plomo de 10ppm, los resultados del análisis SEM, demostraron que el bagazo muestra una superficie irregular y gran variedad de grupos funcionales lo que facilita su uso como biosorbente de especies metálicas ( $Cd^{2+}$  y  $Pb^{2+}$ ) en disoluciones acuosas diluidas. El proceso de biosorción para el plomo es más eficiente a un pH de 5, logrando una remoción del 97.66%, en el caso del cadmio, alcanzaron un 80% de remoción a un pH de 6, sobre el tiempo de contacto reveló que el mayor porcentaje de remoción se alcanza a los 10 minutos. En conclusión, es efectiva la biosorción en plomo y cadmio en aguas residuales con el

bagazo de caña.

Duany et al. (2022) en su artículo "Bioadsorbentes no convencionales para la remoción de metales pesados", publicado en la revista Tecnología química de la Universidad de Oriente Cuba, con el objetivo es demostrar la ventaja de usar bioadsorbentes de origen natural en la remoción de metales, donde revisaron investigaciones sobre biosorbentes no tradicionales utilizados en todo el mundo para la reducción de metal pesado. Como resultado el uso de biosorbente tiene ventaja sobre los métodos tradicionales debido a su alta disponibilidad, bajo costo y degradabilidad, lo que concluyeron que uno de los mejores biosorbentes no convencionales es el bagazo de caña, además de otros como la cascara de naranja, yuca, plátano, huevo, y borra de café.

### **3.1.2. A nivel nacional**

Bazán (2017) en su investigación "Adsorción de Plomo de agua de efluentes mineros utilizando Bagazo de Caña, Tusa de Maíz, y Fibra de Coco", cuyo objetivo fue determinar la eficacia en la absorción de plomo, usaron la técnica de observación y evaluación de los ensayos de laboratorio. Tomaron de muestra las aguas de los efluentes del "Consortio Minero Horizonte" de la región La Libertad. El proceso consistió en que la biomasa se produjo mediante un proceso de adsorción, se secó en estufa a 120 °C durante 24 h, se pulverizó y tamizó con un tamíz de 40 micras. Pesaron 5g de biomasa y añadieron agua que contenía plomo. Prepararon nueve muestras exponiéndose a un tiempo de contacto de 30, 60 y 90 minutos para cada tipo de biomasa. Luego, el líquido se filtró, digirió y realizaron los análisis correspondientes en 9 muestras y 2 réplicas de una muestra en blanco de agua residual de la mina. Los resultados obtenidos muestran la adsorción Bagazo de caña: 94.80% (90 minutos), tusa de maíz 88.10%, fibra de coco: 98.02%(60 minutos). Por lo que

concluyen que la fibra de coco es más efectiva, seguido del bagazo de caña y la tusa de maíz.

Angulo et al. (2022) en su tesis realizada “Efecto de la Ceniza del Bagazo de la Caña de Azúcar en la Remoción de Plomo, Aija, 2022” con el objetivo de determinar el efecto de la ceniza del bagazo de caña en la remoción de plomo, usando como técnica la observación y análisis documentales del proceso desarrollado en laboratorio, cuya población fue el agua del río Iltacán donde se tomaron como muestra 22 litros, el proceso consistió en la activación térmica del bagazo de caña y la construcción de un biofiltro, como resultado determinaron que la biomasa puede remover hasta un 86% como máximo y en mínimo un valor de 75%, trabajaron a tres distintas dosificaciones de 1, 1.5 y 2 g/L, con pH de 7.95, 7.97 y 8.02 correlativamente. Concluyen que la ceniza del bagazo de caña es efectiva.

En su tesis, Licares (2019) “Capacidad de bioadsorción de la cáscara de tuna (*Opuntia ficus-indica*) para remover los iones de plomo (II) de una solución acuosa” con el objetivo de determinar la capacidad de la cáscara de tuna para la biosorción de Pb, donde usaron como técnica la observación y análisis de datos, obtenidos en los procedimientos de laboratorio, tomaron como muestra al bagazo de caña y 500ml solución de plomo, utilizando una solución acuosa de nitrato de plomo a 1000 ppm y pH neutro, añadieron 0.50 g de *Opuntia Ficus Indica* triturada, agitándola a 150 rpm durante 120 minutos a temperatura ambiente. Este estudio dio como resultado la remoción del Plomo (II) del 98.02%. El análisis textural mediante BET reveló un área superficial de 2.1050 m<sup>2</sup>/g, un volumen de poro de 0.000805 m<sup>3</sup>/g y un diámetro de poro de 248.91753 nm a 77 °K, por lo que concluyen la eficacia del proceso de adsorción de plomo (II) por la biomasa de *Opuntia ficus-indica*, que además resulta ser una opción económica.

En la tesis desarrollada por Carbajal (2017) “Eficiencia del Bagazo de la Caña de Azúcar en la Remoción de Plomo de Aguas Contaminadas, a nivel de laboratorio – 2017” menciona como objetivo evaluar la eficiencia del bagazo en la remoción de plomo, la técnica que emplearon fue la observación durante el proceso de ensayos y el análisis por el espectrofotómetro de absorción atómica., tomaron como muestra 3kg de bagazo. El estudio nos plasma sus resultados favorables en la remoción de plomo y que servirá de guía en este presente trabajo de investigación, dando un resultado exitoso de 92.08%, los estándares de trabajo fueron en cuanto a la granulometría a 150um, a 300rpm, y tiempo de contacto de 30min. En conclusión, lograron evaluar la eficiencia, que a mayor cantidad de absorbente menor será la concentración final, que a mayor rpm mejora el proceso de biosorción, y a menor granulometría mayor remoción.

En su investigación, Huallpa (2017) “Biosorción con panca de maíz (*Zea mays*) para la remoción de Arsénico en aguas contaminadas a nivel de laboratorio, 2017.” Menciono como objetivo determinar en qué medida la biosorción utilizando panca de maíz (*Zea mays*) remueve arsénico, usó como técnica la observación en laboratorio, tomando como muestra 9 litros de agua contaminada, donde inicialmente, preparó el biosorbente a partir de la panca de maíz, el cual fue sometido a una modificación química con una solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para aumentar el contenido de lignina y activar los grupos funcionales presentes en el biosorbente. Luego, preparó una solución patrón de 100 mg As/L que se diluyó con agua destilada para obtener una concentración final de 0,113 mg As/L, utilizada en todos los tratamientos experimentales. Llevo a cabo las mediciones de parámetros fisicoquímicos como pH, temperatura, conductividad y concentración inicial de arsénico. El proceso de biosorción lo realizó en jarras de prueba pre-acondicionadas, con un tiempo de

contacto de 60 minutos y una velocidad de agitación de 200 rpm. Estableció seis tratamientos, cada uno con 500 ml de agua y tres réplicas, a los cuales añadieron diferentes dosis del biosorbente (0,5; 1 y 1,5 g) y distintos tamaños de partícula (250 y 600  $\mu\text{m}$ ). Después de completar el tratamiento, filtro las muestras y lo conservo con una solución de HCl para posteriormente medir la concentración final de arsénico utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica. De todos los tratamientos que evaluó, se observó como resultado que el tratamiento T6 replica 1, que utilizó 1,5 g de biosorbente y partículas de 250  $\mu\text{m}$ , mostró la mayor capacidad de remoción de arsénico, alcanzando un porcentaje de 37,16%. El autor concluye que la panca de maíz redujo de la concentración de arsénico en las aguas contaminadas.

### **3.1.3. A nivel regional y local**

En su estudio, Janqui (2021) “Remoción de molibdeno del agua del río Challhuahuacho de Cotabambas-Apurímac con carbón activado de tusa de maíz (*Zea mays*)” mostrando como objetivo evaluar la capacidad de remoción de molibdeno, desarrollo la técnica de observación, en la activación físico-térmica (pirólisis) en dos etapas: carbonización y gasificación a 900°C, cuya estructura química lo caracterizó mediante análisis de espectroscopía infrarroja, usando de muestra las aguas del río Chalhuahuacho. Ajusto los pH de las soluciones utilizando H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NaOH. Llevo a cabo cinco tratamientos diferentes variando la cantidad de carbón activado y los pH de las soluciones, obteniendo de resultado una remoción máxima del 90.5% a pH 9 utilizando 0.8 g de carbón. La capacidad de adsorción lo determinó como 2.22 mg de Mo/g utilizando 0.05 g de carbón a pH 9. La porosidad lo evaluó por método gravimétrico, mostrando un valor del 60.21%, y el área superficial lo determinó como 174.55 m<sup>2</sup>/g utilizando ChemiSorb 2720. En conclusión, el carbón activado de tusa de maíz demuestra ser altamente efectivo para el tratamiento de aguas contaminadas

con molibdeno.

En su tesis, Agrada (2018) “Evaluación de un Sistema de Biorremediación de Agua con Metales Pesados Usando Biomasa de Basidiomicetos Provenientes del Santuario Nacional del Ampay” cuyo propósito fue de evaluar el sistema de biorremediación, el método para la determinación de metales fue la espectrofotometría de absorción atómica, como población tuvo 10 variedades de basidiomicetos, y la muestra fue de 4, el estudio se centró en el desarrollo exitoso de un sistema de biorremediación que emplea biomasa seca de basidiomicetos pertenecientes a los géneros *Geastrum*, *Hygrophorus*, *Cantharellus* y *Ectomycorrhiza*, empaquetados en cuatro columnas de laboratorio. La biomasa del basidiomiceto del género *Cantharellus* mostró la mayor capacidad de biorremediación, con una retención del  $100 \pm 0.049\%$  de cobre,  $100 \pm 0.051\%$  de plomo y  $100 \pm 1.197\%$  de cadmio. A continuación, el basidiomiceto del género *Ectomycorrhiza* retuvo el  $56.56 \pm 0.017\%$  de cobre, el  $100 \pm 0.005\%$  de plomo y el  $87.53 \pm 0.005\%$  de cadmio. El basidiomiceto del género *Hygrophorus* logró retener un  $65.41 \pm 0.012\%$  de cobre, un  $74.79 \pm 0.004\%$  de plomo y un  $41.29 \pm 0.08\%$  de cadmio. Por último, el basidiomiceto del género *Geastrum* retuvo el  $0.63 \pm 0.060\%$  de cobre, el  $69.41 \pm 0.001\%$  de plomo y el  $1.65 \pm 0.071\%$  de cadmio. En conclusión, logró desarrollar de manera óptima el sistema de biorremediación.

## **3.2. Bases teóricas**

### **3.2.1. Metales pesados y problemática ambiental**

La mayoría de los elementos químicos son comunes en nuestro entorno natural.

Los metales desempeñaron un papel crucial en el avance de la civilización, lo cual ha sido beneficioso. Sin embargo, surge un dilema cuando se extiende su uso en la industria y en la vida diaria, lo que puede resultar perjudicial para la salud. Este crecimiento poblacional y la industrialización rápida han generado

serios problemas de contaminación y daño ambiental, particularmente en las naciones en desarrollo.

De acuerdo al estudio realizado por (Bermejo, 2016) una vez liberados al medio ambiente, los metales pesados circulan entre los ciclos bióticos y abióticos. Debido a su capacidad de bioacumulación, persistencia y falta de biodegradación, pueden permanecer en cuerpos de agua durante siglos. Esta persistencia ha llevado a la acumulación significativa de diversos metales en el ambiente, causando múltiples impactos en la salud humana y en el equilibrio de los ecosistemas. Entre los más peligrosos se encuentran el plomo, mercurio, arsénico y cadmio, los cuales no tienen función biológica conocida.

Como nos menciona (Sánchez, 2018), los metales pesados son elementos químicos que tienen una alta densidad y pueden resultar tóxicos incluso en concentraciones bajas. Se encuentran comúnmente en cuerpos de agua y en vertidos industriales procedentes de actividades como la minería, la industria papelera, la metalurgia, la minería, la industria textil, la producción de químicos orgánicos e inorgánicos, y la fabricación de plásticos, entre otras. Además, estos elementos no son biodegradables, lo que significa que son persistentes y tienden a acumularse tanto en el medio ambiente como en los organismos vivos, con consecuencias adversas para la salud de estos seres vivos.

Como se menciona en la revista del Instituto Nacional de Higiene, Rangel (2017) los metales tóxicos son un grupo de elementos químicos cuyos pesos atómicos oscilan entre 63,55 y 200,59. Dependiendo de su concentración, pueden representar cierta toxicidad para los seres humanos, siendo especialmente peligrosos sus iones y compuestos. Dentro de esta categoría se encuentran el Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio

(Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn).

**Tabla 2**

*Actividades industriales y comerciales que generan problemas de aguas contaminadas*

<b>Tipo de industria</b>	<b>Parámetros a considerar como mínimo (puede haber otros parámetros relevantes)</b>
Acumuladores/baterías	Plomo, cromo, níquel, cadmio, arsénico
Pinturas/lacados	Disolventes (clorados y otros), arsénico, cromo, cobre, cadmio, plomo, zinc, estaño
Curtidos	Disolventes (clorados y otros), cromo, cobre, cadmio, níquel, arsénico, zinc
Galvanización	Disolventes, cromo, cobre, cadmio, zinc, arsénico, plomo, cianuro
Chatarrerías	Plomo, cobre, cromo, níquel, cadmio, aceites
Fundiciones/acerías	Cadmio, cobre, cromo, níquel, plomo, zinc, molibdeno, aceites, fenoles, BTEX, disolventes clorados.
Imprenta y artes graficas	Disolventes (clorados y otros), plomo, cobre, mercurio, cromo, níquel
Fabricación de pesticidas	Disolventes (clorados y otros), pesticidas, arsénico, mercurio, cromo, cobre
Minería y metalurgia	plomo, mercurio, cadmio, arsénico, zinc , cobre, entre otros.

*Nota.* Actividades industriales y los metales residuales que estos generan en el vertimiento de sus aguas residuales, Adaptado de “Biosorción de Plomo (II), Presente en Soluciones Acuáticas, con Cascara de Tuna (Opuntia Ficus - Indica)” (p. 19), por Miranda, 2012.

- **Plomo**

En su estudio realizado De la Cruz (2018) menciona que el plomo se utiliza como aditivo en baterías, gasolina, televisores, entre otros productos. La

ingestión de plomo es altamente perjudicial para la salud, causando retraso mental y enfermedades cardiovasculares. La absorción de plomo es significativamente mayor en los niños, alcanzando hasta un 50%, mientras que en los adultos es aproximadamente un 10%.

- **Cobre**

De la Cruz (2018) nombra que el cobre tiene una amplia aplicación en la industria de la construcción, siendo utilizado en una variedad de derivados como clavos, aleaciones, utensilios de cocina y joyería. También se emplea en el sector del transporte. El sulfato de cobre encuentra uso como pesticida, si bien la ingestión de este compuesto puede ser letal. Entre los efectos adversos se incluyen anemia, reducción en la tasa de crecimiento, diarreas e infertilidad.

- **Arsénico**

El arsénico se encuentra naturalmente en rocas junto con otros minerales como níquel y plata. Se utiliza en la fabricación de anticorrosivos y pesticidas. La exposición prolongada a este metal puede causar lesiones en la piel, razón por la cual el arsénico está clasificado en el grupo 1 de sustancias cancerígenas (De la Cruz, 2018).

### **3.2.2. Métodos para la eliminación de metales pesados**

Existen numerosos métodos disponibles para reducir la presencia de metales pesados en el agua. Por ejemplo, para disminuir la concentración de Cobre(Cu), Arsénico (As) y plomo (Pb), se pueden emplear técnicas como fangos activados, nitrificación, filtro percolador, coagulación, floculación, sedimentación, adsorción con carbón activado, entre otros (Pintado, 2018). En este estudio se empleó el método de biosorción.

- **Tratamiento primario**

Según lo mencionado por Pintado (2018), este tipo de procesamiento de agua contaminada o residual se lleva a cabo con el fin de disminuir la cantidad considerable de materia sólida suspendida, como coloides, aceites, grasas y metales pesados.

- **Decantación**

Se procede a la sedimentación de los sólidos residuales o materiales en suspensión que están presentes en el agua contaminada. Como resultado de este proceso, se forman lodos primarios, también conocidos como fangos (Pintado, 2018).

- **Neutralización**

Mediante la neutralización se realiza la precipitación de los metales pesados, se tiene que ajustar a un pH óptimo para lograr este proceso (Pintado, 2018).

- **Coagulación**

Según Pintado (2018), la coagulación se refiere al proceso mediante el cual se desestabilizan los componentes de una sustancia que originalmente estaban estables, como se observa en la figura 1. Una vez que se ha reducido significativamente la cantidad de sólidos suspendidos, se aplica la coagulación para eliminar el material coloidal. Este proceso implica la adición de sustancias como sales de aluminio o hierro, que neutralizan las cargas eléctricas de las micelas. También existe un método de coagulación que utiliza un proceso de precipitación.

- **Floculación**

Pintado (2018) describe que este proceso consiste en la creación de agregados más grandes que los formados durante la coagulación, los cuales

sedimentarán una vez se agrupan. Como agentes de floculación se suelen emplear polielectrolitos orgánicos sintéticos.

- **Electrodiálisis**

Según Pintado (2018), se describe como un sistema de reservorio dividido por membranas permeables alternadas entre aniones y cationes, dispuestas verticalmente. Este sistema utiliza corrientes directas para lograr una eliminación del 50% de los compuestos inorgánicos presentes en el agua contaminada.

- **Adsorción a través de carbón activado**

En el tratamiento de agua contaminada, se emplea carbón activado granular para capturar principalmente contaminantes orgánicos volátiles. Para obtener resultados efectivos, es crucial optimizar tanto el tiempo de contacto como el área de superficie del lecho (Pintado, 2018).

- **Ósmosis inversa**

Se lleva a cabo mediante el uso de una membrana semipermeable que permite únicamente el paso del agua y no de otros materiales, utilizando presión como método (Pintado, 2018).

- **Microfiltración**

Consiste en emplear microfiltros con mallas de acero de diferentes tamaños (30, 20, 10, 6 micras, etc.), donde las partículas sólidas quedan atrapadas (Pintado, 2018).

### **3.2.3. Biosorción**

Esta implica la absorción de diferentes sustancias químicas por biomasas (vivas o muertas) a través de mecanismos fisicoquímicos tales como adsorciones, intercambios iónicos y metabolismos cuando se utilizan biomasas

vivas. Estudios de biosorción de cadmio por biomasas de opuntia. (Rosique Hueso, 2013, p. 36).

La biosorción es barata porque utiliza materiales biológicos que no tienen ningún uso industrial. Residuos agrícolas (arroz, naranjas, limones, cáscaras de pomelo, zuro de maíz, soja, salvado de arroz, etc.), algas con pobre poder gelificante no utilizadas en procesos industriales, hongos y levaduras. El corto tiempo de contacto del material biológico utilizado en el proceso produce aguas residuales de altas calidades se puede usar en una variedad de condiciones. (Sala et al., 2010).

Los procedimientos de biosorción son una técnica alternativa que utiliza material biológico como alga y bacteria para adsorber contaminantes. Residuo agrícola, urbano e industrial es de gran interés por su extensa disponibilidad, alta eficiencia de proceso y pequeño precio. El proceso involucra intercambios selectivos de unos o más iones de las fases líquidas a partículas a granel y materiales biológicos sólidos e involucra varios mecanismos químicos y físicos. Esta opción no solo minimiza su impacto negativo en el medio de vertido, sino que también permite su reciclaje. (Balseca Avendaño, 2017, pág. 21)

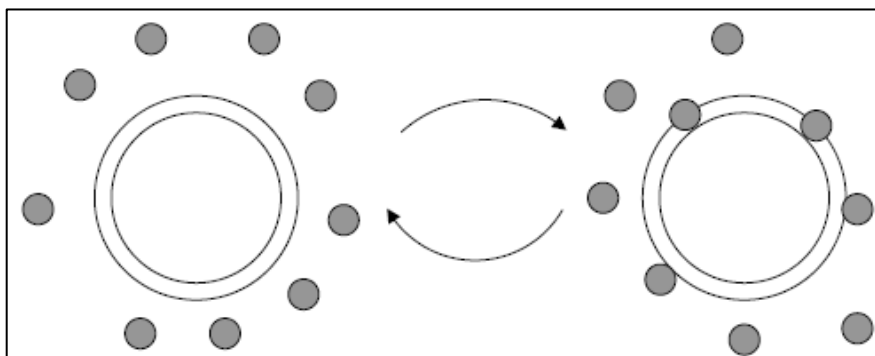
Según Miranda (2012), la biosorción es un proceso pasivo, lo que implica que el biosorbente no necesita realizar funciones metabólicas durante este proceso. Este fenómeno ocurre mediante la interacción entre iones metálicos y grupos funcionales presentes en biopolímeros de la pared celular de organismos inertes. La biosorción se refiere a la capacidad de materiales de origen biológico para, por ejemplo, atrapar metales tóxicos en la superficie de la pared celular o membrana durante un proceso de equilibrio (Figura N°1).

Por tanto, la biosorción puede considerarse como un proceso típico de

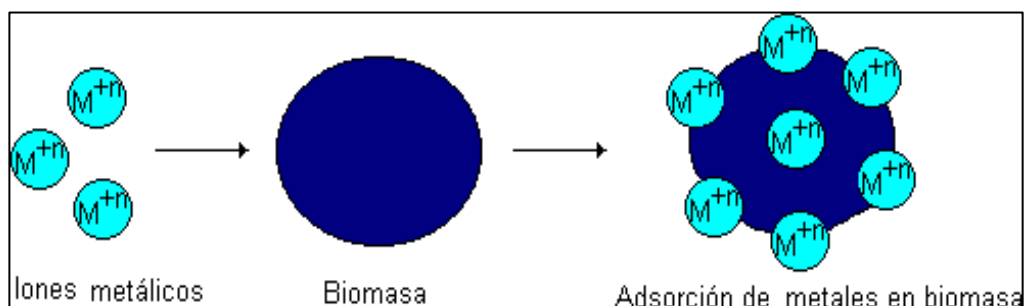
adsorción. Existen diversas categorías de biosorbentes: aquellos derivados de desechos o materiales (con capacidad de sorción intermedia), biomasa naturalmente cultivada y recolectada (generalmente de bajo costo), y especialmente biomasa cultivada (con alta capacidad de sorción y posibilidad de recuperación). Los biosorbentes son materiales de origen biológico capaces de capturar metales y compuestos orgánicos. Pueden provenir de microorganismos, hongos, algas marinas, plantas o animales. Cada tipo de biomasa posee características para la captura de metales, determinadas por la estructura química de las biomoléculas que presentan grupos funcionales similares (Miranda, 2012).

### Figura 1

#### *Biosorción de iones metálicos*



*Nota.* La figura representa el proceso de biosorción cuando los metales se adhieren a la superficie de pared celular. Adaptado de “Biosorción de Plomo (II), Presente en Soluciones Acuáticas, con Cascara de Tuna (Opuntia Ficus - Indica)” (p. 29), por Miranda, 2012.

**Figura 2***Biosorción de Metales Pesados*

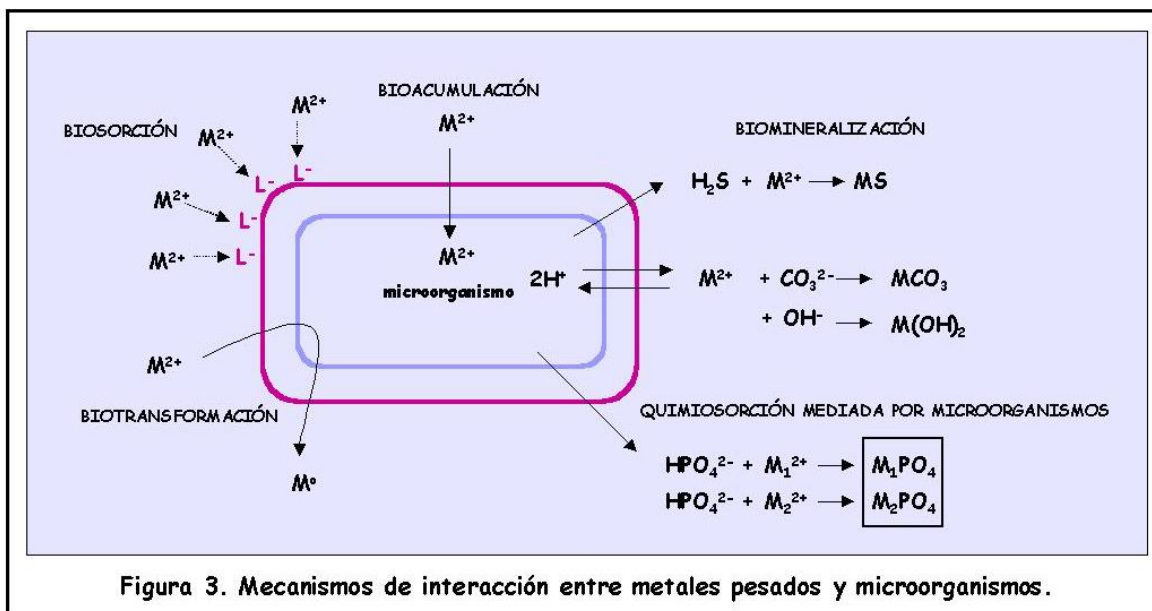
*Nota.* La figura muestra el proceso de biosorción. Adaptado de “Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa” (p. 60), por Reyes et al., 2006.

**Inmovilización de metales pesados**

Dentro de la gran diversidad microbiana, se encuentran microorganismos que son resistentes y otros que son tolerantes a metales. Los microorganismos resistentes se distinguen por poseer mecanismos de detoxificación que están codificados genéticamente y son activados por la presencia del metal. En contraste, los microorganismos tolerantes muestran indiferencia hacia la presencia o ausencia de metales. Ambos tipos de microorganismos son de especial interés como agentes captadores de metales en ambientes contaminados, ya que ambos pueden remover los contaminantes. La capacidad de resistencia o tolerancia de los microorganismos se logra gracias a diversos mecanismos, que incluyen biosorción, bioacumulación, biomineralización, biotransformación y quimiosorción mediada por microorganismos (Vullo, 2003).

**Figura 3**

*Mecanismos de interacción entre metales pesados y microorganismos*



*Nota.* La figura muestra los mecanismos de interacción, entre ellos está la biosorción. Adaptado de “Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente” (p. 98), por Vullo, 2003, *Revista QuimicaViva*, 2(3).

- **Biosorbentes**

Debido a la necesidad de tratar aguas contaminadas con metales pesados, se ha incrementado el uso de biosorbentes como una solución a este problema. Este enfoque resulta muy económico, ya que los biosorbentes pueden ser residuos biológicos como cáscaras de frutas, algas o semillas (Rangabhashiyam y Balasubramanian, 2019), preferiblemente aquellos que no requieren modificaciones costosas. Estos residuos biológicos proporcionan una estructura sólida que interactúa con los metales, reduciendo su concentración en la solución (Fomina y Gadd, 2014). El metal se une a la matriz biológica a través de centros activos presentes en ella, utilizando diversos mecanismos como absorción, adsorción física, intercambio iónico, formación de complejos, microprecipitación o quelación. Debido a la diversidad de estos mecanismos de interacción, a veces ocurriendo

simultáneamente, se utiliza el término biosorción para englobarlos todos (Sánchez, 2019).

Según Sánchez (2019), esta práctica permite utilizar los residuos de una empresa para eliminar contaminantes de las aguas residuales generadas por otras empresas. De esta manera, lo que para unas industrias es un desecho, para otras se convierte en un método de tratamiento de aguas contaminadas. Además, dado que los costos no son excesivamente altos, las empresas pueden adoptar esta solución sin que afecte significativamente a su economía.

### **A. Beneficios**

Según Nilanjana, et al (2008) en su artículo “Biosorption of heavy metals un generalista. Indian Journal of Biotechnology”, comparado a los métodos clásicos de extracción de metal, el proceso de biosorción tiene más beneficios en comparación:

- **Bajo costo:** Porque los biosorbentes utilizados a menudo consisten en materiales naturales como algas o residuos de operaciones industriales como la fermentación o la agroindustria, que está disponible en gran cantidad.
- **Alto rendimiento y propiedad selectiva:** El desempeño de recolección de metal con diferente tipo de fuente de energía es casi selectivo con respecto a diferentes metales. Esto está sujeto, entre otras cosas, al género de biomasa, al procedimiento de tratamiento (pre tratamiento físico-químico) y a la mezcla de soluciones.
- **Regenerativo:** Algunos biosorbentes son reutilizables una vez que se restaura los metales.
- **Menos formación de lodos:** Disminuyen las dificultades secundarias asociadas a la creación de lodos que se presentan de

manera alternativa a la precipitación de químicos. (Nilanjana, Vimala, & Karthika, 2008)

## **b) Factores que afectan el proceso de biosorción**

Cayllahua y Gonzales (2020) mencionan en su estudio que la capacidad de absorción puede ser influenciada de manera positiva o negativa por diversas variables como la temperatura, el pH, el tamaño de las partículas o la presencia de otros iones. Estos factores pueden incrementar o reducir la absorción de los iones metálicos.

- **Tipo de material biosorbente**

Está determinada principalmente por su composición superficial y reactividad química, ya que éstas establecen el mecanismo de retención de sorbatos. Otro factor que afecta el uso es la propiedad física como densidades, porosidades, resistencia mecánica, tamaño y formas de las partículas, Izquierdo (2010).

- **Tiempo de contacto**

El tiempo juega un papel crucial en el proceso de biosorción, ya que el biosorbente alcanza su saturación en un período específico, limitando así la eficacia en la eliminación del metal en estudio. Por esta razón, es fundamental investigar cómo afecta el tiempo de contacto entre el biosorbente y el metal pesado, el tiempo de contacto varía según la concentración del metal pesado; a menor concentración en la solución, se requiere menos tiempo para su remoción (Pintado, 2018).

- **Temperatura**

Un incremento considerable en la temperatura puede provocar alteraciones en la estructura del sorbente y deterioro del material,

resultando en una disminución de su capacidad de absorción (Cayllahua & Gonzales, 2020).

- **Tamaño de partícula**

La capacidad de retención aumenta cuando el tamaño de las partículas disminuye, debido a que las partículas más pequeñas ofrecen más sitios activos para la adsorción. Esto facilita una mejor difusión de los contaminantes en los poros y mejora la interacción entre los adsorbatos y la superficie activa. Esta mayor disponibilidad de sitios activos no solo mejora la capacidad de adsorción, sino también la velocidad de las reacciones, ya que las partículas más pequeñas permiten una mayor superficie de contacto. Según Izquierdo (2010), la relación entre el tamaño de partícula y la eficiencia de adsorción es clave para optimizar los procesos de tratamiento. Para este estudio se trabajó con 500um de tamaño de partícula.

- **El pH de la solución**

Es el factor principal de la biosorción de metal pesado. El pH de las soluciones determina no sólo los grados de protonación del grupo funcional, sino también el proceso químico. El valor de pH óptimo es diferente para cada sistema biosorbente y depende de la composición de la solución que contiene el metal, el biosorbente metal a eliminar.

Los aumentos de las capacidades de adsorciones con los aumentos del pH se deben al efecto competitivo de los sitios activos en materiales entre el ion hidronio y los metales.

Sus efectos sobre las disociaciones de grupo funcional en las superficies del adsorbente cambian las cargas superficiales, haciéndola negativa, y a

medida que aumenta el pH aumenta la capacidad de adsorción de las especies catiónicas. A diferencia de las absorciones de aniones metálicos, se observan aumentos con la disminución del pH. Estudio titulado "Remoción de metal pesado en agua por biosorción". Caracterización de materiales y modelado de procesos". (Izquierdo, 2010).

- **Presencia de iones metálicos**

La existencia de iones en la solución puede ocasionar que compitan con el metal por los sitios de absorción (Tejada et al., 2015). Este fenómeno, conocido como interferencia iónica, puede afectar significativamente la eficiencia del proceso de biosorción. Los iones presentes en el medio acuoso pueden saturar los sitios activos de la biomasa utilizada, lo que reduce la capacidad de adsorción del metal objetivo. Además, algunos iones pueden tener una mayor afinidad por los sitios de unión en la superficie de la biomasa, lo que dificulta la remoción efectiva de metales pesados como el plomo, cobre y arsénico. Este tipo de competencia iónica es un factor importante a considerar en los procesos de tratamiento de aguas residuales, ya que puede requerir la optimización de las condiciones experimentales, como el pH, la concentración de iones y el tiempo de contacto, para mejorar la selectividad y eficiencia de la biosorción.

Según Trelles (2013) los factores que afectan la biosorción de contaminantes en pruebas son los siguientes:

**Tabla 3***Factores que influyen en el proceso de biosorción*

<b>Factor</b>	<b>Efecto sobre la biosorción de contaminantes</b>
<b>pH de la solución</b>	Mejora la remoción por biosorción de metales catiónicos, pero reduce la de los metales aniónicos.
<b>Temperatura</b>	Usualmente mejora la remoción por biosorción al incrementar la actividad superficial y energía cinética del (ab)sorbato, pero puede dañar la estructura física del biosorbente.
<b>Fuerza iónica</b>	Reduce la remoción por biosorción al competir con el (ab)sorbato por los sitios de captura del biosorbente.
<b>Concentración inicial del contaminante</b>	Incrementa la cantidad de contaminante biosorbido por unidad de peso del biosorbente, pero reduce su eficiencia de remoción.
<b>Dosis de biosorbente</b>	Reduce la cantidad de contaminante biosorbido por unidad de peso de biosorbente, pero incrementa la eficiencia de remoción.
<b>Tamaño de biosorbente</b>	En procesos de sistema de lote (sistema batch), las muestras de biosorbente de tamaño reducido son favorables debido a que incrementa el área superficial del biosorbente.
<b>Velocidad de agitación</b>	Mejora la tasa de remoción por biosorción al reducir la resistencia de transferencia, pero puede dañar la estructura del biosorbente.
<b>Concentración de otros contaminantes en la solución</b>	Si un contaminante se encuentra presente y compite con el contaminante objetivo por los sitios de captura o forma algún compuesto con este, una mayor concentración de otros contaminantes reducirá la remoción del contaminante objetivo.

*Nota.* La tabla nos muestra los distintos factores que influyen en el proceso de biosorción.

Adaptado de “Biosorción con panca de maíz (*Zea mays*) para la remoción de Arsénico en aguas contaminadas a nivel de laboratorio, 2017.” (p. 24), por Trelles, 2013.

#### **3.2.4.**

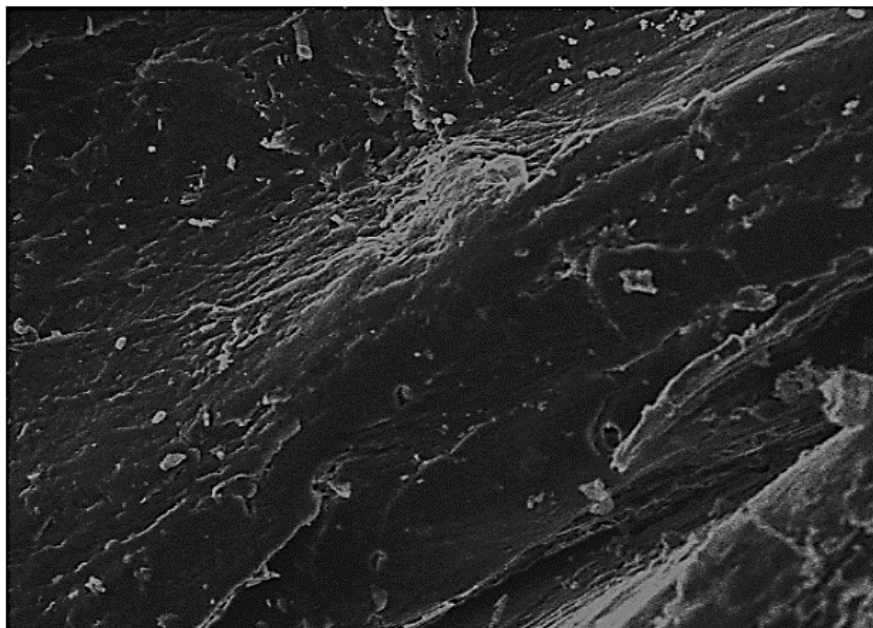
### 3.2.5. El bagazo de caña de azúcar

Según Amangandi (2017), el bagazo es el material residual que queda después de extraer el jugo de la caña de azúcar mediante cualquier método, ya sea molino o prensa. Este residuo fibroso se obtiene al prensar y extraer los jugos de la caña, y su composición puede variar según el tipo de caña, su grado de madurez y el método de cosecha utilizado.

En cuanto al bagazo de caña (*Saccharum officinarum*), su estructura física podría promover la capacidad de bioadsorción de metales, gracias a su superficie irregular y la presencia de diversos grupos funcionales, como los anillos aromáticos de lignina. Esto permite que el material pueda adsorber plomo en diversas zonas, según lo indicado por Vera y colaboradores en 2016.

#### Figura 4

*Microcopia electrónica de barrido del bagazo de caña*



*Nota.* La figura nos muestra la imagen de Microscopía electrónica de barrido (SEM), la caracterización morfológica del bagazo de caña, se efectuó mediante el microscopio electrónico de barrido, Modelo JEOL JSM – 5900 LV. Adaptado de “Eliminación de los

metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente” (p. 46), por Vera et al., 2016, *Afinidad: Revista de Química Teórica y Aplicada*, 73(573).

### **Caracterización del bagazo de caña de azúcar:**

Es importante conocer la caracterización del biosorbente, a continuación, se muestra su análisis elemental, propiedades fisicoquímicas u otros.

Según el estudio titulado "Caracterización y evaluación del bagazo de caña como biosorbente de hidrocarburos" realizado por Martínez Nodal, Rodríguez Rico, Esperanza Pérez y Leiva Mas en 2014, se encontró que el bagazo de caña de azúcar posee capacidad para actuar como sorbente de hidrocarburos. Este material logró una eliminación significativa de indicadores de contaminación como grasas y aceites (98,5%) y hidrocarburos totales (94,8%).

A continuación, se da a conocer el análisis elemental del bagazo de caña de azúcar

**Tabla 4**

*Análisis elemental del bagazo de caña de azúcar*

<b>Material</b>	<b>Análisis elemental</b>				
<b>Bagazo de caña</b>	%C	%H	%N	%S	%O
	42.98%	5.39%	0.66%	-	50.06%

*Nota.* La presente tabla nos muestra el análisis elemental que contiene el bagazo de caña en porcentajes, siendo importante para la biosorción. Adaptado de “Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente” (p. 45), por Vera et al., 2016, *Afinidad: Revista de Química Teórica y Aplicada*, 73(573).

El análisis elemental del bagazo de caña muestra su composición rica en carbono (42,98%) y oxígeno (50,06%), lo cual respalda su capacidad como biosorbente debido a la presencia

de grupos funcionales activos en su superficie. Estos elementos, junto con un bajo contenido de nitrógeno (0,66%) e hidrógeno (5,39%), le otorgan propiedades ideales para interactuar con contaminantes como hidrocarburos y metales pesados, facilitando procesos de adsorción.

La composición química del bagazo de caña es un factor clave para comprender su comportamiento y su idoneidad como biosorbente. Según los datos presentados en la tabla N° 5, el bagazo está compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, cuyas proporciones varían según las condiciones de procesamiento y las fuentes evaluadas. En promedio, el contenido de celulosa es del 42,82%, seguido de la hemicelulosa (26,85%) y la lignina (20,50%), lo que refleja una estructura rica en polímeros naturales que favorecen su capacidad de adsorción. Además, los extractivos y las cenizas, aunque presentes en menor proporción, también juegan un papel importante al influir en sus propiedades fisicoquímicas.

**Tabla 5**

*Composición química del bagazo de caña de azúcar*

Composición química (%)						
Muestra	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Extractivos	Cenizas	Referencia
1	35.20	24.50	22.20	-	20.90	Rezende et al., 2011
2	45.00	31.80	20.30	-	2.90	Zhao et al., 2009
3	35.00	35.80	16.10	-	-	Sasaki, 2003
4	46.20	27.80	22.10	-	1.00	Santos et al., 2011
5	39.60	24.00	22.40	5.00	1.30	Benjamin et al., 2013
6	40.70	31.50	14.40	7.40	0.80	Benjamin et al., 2013
7	35.10	30.30	19.60	9.90	1.60	Benjamin et al., 2013
8	42.64	27.21	21.68	7.38	1.30	Rocha et al., 2015
9	36.88	28.38	24.75	6.87	3.19	Rocha et al., 2015
10	39.83	27.36	20.84	10.45	1.38	Rocha et al., 2015
11	44.08	26.66	22.56	4.04	2.63	Rocha et al., 2015
12	43.12	25.67	23.94	2.85	3.66	Rocha et al., 2015
13	41.35	26.14	24.69	2.38	5.19	Rocha et al., 2015
14	40.86	26.90	23.93	3.19	5.11	Rocha et al., 2015
15	45.65	26.50	21.48	3.65	2.91	Rocha et al., 2015
16	42.40	25.20	19.60	-	1.60	Brienzo et al., 2015
17	47.30	26.40	14.10	11.40	-	Brienzo et al., 2015

18	43.10	25.10	20.80	4.90	-	Brienzo et al., 2015
19	40.90	27.40	14.60	8.40	-	Brienzo et al., 2015
20	45.10	25.80	19.10	9.10	1.00	Camilha et al., 2011
21	36.10	26.90	26.20	5.30	2.10	Saad et al., 2008
22	38.50	27.80	17.70	2.70	8.80	Guilherme et al., 2015
23	44.40	22.90	17.50	14.10	-	Maryana et al., 2014
24	54.87	16.52	23.33	-	2.75	Guimaraes et al., 2009
25	29.80	20.61	5.70	-	-	Muestra BCA. Elab. propia
26	42.91	27.92	9,74	-	-	Muestra BCI. Elab. propia
<b>Mínimum</b>	35.00	16.52	14.10	2.38	0.80	
<b>Maximum</b>	54.87	35.80	26.20	14.10	20.90	
<b>Average</b>	42.82	26.85	20.50	6.61	3.69	

*Nota.* La presente tabla nos muestra la caracterización Química del bagazo de caña promedio de acuerdo a las referencias plasmadas, este también es relevante para la biosorción. Adaptado de “Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal como material de construcción” (p. 254), por Resano et al., 2022, *SciELO, Revista Información Tecnológica*, 33(2).

### 3.2.6. Evaluación de la capacidad de biosorción

“Las capacidades de adsorción se calculan a partir de la diferencia de concentraciones de metales en la solución antes y después del inicio de la biosorción. Sobre la base de la sorción lograda, se puede calcular la eficiencia del proceso de biosorción” (Martinez et al., 2014)

La evaluación de la capacidad de biosorción de un material, como el bagazo de caña de azúcar, generalmente implica varios pasos y métodos para determinar su eficacia para remover contaminantes del medio ambiente. Aquí algunos métodos comunes utilizados para evaluar la capacidad de biosorción:

#### 1. Experimentos de batch (lote):

- Se realiza mezclando una cantidad conocida de material biosorbente (por ejemplo, bagazo de caña ) con una solución contaminada durante un tiempo determinado.
- Se mide la concentración de contaminante antes y después de la adsorción para calcular la cantidad adsorbida.

- Es importante controlar variables como pH, temperatura y agitación para obtener resultados precisos y reproducibles.

## **2. Columnas de lecho fijo:**

- Se carga el material biosorbente en una columna y se hace pasar la solución contaminada a través de ella.
- Se mide la concentración del contaminante en el efluente para determinar la eficiencia de adsorción a lo largo del tiempo.
- Este método simula condiciones más cercanas a las aplicaciones prácticas y permite evaluar la capacidad de adsorción a largo plazo.

## **3. Isotermas de adsorción:**

- Se construyen curvas de isoterma utilizando datos experimentales de batch para modelar la cantidad de contaminante adsorbido en función de la concentración de equilibrio en la solución.
- Esto proporciona información sobre la capacidad máxima de adsorción del material biosorbente y la intensidad de la adsorción en diferentes concentraciones de contaminante.

## **4. Cinética de adsorción:**

- Se estudia la velocidad a la cual ocurre el proceso de adsorción.
- Se realizan experimentos en diferentes tiempos y se mide la cantidad de contaminante adsorbido para determinar cómo varía la velocidad de adsorción con respecto al tiempo.

## **5. Caracterización del material:**

- Se llevan a cabo análisis fisicoquímicos para determinar las propiedades del material biosorbente, como su área superficial, composición química, estructura porosa y grupos funcionales.

- Estos datos ayudan a entender mejor los mecanismos de adsorción y la interacción entre el material y el contaminante.

En conjunto, estos métodos permiten evaluar la capacidad de biosorción del bagazo de caña u otros materiales biosorbentes, proporcionando datos cruciales para su aplicación en la remediación ambiental y el tratamiento de aguas residuales (Martinez et al., 2014)

### 3.2.7. Isotermas de biosorción

- **Isoterma de Langmuir**

Fue propuesto en 1918 por Langmuir, para representar la adsorción gas-sólido con carbón activado y ha sido generalmente utilizado para la sorción de un soluto desde una fase líquida. La afinidad entre los metales pesados y la superficie del material adsorbente se basa en fuerzas físicas (Davis, Volesky, y Mucci, 2003 citado en Plaza Cazón, 2012). Se utiliza la siguiente ecuación:

$$q = \frac{b q_m C_{eq}}{1 + b C_{eq}}$$

**Quiere decir:**

- q y q<sub>m</sub>: Representan respectivamente la capacidad de adsorción en el equilibrio y la capacidad máxima de adsorción cuando se alcanza la saturación.
- C<sub>eq</sub>: Concentración final en el equilibrio.
- b: Coeficiente de afinidad, es función de la afinidad entre el soluto y el adsorbente

- **Isoterma de freundlich**

Freundlich en 1906, encuentra una relación de tipo potencial entre la cantidad de soluto absorbido y la concentración de equilibrio, dada por la siguiente expresión (Plaza

Cazón, 2012), se usa la siguiente ecuación:

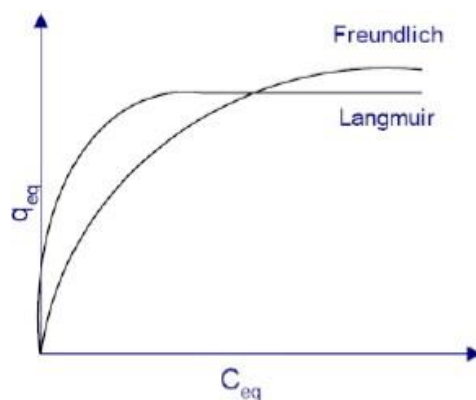
$$q = K C_{eq}^{1/n}$$

**Donde:**

- $q$ : Metal adsorbido en el equilibrio (mmol.g-1).
- $C_{eq}$ : Concentración final en el equilibrio (mmol.L-1).
- $K$ : Constante de Freundlich. ( $K > 1$ , afinidad del metal con el biosorbente)
- $n$ : intensidad de sorción del biosorbente en función de su grado de heterogeneidad ( $n > 1$ , afinidad del metal con el biosorbente).

**Figura 5**

*Modelos de Langmuir y Freundlich*



*Nota.* Esta figura nos muestra el gráfico de comparación de las isoterma de Langmuir y Freundlich (Balseca, 2017)

- **Modelos cinéticos**

La cinética de biosorción consta de tres fases principales, la primera se trata de la transferencia de los metales pesados desde el agua contaminada hacia el biosorbente, la segunda consiste en la sorción de los iones y por último su difusión interna ( Borja et al., 2015). Dentro de este proceso es importante el tiempo de sorción del metal para el diseño y evaluación del biosorbente

(Figuroa, Moreno, & Hormaza, 2015). En este proceso se determina la cantidad de metal con relación con la concentración inicial y final del metal en un tiempo determinado, para ello se utiliza la siguiente ecuación.

$$q_t = \frac{V * (C_0 - C_t)}{m}$$

- $q_t$  = Cantidad de metal removido en un tiempo específico
- $V$  = volumen de la solución
- $m$  = masa del biosorbente
- $C_0$  = concentración inicial del metal pesado
- $C_t$  = concentración final de metal pesado en un tiempo específico (Coronel, 2017).

Los métodos más usados son el Pseudo de primer y segundo orden.

### **3.2.8. Estándares de calidad ambiental**

Son indicadores de calidad ambiental. Evalúan la cantidad de ciertos elementos o sustancias presentes en el aire, agua o suelo. Su objetivo es establecer objetivos que marquen el punto en el cual el ambiente y la salud humana podrían verse seriamente comprometidos.

A continuación, en la tabla N° 6 damos a conocer los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua que se consideran en los resultados de la tesis.

**Tabla 6***Estándares de Calidad Ambiental (ECA)*

<b>Categoría 1: Poblacional y Recreacional</b>				
<b>Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable</b>				
Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Plomo	mg/L	0.01	0.05	0.05
Cobre	mg/L	2	2	2
Arsénico	mg/L	0.01	0.01	0.15
<b>Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación</b>				
Parámetros	Unidad de medida	B1	B2	
		Contacto primario	Contacto secundario	
Plomo	mg/L	0.01	**	
Cobre	mg/L	2	**	
Arsénico	mg/L	0.01	**	
<b>Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales</b>				
Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de Vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Plomo	mg/L	0.05	0.05	0.05
Cobre	mg/L	0.2	0.2	0.5
Arsénico	mg/L	0.1	0.1	0.2

*Nota.* La tabla nos muestra los parámetros en plomo, cobre y arsénico establecidos de acuerdo a los ECAS, conforme al DS N°004-2017-MINAM

**3.2.9. Límites máximos permisibles-LMP**

A continuación, damos a conocer el límite máximo permisible (LMP) para la descarga de líquido residual de actividad minera y metalúrgica consideraran en los resultados del proyecto de investigación.

**Tabla 7***LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas*

<b>Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas</b>			
Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
Plomo	mg/L	0.2	0.16
Cobre	mg/L	0.5	0.4
Arsénico	mg/L	0,1	0,08

*Nota.* La tabla nos muestra los parámetros en plomo, cobre y arsénico establecidos de acuerdo a los LMP, conforme al DS N°010-2010-MINAM

**Tabla 8***LMP de efluentes líquidos para el sub-sector hidrocarburos*

Límites Máximos Permisibles (LMP) de efluentes Líquidos para el Sub-sector Hidrocarburos		
Parámetro	Unidad	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (mg/l) (Concentraciones en Cualquier momento)
Plomo	mg/L	0,1
Cobre	mg/L	-
Arsénico	mg/L	0,2

*Nota.* La tabla nos muestra los parámetros en plomo, cobre y arsénico establecidos de acuerdo a los límites máximos permisibles, conforme al DS N°037-2008-PCM

### 3.3. Definición de términos

**3.3.1. Biosorción:** Según Cañizares (2000), el término "biosorción" se emplea para describir el proceso mediante el cual una biomasa completa, ya sea viva o muerta, captura metales a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico. Cuando se utiliza biomasa viva, también intervienen los mecanismos metabólicos en la captación de estos metales. Este proceso implica una fase sólida (sorbente) y una fase líquida (solvente, generalmente agua), que contiene las especies disueltas a ser adsorbidas (sorbato, por ejemplo, iones metálicos). Debido a la alta afinidad del sorbente por el sorbato, este último es atraído hacia el sólido y se enlaza mediante diversos mecanismos. Este proceso continúa hasta que se alcanza un equilibrio entre el sorbato en solución y el sorbato adsorbido en el sólido (a una concentración final de equilibrio). La capacidad del sorbente para atraer y retener el sorbato en forma inmovilizada determina su eficacia y calidad.

**3.3.2. Biosorbente:** "Un biosorbente es un microorganismo que puede separar y eliminar ciertas moléculas solo o junto con sustratos. Estas sustancias naturales se encuentran en grandes cantidades como residuos agrícolas y se pueden utilizar para eliminar metales pesados del medio ambiente acuático" (Huallpa, 2017).

Según Tejada et al. (2015), los biosorbentes son materiales derivados de la flora microbiana, algas, plantas, biomasa residual, productos agroindustriales o biopolímeros, los cuales tienen la capacidad de adsorber directamente metales de la solución en forma iónica.

**3.3.3. Bagazo de caña de azúcar:** “El bagazo es el residuo que queda después de extraer el jugo azucarado de los tallos de caña durante el proceso de fabricación del azúcar. En las regiones productoras de azúcar, se ha utilizado históricamente como fuente de energía en las calderas de los ingenios o centrales azucareros. Además, desde hace más de 150 años, se emplea para la fabricación de papel, paneles aglomerados de fibras y partículas, así como en la producción de celulosa para derivados farmacéuticos y aditivos alimentarios” (Rutiaga et al., 2002; Jiménez, 1997).

**3.3.4. Contaminación con metales pesados:** Los metales pesados son significativos contaminantes ambientales debido a su baja capacidad de descomposición biológica, su elevada toxicidad incluso en concentraciones mínimas, y su capacidad para acumularse en diversos organismos (Cardona et al., 2013).

**3.3.5. Dosis óptima de biosorbente:** Se define como la cantidad ideal de biosorbente necesaria para maximizar la eficiencia de remoción de contaminantes del medio ambiente, especialmente metales pesados y otras sustancias nocivas. Esta cantidad se determina experimentalmente mediante pruebas que evalúan la relación entre la cantidad de biosorbente y la capacidad de adsorción del contaminante. (Vilar et al., 2010).

Autores como Vilar et al. (2010) han investigado y definido la dosis óptima de biosorbentes en varios estudios de remediación ambiental. Además,

trabajos de investigadores como Foo y Hameed (2010) también han contribuido significativamente al estudio de la dosis óptima en el contexto de la biosorción de contaminantes.

- 3.3.6. Sitios de sorción:** “Este concepto se utiliza para referirse a diversas formas de interacción entre el sorbato y el sorbente, tales como interacciones intermoleculares como los enlaces de hidrógeno a través de cargas superficiales en el sorbente. Además, la interacción puede ocurrir mediante enlaces químicos debido a los grupos funcionales presentes en el sorbente, lo que facilita mecanismos de intercambio iónico” (Tovar, 2018)
- 3.3.7. PH:** "El pH en medios acuáticos se refiere a la medida de la acidez o alcalinidad del agua. Esta medida es crucial ya que afecta la solubilidad de los compuestos químicos y la disponibilidad de nutrientes para los organismos acuáticos. El pH es un indicador químico crucial para el hábitat acuático, ya que determina si el agua es ácida o básica, es decir, su nivel de acidez o alcalinidad” (Huallpa, 2017).
- 3.3.8. Temperatura:** “La temperatura es una medida física que indica la cantidad de calor presente en un cuerpo, objeto o entorno, y se puede medir en diferentes escalas como Celsius, Kelvin y Fahrenheit” (Huallpa Sullca, 2017)
- 3.3.9. Lignina:** “La lignina es uno de los polímeros naturales más prevalentes en las plantas y junto con la celulosa y la hemicelulosa forma la estructura de la pared celular, organizándose a nivel nanoestructural para crear redes de lignina-hidratos de carbono. La distribución y composición de estos tres componentes en las redes varían según el tipo de planta. En el caso específico de la madera, se encuentran frecuentemente los siguientes rangos de composición: Celulosa: 38-50%; Hemicelulosa: 23-32%; y Lignina: 15-25%” (Chávez et al., 2013).

**3.3.10. Método BET:** Según el Instituto de Ciencia de los Materiales de la Universidad de Valencia, en la Caracterización y Análisis de Superficies (s.f.) sostiene que el método B.E.T., creado por Brunauer, Emmett y Teller, se utiliza para calcular la superficie de un material sólido mediante la adsorción de un gas inerte, típicamente N<sub>2</sub>, a temperaturas bajas.

**3.3.11. Microscopía electrónica de barrido o SEM:** La microscopía electrónica se basa en el escaneo de un haz de electrones sobre la muestra, lo cual provoca diversas interacciones que generan señales detectadas por dispositivos especializados. Estos datos se procesan para crear una imagen detallada con una resolución que varía entre 0,4 y 20 nanómetros. En resumen, se obtiene una representación visual de alta calidad que revela la topografía superficial de la muestra (Martínez, 2020).

**3.3.12. Espectroscopia de absorción atómica:** Según Peñaloza, et al. (2023), la espectroscopia de absorción atómica (EAA) es ampliamente utilizada para la determinación de más de 60 elementos, generalmente en concentraciones que van desde microgramos por mililitro hasta nanogramos por mililitro, en una amplia variedad de muestras. Sus aplicaciones incluyen el análisis de aguas, muestras geológicas, muestras orgánicas, metales y aleaciones, así como muestras de petróleo y sus derivados, y una variedad extensa de muestras de industrias químicas y farmacéuticas.

La EAA con llama es el método preferido para analizar metales en diferentes matrices debido a su alta especificidad, sensibilidad y facilidad de uso. En este método, la solución de muestra se aspira directamente hacia una llama de flujo laminar. La alta temperatura de la llama, que puede alcanzar entre 1,500 y 3,000°C, atomiza los elementos presentes en la muestra, generando átomos en

su estado fundamental. Estos átomos absorben parte de la radiación emitida por una fuente luminosa, lo que permite su cuantificación precisa.

## IV. Metodología

### 4.1. Tipo y nivel de investigación

El tipo de investigación es aplicada, porque el estudio muestra un diseño experimental al brindar soluciones prácticas, las investigaciones aplicadas se denominan "prácticas o empíricas", y se caracteriza porque existen quienes intentan aplicar y utilizar los conocimientos adquiridos, así como quienes la obtienen de la investigación luego de su implementación y sistematización. Se usa el conocimiento y la investigación para lograr un método detallado para observar la realidad. (Murillo, W., 2008).

El nivel de investigación es explicativo, ya que el estudio busca entender la relación causa y efecto entre las variables, e identificar factores que influyen en su comportamiento.

El método es hipotéticamente deductivo, se fue de lo general a lo específico, ya que a partir de datos o principios generales se ha llegado a conclusiones particulares. Este es un procedimiento sistemático de considerar una serie de afirmaciones como probar estas hipótesis y sacar conclusiones de ellas frente a los hechos en conjunto con lo que ya sabemos. Este procedimiento es una parte importante de la metodología científica.

Este es un diseño cuasi-experimental porque se utiliza para aplicar conocimientos científicos conocidos a nuevas investigaciones, además de que también se manipulan variables de acuerdo con el rango de análisis y resultados. Porque se realizó un análisis de laboratorio las variables bajo estudio y registre las observaciones y los resultados del tratamiento para las variables. Una vez tomadas las muestras, se procede a la evaluación, por lo que el plan a seguir es continuo. El análisis de laboratorio se utiliza como estrategia para la determinación de parámetro. Ya que buscamos determinar la efectividad del bagazo de caña de azúcar.

El estudio utiliza un enfoque cuantitativo porque trabaja con datos numéricos durante el

proceso. (M. M. Rosental y P. F. Iudin, 1965)

#### **4.2.   Ámbito temporal y espacial**

- **Espacial**

El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ing. Ambiental y RR.NN de la Universidad Tecnología de los Andes, y los laboratorios de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).

- **Temporal**

El presente estudio empezó a realizarse a partir del mes de marzo del año 2023, y se concluyó durante el año 2024, realizando todo el estudio correspondiente necesario.

#### **4.3.   Población y muestra**

**Población:**

Aguas contaminadas con Pb, Cu y As preparadas a base de agua mili-Q en el laboratorio análisis químico de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

**Muestra:**

21 litros del agua contaminada, ya que se preparó entre 7 litros de solución en Pb, 7 litros de Cu y 7 litros de As, se tomaron 100ml por tratamiento con sus respectivas repeticiones.

#### **4.4.   Instrumentos**

En este estudio, se empleó la técnica de observación experimental de laboratorio, que consistió en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables (Hernández Sampieri et al., 2010).

En este estudio, se empleó una ficha de registro como instrumento principal. Este formato, diseñado específicamente para el trabajo, se utilizó para registrar la información recolectada durante la observación y el análisis continuo de los experimentos. Los

instrumentos y equipos que se usaron para la presente investigación son los siguientes.

- Fichas bibliográficas
- Reportes de análisis de pruebas de laboratorio
- Empleo del Software SPSS y Microsoft Excel
- Libreta de campo

### **Materiales y equipos**

- **Materiales**

- Matraz erlenmeyer de 100ml
- Matraz erlenmeyer de 50ml
- Viales de laboratorio
- Vaso precipitado
- Pipetas
- Varilla de agitación
- Embudos de vidrio
- Papel filtro
- Bolsas herméticas
- Parafilm
- Papel toalla
- T.I.P.S standard
- Papel aluminio
- Tamiz de 150um
- Fiola
- Mortero de cerámica
- Bomba de vacío

- **Insumos**

- Agua ultrapura
- Reactivos

- **Equipos**

- Balanza Analítica
- pH-metro
- Agitador Orbital
- Estufa de laboratorio
- Equipo de espectrofotometría de absorción atómica
- Analizador de área de superficie BET
- Tamizador eléctrico
- Estufa

#### **4.5. Procedimientos**

##### **4.5.1. Preparación del biosorbente**

###### **a) Obtención del bagazo de caña de azúcar**

Se obtuvo alrededor de 5kg de bagazo de la destilería Donaires ubicada en la zona de Pachachaca, en las coordenadas UTM WGS84 18S 723966 E 8488581 N.

###### **b) Lavado**

Se separó la piel o tallo del bagazo de caña de azúcar, dejando únicamente la pulpa, la cual fue troceada y lavada con agua ultrapura, la cual tenía un pH cercano a 7, para eliminar las impurezas solubles y partículas contaminantes presentes.

**Figura 6**

*Lavado de bagazo de caña de azúcar*



*Nota.* Elaboración propia.

**c) Secado**

Luego se procedió con el secado en un horno a 80°C durante 5 horas para eliminar la humedad, se usó como referencia el estudio realizado por Carbajal (2017).

**Figura 7**

*Proceso de secado del biosorbente*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 8***Biosorbente seco*

*Nota.* Elaboración propia.

**d) Molienda**

El bagazo se trituró utilizando un molinillo manual para granos marca corona y reducir el tamaño de partícula.

**e) Tamizado**

La separación granulométrica del bagazo se efectuó con el tamiz N° 35 con malla de 500 micras usando como referencia al estudio de Carbajal (2017), con ayuda del tamizador eléctrico dando como resultado partículas más finas aptas para el procesamiento, se obtuvo alrededor de 100gr y se almacenaron en las bolsas herméticas.

**Figura 9**

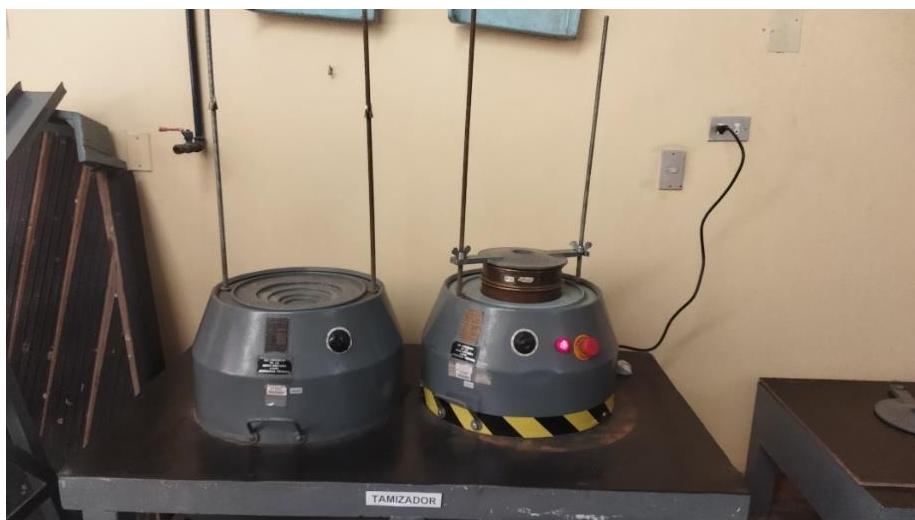
*Tamiz N° 35 establecido malla 500um*



*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 10**

*Proceso de tamizado*



*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 11***Biosorbente tamizado*

*Nota.* Elaboración propia.

**4.5.2. Preparación de las muestras**

Se preparó 21 litros de agua contaminada, 7 litros con plomo, 7 litros con cobre y 7 litros con arsénico, se usó 100 ml para cada muestra de los tratamiento realizados.

Se preparó un total de 92 muestras, 30 muestras en plomo, 30 muestras en arsénico, y 32 muestras en cobre, con su respectiva repetición, cada una se trabajó variando el pH, la dosis, el tiempo y a distintas concentraciones de 50, 100 y 150PPM, a una velocidad de agitación 150 rpm, temperatura de 22.2°C.

**Figura 12***Preparación de la muestra contaminada*

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 13***Agitación de la muestra con el biosorbente*

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 9***Muestras de plomo realizadas en laboratorio*

Muestra	pH de la solución de Pb	Muestra	Dosis de biomasa (mg)	Muestra	Tiempo (min)	Muestra	Concentración (ppm)
<b>A</b>	3.05	<b>A</b>	203.56	<b>A</b>	10	<b>A</b>	50
	5.042		301.34		20		100
	6		403.62		30		150
	7.54				60		
					120		
<b>B</b>	3.05	<b>B</b>	203.61	<b>B</b>	10	<b>B</b>	50
	5.042		303.33		20		100
	6				30		
	7.54		404.44		60		150
					120		

*Nota.* En la tabla 9 se puede observar, una guía del total de pruebas de laboratorio que se realizaron en ensayos de plomo, variando el pH, dosis, tiempo y concentración, con el fin de determinar la efectividad en la biosorción, donde A son las pruebas realizadas y B sus repeticiones respectivamente.

**Tabla 10***Muestras de cobre realizadas en laboratorio*

Muestra	pH de la solución de Cu	Muestra	Dosis de biomasa (mg)	Muestra	Tiempo (min)	Muestra	Concentración (ppm)
<b>A</b>	3.000	<b>A</b>	100.00	<b>A</b>	10	<b>A</b>	50
	4.000		200.00		20		100
	5.000		300.00		30		150
	6.000		400.00		180		
<b>B</b>	3.000	<b>B</b>	100.00	<b>B</b>	10	<b>B</b>	50
	4.000		200.00		20		100
	5.000		300.00		30		150
	6.000		400.00		180		

*Nota*, En la tabla 10 se puede observar, una guía del total de pruebas de laboratorio que se realizaron en ensayos de cobre, variando el pH, dosis, tiempo y concentración, , con el fin de determinar la efectividad en la biosorción donde A son las pruebas realizadas y B sus repeticiones respectivamente.

**Tabla 11***Muestras de arsénico realizadas en laboratorio*

Muestra	pH de la solución de As	Muestra	Dosis de biomasa (mg)	Muestra	Tiempo (min)	Muestra	Concentración (ppm)
<b>A</b>	3.0	<b>A</b>	100.00	<b>A</b>	10	<b>A</b>	50
	4.0		200.00		20		100
	4.5		300.00		30		150
	5.0		400.00		60		
<b>B</b>	3.0	<b>B</b>	100.00	<b>B</b>	10	<b>B</b>	50
	4.0		200.00		20		100
	4.5		300.00		30		150
	5.0		400.00		60		

*Nota*, En la tabla 11 se puede observar, una guía del total de pruebas de laboratorio que se realizaron en ensayos de arsénico, variando el pH, dosis, tiempo y concentración, con el fin de determinar la efectividad en la biosorción donde A son las pruebas realizadas y B sus repeticiones respectivamente.

### - Filtración de las muestras

Una vez completado el tiempo de contacto de biosorción, se realizó la filtración adecuada de cada muestra con el papel Wattman N°40 y con ayuda de la bomba de vacío para mejor succión y caída de la muestra. Luego se procedió a rotular las muestras resultantes para su posterior análisis.

#### **Figura 14**

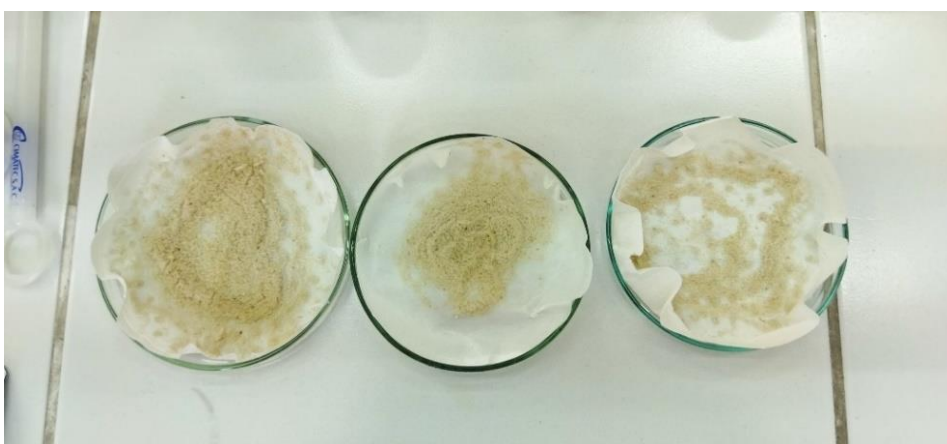
*Filtración de muestras*



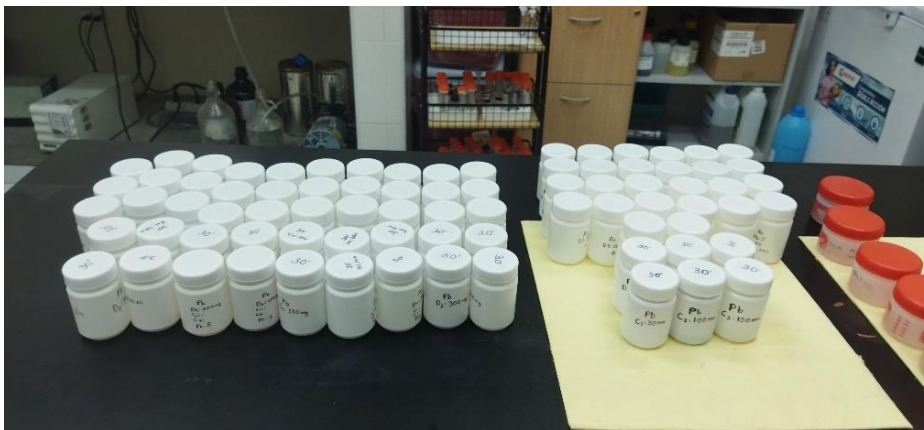
*Nota.* Elaboración propia.

#### **Figura 15**

*Biosorbente filtrado*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 16***Rotulación de muestras*

*Nota.* Elaboración propia.

**- Análisis de la solución**

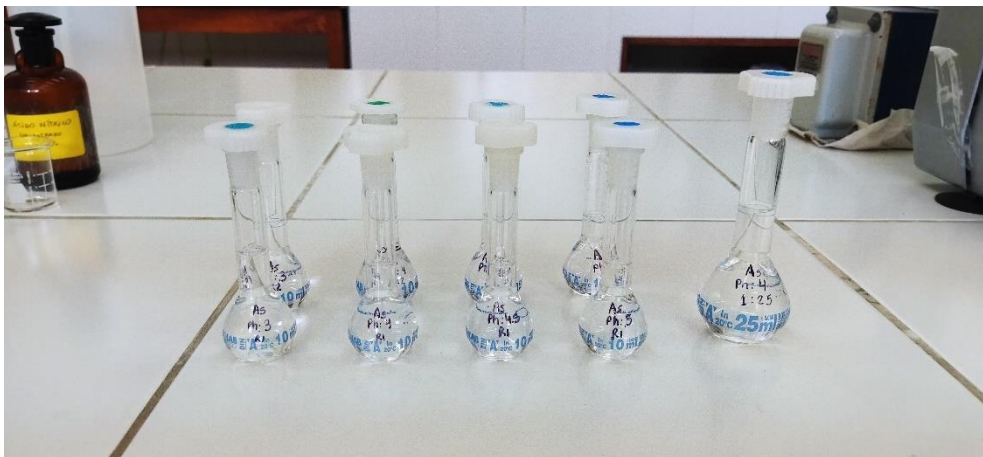
Se utilizó el agua resultante de la filtración para la determinación de plomo, cobre y arsénico por técnica de espectrofotometría absorción atómica, técnica analítica que se utiliza para determinar las concentraciones de compuestos en soluciones.

**Figura 17***Preparación de muestras diluidas para lecturas*

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 18**

*Muestras diluidas para las lecturas*



*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 19**

*Lectura de muestras por el equipo de absorción atómica*



*Nota. Elaboración propia.*

## - Determinación de efectividad

Para determinar la tasa de eliminación de biosorbente, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{remoción} = (C_i - C_f / C_i) \times 100$$

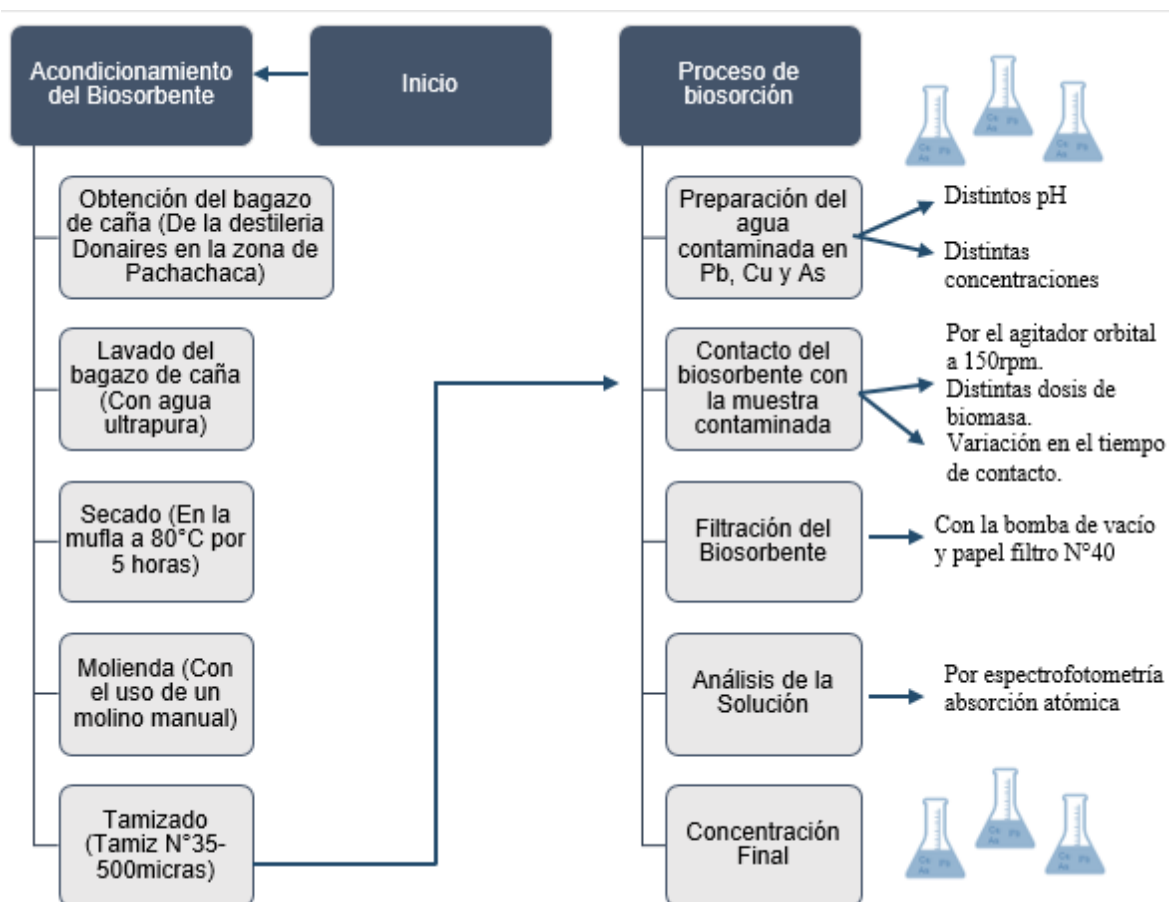
Dónde:

$C_i$ : Concentración inicial (mg/ lt)

$C_f$ : Concentración final (mg/ lt)

**Figura 20**

*Diagrama de flujo de metodología*



*Nota.* El presente diagrama nos muestra el proceso o flujo de etapas.

#### **4.6. Análisis de datos**

En el transcurso de la investigación, se emplearon cuadros y gráficos creados en Excel. Luego, se utilizó el software SPSS versión 24 llevando a cabo la prueba de normalidad, verificando que los datos seguían una distribución normal. Además, se realizó una prueba de homogeneidad de varianzas para confirmar la viabilidad del uso de la prueba ANOVA, que facilitó la evaluación de la hipótesis propuesta en el estudio.

#### **4.7. Consideraciones éticas**

Se tuvo y tiene el compromiso a respetar y cumplir, con todos los formatos de investigación y procesamiento de datos obtenido durante el curso de la investigación, de la misma manera contribuir a poder proteger el ambiente y el recurso natural a través de la tecnología, la estrategia y el conocimiento adquirido como egresada de la carrera profesional.

## V. Resultados y discusión

### 5.1. Resultados

#### 5.1.1. Análisis del biosorbente

Se realizaron los análisis de la composición química del bagazo de caña de azúcar en el área de transformación química-laboratorio de pulpa y papel, del Departamento Académico de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Ver en los anexos) en el cual se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 12**

*Resultados de análisis de composición química de la pulpa del bagazo de caña de azúcar*

<b>Composición Química del Bagazo de Caña de azúcar</b>					
<b>Humedad</b>	<b>Extractivos</b>	<b>Cenizas</b>	<b>Lignina</b>	<b>Hemicelulosa</b>	<b>Celulosa</b>
<b>11.85%</b>	34.24%	2.13%	25.03%	22.59%	52.38%

*Nota.* La presente tabla 12 nos muestra la composición química de nuestra biomasa, se puede observar que tiene en mayor porcentaje la celulosa, seguido de la lignina y hemicelulosa, ya que estos compuestos desempeñan roles importantes en la remoción de metales pesados a través de la biosorción. Adaptado del Informe Técnico: N° 006/06-2024-LPP emitido de la Universidad Nacional Agraria La Molina

#### 5.1.2. Análisis de las muestras

##### 5.1.2.1. Resultados de análisis con respecto a la variación de ph

Para los análisis de muestras de agua con plomo, cobre y arsénico se trabajó variando los pH de las soluciones, a continuación se muestran en las tablas 13, 14 y 15 los factores de biosorción de plomo, cobre y arsénico en aguas contaminadas con los que se trabajó en cada variable, posteriormente la tabla 16, 17 y 18 plasma los resultados obtenidos en las lecturas de plomo, cobre y arsénico de concentraciones iniciales y finales, y las tablas 19, 20 y 21 plasman los porcentajes de remoción obtenidos en los cálculos realizados.

**Tabla 13***Factores de biosorción de plomo en agua contaminada variando el pH (3,5,6 y 7)*

Tratamiento	pH	Dosis del biosorbente (mg)	Tiempo (min)	Concentración Teórica Inicial (ppm)	Tamaño de partícula (um)	Velocidad de agitación (rpm)
T1	3.00	300	30	100	500	150
TR1	3.00	300	30	100	500	150
T2	5.00	300	30	100	500	150
TR2	5.00	300	30	100	500	150
T3	6.00	300	30	100	500	150
TR3	6.00	300	30	100	500	150
T4	7.00	300	30	100	500	150
TR4	7.00	300	30	100	500	150

*Nota.* En la tabla 13 se presentan los factores considerados en el ensayo de laboratorio para la biosorción de plomo en aguas contaminadas, estos fueron evaluados en cuatro tratamientos (T1-T4) y sus respectivas repeticiones (TR1-TR4), variando el pH. Los tratamientos se realizaron con pH 3, 5, 6 y 7, respectivamente, donde el pH 5 resulto efectivo, mientras que otros factores, como dosis, tiempo, concentración, tamaño de partícula y velocidad de agitación, se mantuvieron constantes.

**Tabla 14***Factores de biosorción de cobre en agua contaminada variando el pH (3,4,5 y 6)*

Tratamiento	pH	Dosis del biosorbente (mg)	Tiempo (min)	Concentración Teórica Inicial (ppm)	Tamaño de partícula (um)	Velocidad de agitación (rpm)
T1	3	300	30	100	500	150
TR1	3	300	30	100	500	150
T2	4	300	30	100	500	150
TR2	4	300	30	100	500	150
T3	5	300	30	100	500	150
TR3	5	300	30	100	500	150
T4	6	300	30	100	500	150
TR4	6	300	30	100	500	150

*Nota.* En la tabla 14 se presentan los factores considerados en el ensayo de laboratorio para la biosorción de cobre en aguas contaminadas, estos fueron evaluados en cuatro tratamientos (T1-T4) y sus respectivas repeticiones (TR1-TR4), variando el pH. Los tratamientos se realizaron con pH 3, 4, 5 y 6, respectivamente, donde resulto efectivo en la biosorción en valores del pH 4 mientras que otros factores, como dosis, tiempo, concentración, tamaño de partícula y velocidad de agitación, se mantuvieron constantes.

**Tabla 15**

*Factores de biosorción de arsénico en agua contaminada variando el pH (3,4,4.5 y 5*

Tratamiento	pH	Dosis del biosorbente (mg)	Tiempo (min)	Concentración Teórica Inicial (ppm)	Tamaño de partícula (um)	Velocidad de agitación (rpm)
T1	3	300	30	100	500	150
TR1	3	300	30	100	500	150
T2	4	300	30	100	500	150
TR2	4	300	30	100	500	150
T3	4.5	300	30	100	500	150
TR3	4.5	300	30	100	500	150
T4	5	300	30	100	500	150
TR4	5	300	30	100	500	150

*Nota.* En la tabla 15 se presentan los factores considerados en el ensayo de laboratorio para la biosorción de arsénico en aguas contaminadas, estos fueron evaluados en cuatro tratamientos (T1-T4) y sus respectivas repeticiones (TR1-TR4), variando el pH. Los tratamientos se realizaron con pH 3, 5, 4.5 y 5, respectivamente, con un pH efectivo de 4.5, mientras que otros factores, como dosis, tiempo, concentración, tamaño de partícula y velocidad de agitación, se mantuvieron constantes.

**Tabla 16**

*Resultados de lecturas en plomo de concentraciones inicial y final para determinar el pH efectivo*

Tratamiento	pH	Concentración Inicial (Ci) de Pb (ppm)	Concentración Final (Cf) de Pb (ppm)
T1	3	105.17	99.42
TR1	3	105.17	105.00
T2	5	105.17	75.92
TR2	5	105.17	77.83
T3	6	120.42	69.00
TR3	6	120.42	73.08
T4	7	105.17	93.00
TR4	7	105.17	96.17

*Nota.* En la tabla 16 se muestra el análisis de las mediciones de plomo de los 4 tratamientos y 4 repeticiones realizados en el laboratorio, utilizando el equipo de absorción atómica, dando un resultado óptimo para tratamiento N°2 (T2) con un pH 5 teniendo una Ci=105.17ppm y una Cf=75.92ppm reduciendo la concentración en 27.34ppm. Se descartó el pH 6 debido a la aparición de turbidez en las soluciones durante el proceso de laboratorio.

**Tabla 17**

*Resultados de lecturas en cobre de concentraciones inicial y final para determinar el pH efectivo*

Tratamiento	pH	Concentración Inicial (Ci) de Cu (ppm)	Concentración Final (Cf) de Cu (ppm)
T1	3	100.308	94.200
TR1	3	100.308	93.400
T2	4	100.308	90.925
TR2	4	100.308	90.833
T3	5	100.308	90.467
TR3	5	100.308	91.692
T4	6	100.308	40.883
TR4	6	100.308	43.267

*Nota.* En la tabla 17 se muestra el análisis de las mediciones de los 4 tratamientos y 4 repeticiones realizados en el laboratorio, utilizando el equipo de absorción atómica, dando un resultado óptimo para tratamiento N°2 (TR2) con un pH 4 teniendo una Ci=100.38ppm y una Cf=90.833ppm reduciendo la concentración en 9.475ppm. Se descartó el pH 6 debido a la aparición de turbidez y solidificación en las soluciones durante el proceso de laboratorio.

**Tabla 18**

*Resultados de lecturas en arsénico de concentraciones inicial y final para determinar el pH efectivo*

Tratamiento	pH	Concentración Inicial (Ci) de As (ppm)	Concentración Final (Cf) de As (ppm)
T1	3.0	108.93	103.213
TR1	3.0	108.93	101.640
T2	4.0	108.93	102.520
TR2	4.0	108.93	101.840
T3	4.5	108.93	103.100
TR3	4.5	108.93	100.480
T4	5.0	108.93	102.980
TR4	5.0	108.93	102.453

*Nota.* En la tabla 18 se muestra el análisis de las mediciones de arsénico de los 4 tratamientos y 4 repeticiones realizados en el laboratorio, utilizando el equipo de absorción atómica, dando un resultado óptimo para tratamiento N°3 (TR3) con un pH 4.5 teniendo una Ci=108.93ppm y una Cf=100.480ppm reduciendo la concentración en 8.45ppm.

**Tabla 19**

*Resultados de los análisis de plomo en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintos pH (3.05,5.04,6.0,y 7.54)*

N <sup>o</sup>	Muestra	PH	Concentración teórica inicial de Pb en la solución (ppm)	Concentración inicial de la solución de Pb diluida (ppm)	Concentración final de Pb en la solución diluidas (ppm)	Concentración de Pb reducido (ppm)	Concentración Promedio de las muestras Tx y TRx (ppm)	% Remoción de Pb
1	T1	3.05	100	105.17	99.42	5.75	102.21	2.82
	TR1	3.05	100	105.17	105.00	0.17		
2	T2	5.04	100	105.17	75.92	29.25	76.87	26.91
	TR2	5.04	100	105.17	77.83	27.34		
3	T3	6.00	100	120.42	69.00	51.42	71.04	41.01
	TR3	6.00	100	120.42	73.08	47.34		
4	T4	7.54	100	105.17	93.00	12.17	94.59	10.06
	TR4	7.54	100	105.17	96.17	9.00		

*Nota.* En la tabla 19 podemos observar que el pH óptimo es la de 6, sin embargo, debido a los ensayos realizados se pudo determinar que no es favorable trabajar con ese dato, ya que las soluciones contaminadas empezaron a mostrar una ligera turbidez, por ello el pH que se considero es el de 5.04, mostrando una efectividad de remoción de plomo promedio del 26.91%.

**Tabla 20**

*Resultados de los análisis de cobre en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintos pH (3,4,5 y 6)*

N <sup>o</sup>	Muestra	pH	Concentración teórica inicial de Cu en la solución (ppm)	Concentración inicial de la solución de Cu diluida (ppm)	Concentración final de Cu en la solución diluidas (ppm)	Concentración de Cu reducido (ppm)	Concentración Promedio de las muestras Tx y TRx (ppm)	% Remoción de Cu
1	T1	3.00	100	100.308	94.200	6.11	93.80	6.49
	TR1	3.00	100	100.308	93.400	6.91		
2	T2	4.00	100	100.308	90.925	9.38	90.88	9.40

	TR2	4.00 0	100	100.308	90.833	9.48		
3	T3	5.00 0	100	100.308	90.467	9.84	91.08	9.20
	TR3	5.00 0	100	100.308	91.692	8.62		
4	T4	6.00 0	100	100.308	40.883	59.43	42.08	58.05
	TR4	6.00 0	100	100.308	43.267	57.04		

*Nota.* En la tabla 20 se puede ver que el tratamiento N° 4, que opera a un pH de 6, presenta un resultado del 58.05%, esto se debe a que la solución contaminada comenzó a volverse turbia y a solidificarse. Por lo tanto, se consideraron los resultados del tratamiento N° 2 (pH 4) como más efectivos, donde la concentración final de cobre es de 90.88 ppm, lo que implica una reducción promedio de 9.40 ppm y una efectividad promedio del 9.40%.

**Tabla 21**

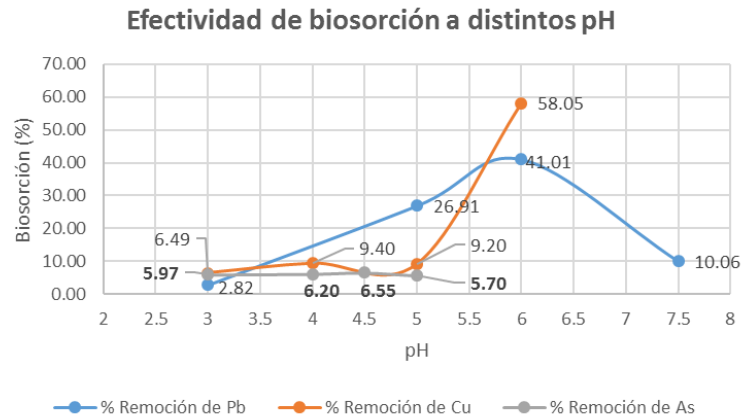
*Resultados de los análisis de arsénico en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintos pH (3,4,4.5 y 5)*

N°	Muestra	pH	Concentración teórica inicial de As en la solución (ppm)	Concentración inicial de la solución de As diluida (ppm)	Concentración final de As en la solución diluidas (ppm)	Concentración de As reducido (ppm)	Concentración Promedio de las muestras Tx y TRx (ppm)	% Remoción de As
1	T1	3.000	100	108.93	103.213	5.72	102.43	5.97
	TR1	3.000	100	108.93	101.640	7.29		
2	T2	4.000	100	108.93	102.520	6.41	102.18	6.20
	TR2	4.000	100	108.93	101.840	7.09		
3	T3	4.500	100	108.93	103.100	5.83	101.79	6.55
	TR3	4.500	100	108.93	100.480	8.45		
4	T4	5.000	100	108.93	102.980	5.95	102.72	5.70
	TR4	5.000	100	108.93	102.453	6.48		

*Nota.* En la tabla 21 se observa que el tratamiento N° 3, que opera a un pH de 4.5, muestra un resultado promedio de remoción del 6.55%. La concentración final promedio de arsénico es de 101.79 ppm, en comparación con la concentración inicial de 108.93 ppm.

**Figura 21**

*Porcentaje de biosorción a distintos pH en Pb, Cu y As (3,4,4.5, 5, 6 y 7.5)*



*Nota.* En la figura 21 se presenta la relación entre la dosis y la biosorción. Para el plomo, se determina que el pH óptimo es 5, alcanzando una biosorción del 26.91%. En el caso del arsénico, representado por la línea gris, el pH óptimo es 4.5, con una biosorción del 6.55%. Para el cobre, indicado por la línea naranja, el pH óptimo es de 4, logrando un 9.40% de biosorción. Los resultados superiores a estos no se tomaron en cuenta debido a la precipitación de metales.

### **5.1.2.2. Resultados de análisis con respecto a la variación de la dosis del biosorbente**

Para los análisis de muestras de agua con plomo, cobre y arsénico se trabajó variando la dosis del biosorbente, a continuación se muestran en las tablas 22, 23 y 24 los factores de biosorción de plomo, cobre y arsénico en aguas contaminadas con los que se trabajó en cada variable, posteriormente la tabla 25, 26 y 27 plasma los resultados obtenidos en las lecturas de plomo, cobre y arsénico de concentraciones iniciales y finales, y las tablas 28, 29 y 30 plasman los porcentajes de remoción obtenidos en los cálculos realizados.

**Tabla 22**

*Factores de biosorción de plomo en agua contaminada variando la dosis de biosorbente (200, 300 y 400mg)*

Tratamiento	pH	Dosis Teórica del biosorbente (mg)	Tiempo (min)	Concentración Teórica Inicial (ppm)	Tamaño de partícula (um)	Velocidad de agitación (rpm)
<b>T1</b>	5.072	200.00	30	100	500	150
<b>TR1</b>	5.072	200.00	30	100	500	150
<b>T2</b>	5.072	300.00	30	100	500	150
<b>TR2</b>	5.072	300.00	30	100	500	150
<b>T3</b>	5.072	400.00	30	100	500	150
<b>TR3</b>	5.072	400.00	30	100	500	150

*Nota.* En la tabla 22 se detallan los factores considerados en el ensayo de laboratorio para la biosorción de plomo en soluciones contaminadas, utilizando tres dosis diferentes de biosorbente (200, 300 y 400 mg). Los tratamientos (T1-T3) y sus repeticiones (TR1-TR3) se realizaron bajo condiciones constantes de pH, tiempo, concentración inicial, tamaño de partícula y velocidad de agitación, con el objetivo de identificar la dosis más efectiva para la biosorción del plomo, que es de 300mg.

**Tabla 23**

*Factores de biosorción de cobre en agua contaminada variando la dosis de biosorbente (100, 200, 300 y 400mg) de bagazo de caña de azúcar*

Tratamiento	pH	Dosis del biosorbente (mg)	Tiempo (min)	Concentración Teórica Inicial (ppm)	Tamaño de partícula (um)	Velocidad de agitación (rpm)
<b>T1</b>	4	100	30	100	500	150
<b>TR1</b>	4	100	30	100	500	150
<b>T2</b>	4	200	30	100	500	150
<b>TR2</b>	4	200	30	100	500	150
<b>T3</b>	4	200	30	100	500	150
<b>TR3</b>	4	300	30	100	500	150
<b>T4</b>	4	400	30	100	500	150
<b>TR4</b>	4	400	30	100	500	150

*Nota.* En la tabla 23 se detallan los factores considerados en el ensayo de laboratorio para la biosorción de cobre en soluciones contaminadas, utilizando 4 dosis diferentes de biosorbente (100, 200, 300 y 400 mg). Los tratamientos (T1-T4) y sus repeticiones (TR1-TR4) se realizaron bajo condiciones constantes de pH, tiempo, concentración inicial, tamaño de

partícula y velocidad de agitación, con el objetivo de identificar la dosis más efectiva para la biosorción del cobre, que es de 400mg.

**Tabla 24**

*Factores de biosorción de arsénico en agua contaminada variando la dosis de biosorbente (100, 200,300 y 400 mg) de bagazo de caña de azúcar*

Tratamiento	pH	Dosis del biosorbente (mg)	Tiempo (min)	Concentración Teórica Inicial (ppm)	Tamaño de partícula (um)	Velocidad de agitación (rpm)
T1	4.5	100	30	100	500	150
TR1	4.5	100	30	100	500	150
T2	4.5	200	30	100	500	150
TR2	4.5	200	30	100	500	150
T3	4.5	300	30	100	500	150
TR3	4.5	300	30	100	500	150
T4	4.5	400	30	100	500	150
TR4	4.5	400	30	100	500	150

*Nota.* En la tabla 24 se detallan los factores considerados en el ensayo de laboratorio para la biosorción de arsénico en soluciones contaminadas, utilizando 4 dosis diferentes de biosorbente (100, 200, 300 y 400 mg). Se realizaron 4 tratamientos (T1-T4) y sus repeticiones (TR1-TR4) manteniendo constantes los demás factores, con el objetivo de identificar la dosis más efectiva para la biosorción del arsénico, que es de 400mg.

**Tabla 25**

*Resultados de lecturas en plomo de concentraciones inicial y final para determinar la dosis efectiva de biosorbente*

Tratamiento	Dosis del biosorbente (mg)	Concentración Inicial (Ci) de Pb (ppm)	Concentración Final (Cf) de Pb (ppm)
T1	203.56	108.25	93.08
TR1	203.61	108.25	93.00
T2	301.34	108.25	86.25
TR2	303.33	108.25	91.25
T3	403.62	108.25	90.58
TR3	404.44	108.25	90.08

*Nota.* En la tabla 25 se presentan los resultados de las mediciones de las concentraciones inicial y final de plomo en 3 tratamientos y 3 repeticiones realizados en el laboratorio, utilizando el equipo de absorción atómica. Los tratamientos se realizaron variando las dosis

del biosorbente (203.56 mg, 301.34 mg y 403.62 mg) en soluciones de 100 ml. El análisis de los resultados permitió determinar que la dosis más efectiva fue para el T2 de 301.34 mg, teniendo una  $C_i=108.25\text{ppm}$  y  $C_f=86.25\text{ppm}$  logrando una reducción de plomo de 22 ppm.

**Tabla 26**

*Resultados de lecturas en cobre de concentraciones inicial y final para determinar la dosis efectiva de biosorbente*

Tratamiento	Dosis del biosorbente (mg)	Concentración Inicial ( $C_i$ ) de Cu (ppm)	Concentración Final ( $C_f$ ) de Cu (ppm)
T1	100	103.433	98.608
TR1	100	103.433	97.058
T2	200	103.433	96.667
TR2	200	103.433	93.750
T3	300	103.433	95.158
TR3	300	103.433	93.250
T4	400	103.433	90.117
TR4	400	103.433	91.825

*Nota.* En la tabla 26 se presentan los resultados de las mediciones de las concentraciones inicial y final de cobre en 4 tratamientos y 4 repeticiones. Los tratamientos se realizaron en soluciones de 100 ml. El análisis de los resultados permitió determinar que la dosis más efectiva fue para el T4 de 400mg, teniendo una  $C_i=103.433\text{ppm}$  y  $C_f=90.117\text{ppm}$  logrando una reducción de 13.316 ppm.

**Tabla 27**

*Resultados de lecturas en arsénico de concentraciones inicial y final para determinar la dosis efectiva de biosorbente*

Tratamiento	Dosis del biosorbente (mg)	Concentración Inicial ( $C_i$ ) de As (ppm)	Concentración Final ( $C_f$ ) de As (ppm)
T1	100	95.48	90.70
TR1	100	95.48	89.48
T2	200	95.48	89.25
TR2	200	95.48	87.20
T3	300	95.48	85.90
TR3	300	95.48	84.45
T4	400	95.48	83.88
TR4	400	95.48	83.88

*Nota.* En la tabla 27 se presentan los resultados de las mediciones de las concentraciones inicial y final de arsénico en 4 tratamientos y 4 repeticiones realizados en el laboratorio,

utilizando el equipo de absorción atómica. Los tratamientos se realizaron variando las dosis del biosorbente (100mg, 200mg, 300mg y 400mg) en soluciones de 100 ml. El análisis de los resultados permitió determinar que la dosis más efectiva fue para el T4 de 400mg, teniendo una  $C_i=95.48\text{ppm}$  y  $C_f=83.88\text{ppm}$  logrando una reducción de arsénico de 11.6ppm.

**Tabla 28**

*Resultados de los análisis de plomo en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintos pesos de biomasa del bagazo de caña de azúcar*

N°	Muestra	Peso de Biomasa del bagazo de caña (mg)	Concentración teórica inicial de Pb en la solución (ppm)	Concentración inicial de la solución de Pb diluida (ppm)	Concentración final de Pb en la solución diluida (ppm)	Concentración de Pb reducido (ppm)	Concentración final promedio de las muestras Tx y TRx (ppm)	% Remoción de Pb
1	T1	203.56	100	108.25	93.08	15.17	93.04	14.05
	TR1	203.61	100	108.25	93.00	15.25		
2	T2	301.34	100	108.25	86.25	22.00	88.75	18.01
	TR2	303.33	100	108.25	91.25	17.00		
3	T3	403.62	100	108.25	90.58	17.67	90.33	16.55
	TR3	404.44	100	108.25	90.08	18.17		

*Nota.* De la tabla 28, se observa que el peso que dio más efectividad para la biosorción en Pb es de 301.34mg en 100 ml de solución, entonces la dosis efectiva sería de 3.01g/L reduciendo así la concentración inicial de la solución contaminada de 108.25ppm a 93.04ppm, mostrando una efectividad de remoción en plomo promedio de 18.01%.

**Tabla 29**

*Resultados de los análisis de cobre en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintas dosis de biosorbente (100, 200, 300 y 400mg) de bagazo de caña*

N°	Muestra	Pesos de Biomasa (mg)	Concentración teórica inicial de Cu en la solución (ppm)	Concentración inicial de la solución de Cu diluida (ppm)	Concentración final de Cu en la solución diluidas (ppm)	Concentración de Cu reducido (ppm)	Concentración Promedio de las muestras Tx y TRx (ppm)	% Remoción de Cu
1	T1	100	100	103.433	98.608	4.83	97.83	5.41
	TR1	100	100	103.433	97.058	6.38		
2	T2	200	100	103.433	96.667	6.77	95.21	7.95
	TR2	200	100	103.433	93.750	9.68		
3	T3	300	100	103.433	95.158	8.28	94.20	8.92
	TR3	300	100	103.433	93.250	10.18		
4	T4	400	100	103.433	90.117	13.32	90.97	12.05

TR4	400	100	103.433	91.825	11.61
-----	-----	-----	---------	--------	-------

*Nota.* En la tabla 29 se puede observar que el tratamiento N° 4 es el más eficiente en la biosorción de cobre, logrando un resultado de 90.97 ppm. Esto se traduce en un promedio de remoción del 12.05% utilizando 400 mg de bagazo de caña de azúcar en 100 ml de solución, lo que establece una dosis efectiva de 4 g/L.

### Tabla 30

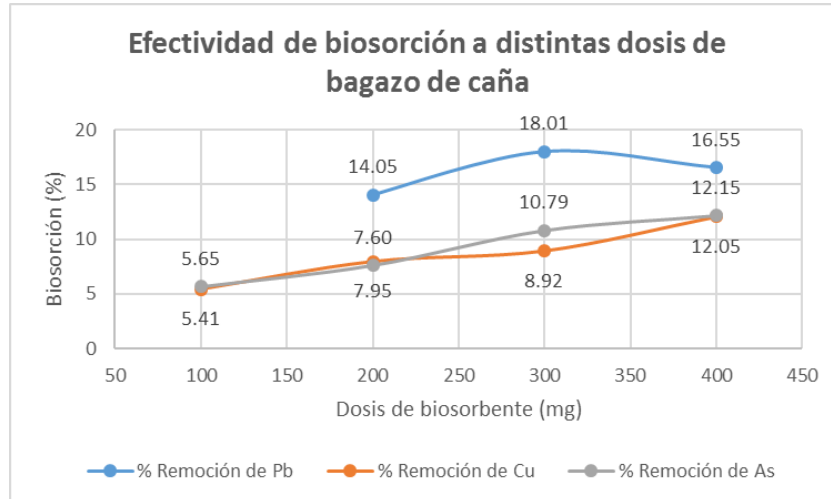
*Resultados de los análisis de arsénico en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintas dosis de biosorbente (100, 200, 300 y 400mg) de bagazo de caña*

N°	Muestra	Pesos de Biomasa (mg)	Concentración teórica inicial de As en la solución (ppm)	Concentración inicial de la solución de As diluida (ppm)	Concentración final de As en la solución diluidas (ppm)	Concentración de As reducido (ppm)	Concentración Promedio de las muestras Tx y TRx (ppm)	% Remoción de As
1	T1	100	100	95.48	90.70	4.78	90.09	5.65
	TR1	100	100	95.48	89.48	6.00		
2	T2	200	100	95.48	89.25	6.23	88.23	7.60
	TR2	200	100	95.48	87.20	8.28		
3	T3	300	100	95.48	85.90	9.58	85.18	10.79
	TR3	300	100	95.48	84.45	11.03		
4	T4	400	100	95.48	83.88	11.60	83.88	12.15
	TR4	400	100	95.48	83.88	11.60		

*Nota.* En la tabla 30 se muestra que el tratamiento N° 4 es el más eficaz en la biosorción de arsénico, alcanzando un resultado de 83.88 ppm. Esto equivale a un promedio de remoción promedio del 12.15% al utilizar 400 mg de bagazo de caña de azúcar en 100 ml de solución, lo que determina una dosis efectiva de 4 g/L.

**Figura 22**

*Porcentaje de biosorción a distintas dosis de bagazo de caña de azúcar (100,200,300 y 400mg) en soluciones de Pb, Cu y As*



*Nota.* En la figura 22 se observa la relación entre la dosis y la biosorción que, para el plomo, representado por la línea azul, la eliminación alcanza un 18.01% con 300 mg de biosorbente en 100 ml de solución, lo que implica que la dosis efectiva sería de 3 g/l. En el caso del cobre, indicado por la línea naranja, se registra un máximo de remoción de 12.05% con 400 mg de biosorbente en 100 ml de solución, resultando en una dosis efectiva de 4 g/l. Por último, el arsénico, representado por la línea gris, muestra una remoción del 12.15% con 400 mg de biosorbente en 100 ml de solución, por lo que la dosis efectiva también es de 4 g/l.

### **5.1.2.3. Resultados de análisis con respecto a la variación del tiempo de contacto**

Para los análisis de muestras de agua con plomo, cobre y arsénico se trabajó variando los tiempos de contacto del biosorbente con las soluciones, a continuación se muestran en las tablas 31, 32 y 33 los factores de biosorción de plomo, cobre y arsénico en aguas contaminadas con los que se trabajó en cada variable, posteriormente la tabla 34, 35 y 36 plasma los resultados obtenidos en las lecturas de plomo, cobre y arsénico de concentraciones iniciales y finales, y las tablas 37, 38 y 39 plasman los porcentajes de remoción obtenidos en los cálculos realizados.

**Tabla 31**

*Factores de biosorción de plomo en agua contaminada variando los tiempos de contacto (10, 20,30, 60 y 120min)*

Tratamiento	pH	Dosis del biosorbente (mg)	Tiempo (min)	Concentración Teórica Inicial (ppm)	Tamaño de partícula (um)	Velocidad de agitación (rpm)
T1	5.007	300	10	100	500	150
TR1	5.007	300	10	100	500	150
T2	5.007	300	20	100	500	150
TR2	5.007	300	20	100	500	150
T3	5.007	300	30	100	500	150
TR3	5.007	300	30	100	500	150
T4	5.007	300	60	100	500	150
TR4	5.007	300	60	100	500	150
T5	5.007	300	120	100	500	150
TR5	5.007	300	120	100	500	150

*Nota.* En la tabla 31 se describen los factores utilizados en el ensayo de laboratorio para el proceso de biosorción de plomo en soluciones contaminadas, variando los tiempos de contacto entre el biosorbente y la solución (10, 20, 30, 60 y 120 minutos). Se realizaron cinco tratamientos (T1-T5) con sus respectivas repeticiones (TR1-TR5), con el objetivo de determinar el tiempo óptimo para la biosorción, que es a los primeros 10 minutos.

**Tabla 32**

*Factores de biosorción de cobre en agua contaminada variando los tiempos de contacto (10, 20, 30, 60 y 180min)*

Tratamiento	pH	Dosis del biosorbente (mg)	Tiempo (min)	Concentración Teórica Inicial (ppm)	Tamaño de partícula (um)	Velocidad de agitación (rpm)
T1	4	400	10	100	500	150
TR1	4	400	10	100	500	150
T2	4	400	20	100	500	150
TR2	4	400	20	100	500	150
T3	4	400	30	100	500	150
TR3	4	400	30	100	500	150
T4	4	400	60	100	500	150
TR4	4	400	60	100	500	150
T5	4	400	180	100	500	150
TR5	4	400	180	100	500	150

*Nota.* . En la tabla 32 se describen los factores utilizados en el ensayo de laboratorio para el proceso de biosorción de cobre en soluciones contaminadas, variando los tiempos de contacto entre el biosorbente y la solución (10, 20, 30, 60 y 180 min). Se realizaron 5 tratamientos con sus respectivas repeticiones, manteniendo constantes los demás factores,

con el objetivo de determinar el tiempo óptimo para la biosorción, que es de 60 min.

**Tabla 33**

*Factores de biosorción de arsénico en agua contaminada variando los tiempos de contacto (10,20,30 y 60 min)*

Tratamiento	pH	Dosis del biosorbente (mg)	Tiempo (min)	Concentración Teórica Inicial (ppm)	Tamaño de partícula (um)	Velocidad de agitación (rpm)
T1	4.5	400	10	100	500	150
TR1	4.5	400	10	100	500	150
T2	4.5	400	20	100	500	150
TR2	4.5	400	20	100	500	150
T3	4.5	400	30	100	500	150
TR3	4.5	400	30	100	500	150
T4	4.5	400	60	100	500	150
TR4	4.5	400	60	100	500	150

*Nota.* En la tabla 33 se describen los factores utilizados en el ensayo de laboratorio para el proceso de biosorción de arsénico en soluciones contaminadas, variando los tiempos de contacto entre el biosorbente y la solución (10, 20, 30 y 60 minutos). Se realizaron 4 tratamientos (T1-T4) con sus respectivas repeticiones (TR1-TR4), manteniendo constantes los demás factores, con el objetivo de determinar el tiempo óptimo para la biosorción, que es de 30min.

**Tabla 34**

*Resultados de lecturas en plomo de concentraciones inicial y final para determinar el tiempo de contacto efectivo*

Tratamiento	Tiempo (min)	Concentración Inicial (Ci) de Pb (ppm)	Concentración Final (Cf) de Pb (ppm)
T1	10	105.92	73.58
TR1	10	105.92	72.92
T2	20	105.92	73.17
TR2	20	105.92	75.50
T3	30	109.33	78.50
TR3	30	109.33	80.58
T4	60	109.33	82.25
TR4	60	109.33	83.67
T5	120	109.33	86.58
TR5	120	109.33	86.58

*Nota.* En la tabla 34 se presenta los resultados de las mediciones de las concentraciones

inicial y final de plomo en los 5 tratamientos y 5 repeticiones, realizados para determinar el tiempo de contacto efectivo. Los resultados muestran que el tratamiento N°1 (TR1) con 10 minutos de contacto alcanzó la mayor biosorción, con una  $C_i=105.92\text{ppm}$  y  $C_f= 72.92 \text{ ppm}$ , reduciendo la concentración en 33.00 ppm.

**Tabla 35**

*Resultados de lecturas en cobre de concentraciones inicial y final para determinar el tiempo de contacto efectivo*

Tratamiento	Tiempo (min)	Concentración Inicial ( $C_i$ ) de Cu (ppm)	Concentración Final ( $C_f$ ) de Cu (ppm)
T1	10	103.658	91.533
TR1	10	103.658	89.275
T2	20	103.658	88.717
TR2	20	103.658	87.375
T3	30	103.658	86.386
TR3	30	103.658	88.250
T4	60	103.658	86.125
TR4	60	103.658	88.075
T5	180	103.658	88.700
TR5	180	103.658	87.408

*Nota.* En la tabla 35 se presenta los resultados de las mediciones de las concentraciones inicial y final de cobre en los 5 tratamientos y 5 repeticiones, realizados para determinar el tiempo de contacto efectivo. Los resultados muestran que el tratamiento N°4 (T4) con 60 minutos de contacto alcanzó la mayor biosorción, con una  $C_i=103.658\text{ppm}$  y  $C_f=86.125\text{ppm}$ , reduciendo la concentración en 17.533ppm.

**Tabla 36**

*Resultados de lecturas en arsénico de concentraciones inicial y final para determinar el tiempo de contacto efectivo*

Tratamiento	Tiempo (min)	Concentración Inicial ( $C_i$ ) de As (ppm)	Concentración Final de ( $C_f$ ) As (ppm)
T1	10	97.28	96.227
TR1	10	97.28	94.837
T2	20	97.28	88.597

<b>TR2</b>	20	97.28	75.223
<b>T3</b>	30	97.28	78.347
<b>TR3</b>	30	97.28	75.147
<b>T4</b>	60	97.28	82.487
<b>TR4</b>	60	97.28	79.363

*Nota.* En la tabla 36 se presenta los resultados de las mediciones de las concentraciones inicial y final de arsénico en los 4 tratamientos y 4 repeticiones, realizados para determinar el tiempo de contacto efectivo. Los resultados muestran que el tratamiento N°3 (TR3) con 30 minutos de contacto alcanzó la mayor biosorción, con una  $C_i=97.28\text{ppm}$  y  $C_f= 75.147\text{ppm}$ , reduciendo la concentración en 22.133ppm.

**Tabla 37**

*Resultados de los análisis de plomo en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintos tiempos de contacto (10,20,30,60 y 120min)*

N°	Muestra	Tiempo (min)	Concentración teórica inicial de Pb en la solución (ppm)	Concentración inicial de la solución de Pb diluida (ppm)	Concentración final de Pb en la solución diluidas (ppm)	Concentración de Pb reducido (ppm)	Concentración Promedio de las muestras Tx y TRx (ppm)	% Remoción de Pb
1	T1	10	100	105.92	73.58	32.34	73.25	30.84
	TR1	10	100	105.92	72.92	33.00		
2	T2	20	100	105.92	73.17	32.75	74.34	29.82
	TR2	20	100	105.92	75.50	30.42		
3	T3	30	100	109.33	78.50	30.83	79.54	27.25
	TR3	30	100	109.33	80.58	28.75		
4	T4	60	100	109.33	82.25	27.08	82.96	24.12
	TR4	60	100	109.33	83.67	25.66		
5	T5	120	100	109.33	86.58	22.75	86.58	20.81
	TR5	120	100	109.33	86.58	22.75		

*Nota.* De la tabla 37 podemos analizar que la mayor efectividad se da en el primer tratamiento a los primeros 10 minutos de tiempo de contacto de la solución contaminada con el biosorbente, reduciendo así la concentración inicial de 105.92ppm a una concentración final de 73.25ppm, dando como promedio una remoción de plomo del 30.84%

**Tabla 38**

*Resultados de los análisis de cobre en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintos tiempos de contacto (10,20,30,60 y 180)*

N°	Muestra	Tiempo (min)	Concentración teórica inicial de Cu en la solución (ppm)	Concentración inicial de la solución de Cu diluida (ppm)	Concentración final de Cu en la solución diluidas (ppm)	Concentración de Cu reducido (ppm)	Concentración Promedio de las muestras Tx y TRx (ppm)	% Remoción de Cu
1	T1	10	100	103.658	91.533	12.13	90.40	12.79
	TR1	10	100	103.658	89.275	14.38		
2	T2	20	100	103.658	88.717	14.94	88.05	15.06
	TR2	20	100	103.658	87.375	16.28		
3	T3	30	100	103.658	86.386	17.27	87.32	15.76
	TR3	30	100	103.658	88.250	15.41		
4	T4	60	100	103.658	86.125	17.53	87.10	15.97
	TR4	60	100	103.658	88.075	15.58		
5	T5	180	100	103.658	88.700	14.96	88.05	15.05
	TR5	180	100	103.658	87.408	16.25		

*Nota.* En la tabla 38 se observa que, en relación con la variación del tiempo, el tratamiento N° 4 alcanzó un resultado promedio en la concentración de cobre de 87.10 ppm, lo que corresponde a una remoción promedio del 15.97% a los 60 minutos.

**Tabla 39**

*Resultados de los análisis de arsénico en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintos tiempos de contacto (10,20,30 y 60)*

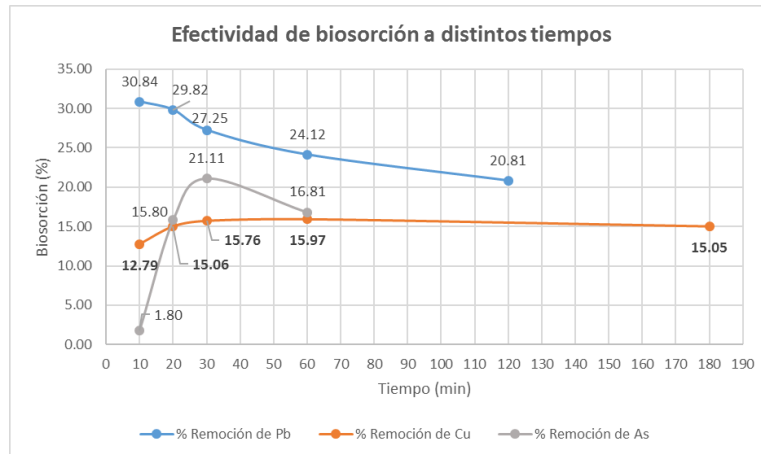
N°	Muestra	Tiempo (min)	Concentración teórica inicial de As en la solución (ppm)	Concentración inicial de la solución de As diluida (ppm)	Concentración final de As en la solución diluidas (ppm)	Concentración de As reducido (ppm)	Concentración Promedio de las muestras A y B (ppm)	% Remoción de As
1	A	10	100	97.28	96.227	1.05	95.53	1.80
	B	10	100	97.28	94.837	2.44		
2	A	20	100	97.28	88.597	8.68	81.91	15.80
	B	20	100	97.28	75.223	22.06		
3	A	30	100	97.28	78.347	18.93	76.75	21.11
	B	30	100	97.28	75.147	22.13		
4	A	60	100	97.28	82.487	14.79	80.93	16.81
	B	60	100	97.28	79.363	17.92		

*Nota.* En la tabla 39 se puede ver que, en función de la variación del tiempo, el tratamiento N° 3 obtuvo un resultado promedio en la concentración de cobre de 76.76 ppm, lo que

representa una remoción promedio del 21.11% a los 30 minutos.

### Figura 23

Porcentaje de biosorción a distintos tiempos de contacto del biosorbente (10, 20, 30, 60, 120 y 180min) en soluciones de Pb, Cu y As



*Nota.* En la figura 23 se ven los tiempos efectivos, para soluciones de plomo representada por la línea de color plomo se puede determinar que a los 10 min se tiene mayor biosorción con un resultado de 30.84%, para el arsénico representada por la línea azul se determina que a los 30 min existe mayor efectividad con un 21.11% de biosorción y para el cobre representada con la línea de color naranja se determina que a los 60 minutos existe mayor efectividad con un 15.97% de biosorción.

#### 5.1.2.4. Resultados de análisis con respecto a la variación de concentraciones de la solución

Para los análisis de muestras de agua con plomo, cobre y arsénico se trabajó variando las concentraciones iniciales de las soluciones, a continuación se muestran en las tablas 40, 41 y 42 los factores de biosorción de plomo, cobre y arsénico en aguas contaminadas con los que se trabajó en cada variable, posteriormente la tabla 43, 44 y 45 plasma los resultados obtenidos en las lecturas de plomo, cobre y arsénico de concentraciones iniciales y finales, y las tablas 46, 47 y 48 plasman los porcentajes de remoción obtenidos en los cálculos realizados.

**Tabla 40**

*Factores de biosorción de plomo en agua contaminada variando las concentraciones (50, 100 y 150ppm)*

Tratamiento	pH	Dosis del biosorbente (mg)	Tiempo (min)	Concentración Teórica Inicial (ppm)	Tamaño de partícula (um)	Velocidad de agitación (rpm)
<b>T1</b>	5.002	300	30	50	500	150
<b>TR1</b>	5.002	300	30	50	500	150
<b>T2</b>	5.002	300	30	100	500	150
<b>TR2</b>	5.002	300	30	100	500	150
<b>T3</b>	5.002	300	30	150	500	150
<b>TR3</b>	5.002	300	30	150	500	150

*Nota.* En la tabla 40 se presentan los factores empleados en el proceso de biosorción de plomo en soluciones contaminadas, variando las concentraciones iniciales del contaminante (50, 100 y 150 ppm). Se llevaron a cabo tres tratamientos (T1-T3) con sus respectivas repeticiones (TR1-TR3), manteniendo constantes los demás factores, con el objetivo de determinar la concentración óptima para la biosorción, que es de 50 ppm.

A continuación, en las siguientes tablas se plasma los resultados de las lecturas en plomo del equipo de absorción atómica obtenidos de los ensayos de laboratorio.

**Tabla 41**

*Factores de biosorción de cobre en agua contaminada variando las concentraciones (50, 100 y 150ppm)*

Tratamiento	pH	Dosis del biosorbente (mg)	Tiempo (min)	Concentración Teórica Inicial (ppm)	Tamaño de partícula (um)	Velocidad de agitación (rpm)
<b>T1</b>	4	400	30	50	500	150
<b>TR1</b>	4	400	30	50	500	150
<b>T2</b>	4	400	30	100	500	150
<b>TR2</b>	4	400	30	100	500	150
<b>T3</b>	4	400	30	150	500	150
<b>TR3</b>	4	400	30	150	500	150

*Nota.* En la tabla 41 se presentan los factores empleados en el proceso de biosorción de cobre en soluciones contaminadas, variando las concentraciones iniciales del contaminante (50, 100 y 150 ppm). Se llevaron a cabo tres tratamientos (T1-T3) con sus respectivas repeticiones (TR1-TR3), manteniendo constantes los demás factores, con el objetivo de

determinar la concentración óptima para la biosorción, que es de 50ppm.

**Tabla 42**

*Factores de biosorción de arsénico en agua contaminada variando las concentraciones (50, 100 y 150 ppm)*

Tratamiento	pH	Dosis del biosorbente (mg)	Tiempo (min)	Concentración Teórica Inicial (ppm)	Tamaño de partícula (um)	Velocidad de agitación (rpm)
<b>T1</b>	4.5	400	30	50	500	150
<b>TR1</b>	4.5	400	30	50	500	150
<b>T2</b>	4.5	400	30	100	500	150
<b>TR2</b>	4.5	400	30	100	500	150
<b>T3</b>	4.5	400	30	150	500	150
<b>TR3</b>	4.5	400	30	150	500	150

*Nota.* En la tabla 42 se presentan los factores empleados en el proceso de biosorción de arsénico en soluciones contaminadas, variando las concentraciones iniciales del contaminante (50, 100 y 150 ppm). Se llevaron a cabo tres tratamientos (T1-T3) con sus respectivas repeticiones (TR1-TR3), manteniendo constantes los demás factores, con el objetivo de determinar la concentración óptima para la biosorción, que es de 50ppm.

**Tabla 43**

*Resultados de lecturas en plomo de concentraciones inicial y final para determinar la concentraciones efectiva*

Tratamiento	Concentración Teórica de Pb en aguas contaminadas (ppm)	Concentración Inicial (Ci) de Pb (ppm)	Concentración Final (Cf) de Pb (ppm)
<b>T1</b>	50	61.50	25.25
<b>TR1</b>	50	61.50	42.08
<b>T2</b>	100	109.33	78.50
<b>TR2</b>	100	109.33	80.58
<b>T3</b>	150	150.67	99.33
<b>TR3</b>	150	150.67	99.42

*Nota.* La tabla 43 nos muestra los resultados de las mediciones de las concentraciones de plomo en los 3 tratamientos y 3 repeticiones realizados, determinando que el T1 es efectivo, teniendo un Ci=61.50ppm y Cf=25.25ppm, teniendo una reducción de 36.25ppm con respecto a la concentración inicial.

**Tabla 44**

*Resultados de lecturas en cobre de concentraciones inicial y final para determinar la concentraciones efectiva*

Tratamiento	Concentración de Cu teórica en aguas contaminadas (ppm)	Concentración Inicial (Ci) de Cu (ppm)	Concentración Final (Cf) de Cu (ppm)
<b>T1</b>	50	49.383	41.967
<b>TR1</b>	50	49.383	42.083
<b>T2</b>	100	95.975	86.792
<b>TR2</b>	100	95.975	89.825
<b>T3</b>	150	140.517	128.900
<b>TR3</b>	150	140.517	130.558

*Nota.* La tabla 44 nos muestra los resultados de las mediciones de las concentraciones de cobre en los 3 tratamientos y 3 repeticiones realizados, determinando que el T1 en valores de 50ppm es efectivo, teniendo un  $C_i=49.383\text{ppm}$  y  $C_f=41.967\text{ppm}$ , teniendo una reducción de 7.416ppm con respecto a la concentración inicial.

**Tabla 45**

*Resultados de lecturas en arsénico de concentraciones inicial y final para determinar la concentraciones efectiva*

Tratamiento	Concentración de As en aguas contaminadas (ppm)	Concentración Inicial (Ci) de As (ppm)	Concentración Final de (Cf) As (ppm)
<b>T1</b>	50	51.29	44.153
<b>TR1</b>	50	51.29	44.150
<b>T2</b>	100	95.48	83.877
<b>TR2</b>	100	95.48	83.883
<b>T3</b>	150	143.47	141.927
<b>TR3</b>	150	143.47	140.393

*Nota.* La tabla 45 nos muestra los resultados de las mediciones de las concentraciones de arsénico en los 3 tratamientos y 3 repeticiones realizados, determinando que el primer tratamiento TR1 es efectivo, teniendo un  $C_i=51.29\text{ppm}$  y  $C_f=44.150\text{ppm}$ , teniendo una reducción de 7.14ppm con respecto a la concentración inicial.

**Tabla 46**

*Resultados de los análisis de plomo en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintas concentraciones(50,100 y 150ppm)*

N <sup>o</sup>	Muestra	Concentración teórica inicial de Pb en la solución (ppm)	Concentración inicial de la solución de Pb diluida (ppm)	Concentración final de Pb en la solución diluidas (ppm)	Concentración de Pb reducido (ppm)	Concentración Promedio de las muestras Tx y TRx (ppm)	% Remoción de Pb
1	T1	50	61.50	25.25	36.25	33.67	45.26
	TR1	50	61.50	42.08	19.42		
2	T2	100	109.33	78.50	30.83	79.54	27.25
	TR2	100	109.33	80.58	28.75		
3	T3	150	150.67	99.33	51.34	99.38	34.04
	T1	150	150.67	99.42	51.25		

*Nota.* En esta tabla 46 se puede observar que en el tratamiento 1 donde la solución de plomo diluida tuvo una concentración inicial de 61.50ppm y luego del tratamiento este dio un promedio de 33.67ppm, reduciéndose un 27.83ppm dando en promedio una remoción de plomo de 45.26%.

**Tabla 47**

*Resultados de los análisis de cobre en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintas concentraciones (50,100 y 150ppm)*

N <sup>o</sup>	Muestra	Concentraciones (ppm)	Concentración teórica inicial de Cu en la solución (ppm)	Concentración inicial de la solución de Cu diluida (ppm)	Concentración final de Cu en la solución diluidas (ppm)	Concentración de Cu reducido (ppm)	Concentración Promedio de las muestras Tx y TRx (ppm)	% Remoción de Cu
1	T1	50	50	49.383	41.967	7.42	42.03	14.90
	TR1	50	50	49.383	42.083	7.30		
2	T2	100	100	95.975	86.792	9.18	88.31	7.99
	TR2	100	100	95.975	89.825	6.15		
3	T3	150	150	140.517	128.900	11.62	129.73	7.68
	TR3	150	150	140.517	130.558	9.96		

*Nota.* En la tabla 47 se muestra que, al examinar la variación de las concentraciones de soluciones contaminadas, se alcanzó un resultado promedio de 42.03 ppm en el tratamiento N° 1 a partir de una concentración inicial de 49.383 ppm, lo que equivale a una remoción promedio del 14.90% de cobre.

**Tabla 48**

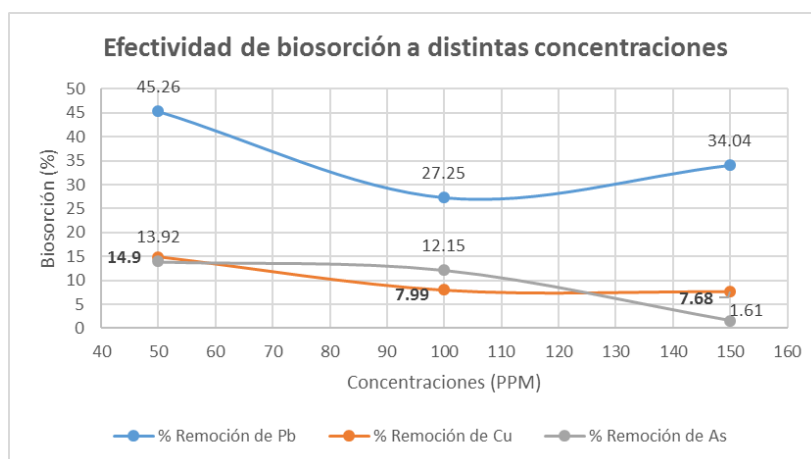
*Resultados de los análisis de arsénico en agua contaminada y porcentaje de remoción obtenido a distintas concentraciones (50,100 y 150ppm)*

N <sup>o</sup>	Muestra	Concentraciones (ppm)	Concentración teórica inicial de As en la solución (ppm)	Concentración inicial de la solución de As diluida (ppm)	Concentración final de As en la solución diluidas (ppm)	Concentración de As reducido (ppm)	Concentración Promedio de las muestras Tx y TRx (ppm)	% Remoción de As
1	T1	50	50	51.29	44.153	7.137	44.15	13.92
	TR1	50	50	51.29	44.150	7.140		
2	T2	100	100	95.48	83.877	11.603	83.88	12.15
	TR2	100	100	95.48	83.883	11.597		
3	T3	150	150	143.47	141.927	1.543	141.16	1.61
	TR3	150	150	143.47	140.393	3.077		

*Nota.* En la tabla 48 se observa que, al analizar la variación de las concentraciones de soluciones contaminadas, el tratamiento N<sup>o</sup> 1 alcanzó un resultado promedio de 44.15 ppm a partir de una concentración inicial de 51.29 ppm, lo que equivale a una remoción promedio del 13.92% de arsénico.

**Figura 24**

*Porcentaje de biosorción a distintas concentraciones en Pb, Cu y As (50, 100 y 150ppm)*



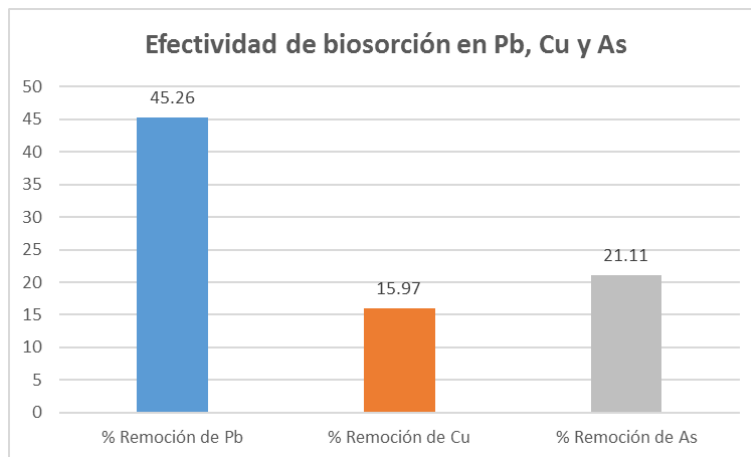
*Nota.* En la figura 24 se puede observar que la biosorción es más efectiva en soluciones de plomo, cobre y arsénico a concentraciones de 50 ppm. En el caso del plomo, indicado por la línea azul, se alcanza un 45.26% de biosorción. Para el cobre, representado por la línea naranja, la biosorción es del 14.90%, mientras que el arsénico, señalado por la línea gris,

muestra un 13.92% de biosorción.

En las siguiente figura podemos observar los resultados de efectividad de biosorción en los tres metales plomo, cobre y arsénico. En la figura 25 se plasma los resultados de los porcentajes de efectividad obtenida en los tratamientos de biosorción, con respecto al objetivo general del presente estudio.

### **Figura 25**

*Porcentaje de biosorción efectiva en Plomo, Cobre y Arsénico*



*Nota.* En la figura 25 se observa los porcentajes de biosorción efectivos que se lograron alcanzar en los tratamientos realizados con respecto al objetivo general, para el caso de plomo se obtuvo una efectividad de 45.26% , donde se empleó una dosis de 3 g/L, un tiempo de contacto de 30 min, pH 5, en soluciones de plomo de 50ppm. Para el Cu, se obtuvo una efectividad del 15.97%, utilizando una dosis de 4 g/L, un tiempo de contacto de 60 min, pH 4, en soluciones de cobre de 100ppm. En el caso del As, se alcanzó una efectividad del 21.10%, con una dosis de 4 g/L, un tiempo de contacto de 30 min, pH 4.5, en soluciones de arsénico de 100ppm.

#### **5.1.3. Prueba de hipótesis**

Para verificar si los datos siguen una distribución normal y seleccionar un test estadístico adecuado para evaluar la hipótesis, se realizó una prueba de normalidad con el programa SPSS.

H0: Los datos siguen una distribución normal.

H1: Los datos no siguen una distribución normal.

La prueba de normalidad muestra que el supuesto de normalidad se cumple, ya que el nivel de significancia es superior a 0,05. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

Dado que el tamaño de la muestra es menor a 50, se utiliza la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad.

Además, se realizó la prueba de homogeneidad de varianzas para confirmar la viabilidad del uso de la prueba ANOVA, que facilitó la evaluación de la hipótesis propuesta en el estudio.

La prueba de Análisis de Varianza (ANOVA) nos permitió comprobar o rechazar la hipótesis de investigación planteada en el presente trabajo.

#### **Para la hipótesis general**

H0: No existe una diferencia significativa en la biosorción de plomo, cobre y arsénico.

H1: Existe una diferencia significativa en la biosorción de plomo, cobre y arsénico.

#### **Tabla 49**

*Análisis de prueba ANOVA*

<b>ANOVA</b>					
Porcentaje de remoción	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1660.687	2	830.343	31.398	<.001
Dentro de grupos	2142.086	81	26.445		
Total	3802.773	91			

*Nota*, la presente tabla 49 nos muestra la prueba de ANOVA realizada por el SPSS, donde el valor de sig es 0.001, el cual es  $< 0.05$ , por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, confirmando que si existe diferencia significativa en la biosorción de plomo, cobre y arsénico.

### Para la hipótesis específica N° 1

H0: La dosis óptima es alta en la biosorción de plomo, cobre y arsénico utilizando el bagazo de caña de azúcar.

H1: La dosis óptima es mínima en la biosorción de plomo, cobre y arsénico utilizando el bagazo de caña de azúcar.

### Tabla 50

*Análisis de prueba ANOVA*

ANOVA					
Porcentaje de remoción de Pb, Cu y As en variación de dosis de biosorbente					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1014.322	2	507.161	3.820	<.012
Dentro de grupos	2522.105	19	132.742		
Total	3536.427	21			

*Nota*, la presente tabla 50 nos muestra la prueba de ANOVA realizada por el SPSS, donde el valor de sig es 0.012, el cual es  $< 0.05$ , por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, confirmando que la dosis óptima es mínima en la biosorción de plomo, cobre y arsénico.

### Para la hipótesis específica N° 2

H0: El pH óptimo es básico en la biosorción de plomo, cobre y arsénico utilizando el bagazo de caña de azúcar.

H1: El pH óptimo es en valores ácidos en la biosorción de plomo, cobre y arsénico utilizando el bagazo de caña de azúcar.

### Tabla 51

*Análisis de prueba ANOVA*

ANOVA					
Porcentaje de remoción de Pb, Cu y As en variación de pH					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1025.118	2	512.559	5.377	<.023

Dentro de grupos	2001.801	21	95.323
Total	3026.919	23	

*Nota*, la presente tabla 51 nos muestra la prueba de ANOVA realizada por el SPSS, donde el valor de sig es 0.1002, el cual es  $> 0.05$ , por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, confirmando que el pH óptimo es en valores ácidos en la biosorción de plomo, cobre y arsénico.

### Para la hipótesis específica N° 3

H0: El tiempo de contacto óptimo es mayor en la biosorción de plomo, cobre y arsénico utilizando el bagazo de caña de azúcar.

H1: El tiempo de contacto óptimo es mínimo en la biosorción de plomo, cobre y arsénico utilizando el bagazo de caña de azúcar.

### Tabla 52

#### *Análisis de prueba ANOVA*

ANOVA					
Porcentaje de remoción de Pb, Cu y As en variación de tiempos de contacto					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1109.552	2	554.776	6.296	<.018
Dentro de grupos	2202.671	25	88.106		
Total	3312.223	27			

*Nota*, la presente tabla 52 nos muestra la prueba de ANOVA realizada por el SPSS, donde el valor de sig es 0.1540, el cual es  $> 0.05$ , por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, confirmando que el tiempo de contacto óptimo es mínimo en la biosorción de plomo, cobre y arsénico.

## 5.2. Discusión de resultados

En este estudio, la biomasa de bagazo de caña de azúcar demostró ser efectiva para la remoción de plomo (Pb) de soluciones acuosas, alcanzando una eficiencia de biosorción del 45.26% con una capacidad de biosorción de 17mg/g bajo condiciones de 3 g/L de dosis de biosorbente, pH 5 y 30 minutos de tiempo de contacto, en Cu 15.97% y As 21.11%, las

capacidad de biosorción de 5.60mg/g y 5.39mg/g respectivamente. Estos resultados son comparables a los obtenidos por Trujillo et al. (2021), quienes investigaron la capacidad de sorción del bagazo de caña de azúcar para Pb, en su estudio, reportaron una capacidad de adsorción de 22.39 mg/g con una dosis similar (3 g/L), pH 5 y un tiempo de contacto de 45 minutos. A pesar de las diferencias en el tiempo de contacto, donde este estudio alcanzó el máximo de biosorción en 30 minutos, ambos estudios coinciden en que el bagazo de caña de azúcar es un material adecuado para la remoción de Pb. Sin embargo, Martínez et al. (2017) obtuvo una capacidad de adsorción de 1.77g/g de hidrocarburo a través del bagazo de caña de azúcar. En cuanto a porcentajes de remoción de plomo, Amangandi (2017) a través de la construcción de su biofiltro obtuvo un 76.14% en aguas residuales, Bazán (2017) obtuvo un 94.80% en efluentes mineros, Angulo et al. (2022) logró un 86% aplicando las cenizas de bagazo de caña de azúcar en un biofiltro, confirmando el estudio de Duany et al. (2022) quien afirma que el bagazo de caña de azúcar tiene ventaja sobre los métodos tradicionales debido a su alta disponibilidad, bajo costo y degradabilidad.

Al igual que en el estudio de Vera et al. (2016), los resultados obtenidos en este trabajo destacan la importancia del pH para la biosorción de Pb. Vera et al. encontraron que un pH de 5 era óptimo para la remoción de Pb, lo que se confirma con nuestros resultados, en los que el pH de 5 también fue efectivo para maximizar la biosorción. Este hallazgo es consistente con la literatura, que indica que, en condiciones ligeramente ácidas, los sitios de adsorción del bagazo de caña de azúcar (como grupos carboxilos y fenoles) son más activos, facilitando la captura de cationes metálicos como  $Pb^{2+}$ . Aunque los resultados de remoción obtenidos en este estudio son menores que los reportados por Vera et al. (2016), que alcanzaron una eficiencia del 97.66%, nuestras observaciones coinciden en que el bagazo de caña de azúcar es un material prometedor para la remoción de metales pesados, especialmente Pb. Las diferencias en la eficiencia pueden estar relacionadas con factores

como el tiempo de contacto, la temperatura y las concentraciones de metales en solución, variables que pueden influir en la capacidad de adsorción del biosorbente.

Los resultados son inferiores a los obtenidos por Carbajal (2017), quienes lograron un 92.08% de remoción en condiciones similares de pH y tiempo. Sin embargo, las diferencias en los resultados pueden atribuirse a varias condiciones experimentales. Primero, en este trabajo se utilizaron soluciones de Pb a 100 ppm, mientras que Carbajal (2017) empleó concentraciones mucho más bajas (0.90 ppm). A concentraciones más altas, como las de 100 ppm, los sitios de adsorción del biosorbente pueden saturarse, lo que limita la eficiencia. Además, en cuanto a la dosis, este estudio utilizó 3 g/L, mientras que Carbajal usó dosis entre 1 g/L y 4 g/L, donde dosis mayores tendrían más capacidad de adsorción, hasta alcanzar un límite. También, mientras en este trabajo se usó una agitación de 150 rpm, Carbajal (2017) utilizó 300 rpm, lo que podría haber facilitado una mejor difusión de los iones hacia los sitios activos del biosorbente en su estudio. A pesar de estas diferencias, ambos estudios coinciden en que el pH 5 es el más adecuado para la remoción de Pb. Aunque la remoción obtenida en este trabajo fue más baja que la de Carbajal, los resultados siguen confirmando la efectividad del bagazo de caña de azúcar como biosorbente para la eliminación de Pb de aguas contaminadas, especialmente en condiciones controladas.

En este estudio, se obtuvo una remoción de arsénico (As) del 21.10% con el bagazo de caña de azúcar a pH 4.5, 30 minutos de contacto y una dosis de 4 g/L. Comparando con el trabajo de Huallpa (2017), quien usó panca de maíz modificada químicamente y alcanzó una remoción de 37.16% a pH 6 y 60 minutos de contacto, las diferencias en los resultados pueden explicarse por varios factores. En primer lugar, Huallpa trabajó con una concentración mucho más baja de arsénico (0.113 mg/L) frente a los 10 ppm utilizados en este estudio, lo que hace más fácil la adsorción en concentraciones menores. Además, Huallpa utilizó dosis menores (1.5 g) y partículas más finas (250  $\mu\text{m}$ ), lo que probablemente

aumentó la superficie de adsorción y mejoró la eficiencia. En cambio, el bagazo de caña de azúcar en este estudio usó partículas de 500  $\mu\text{m}$ , lo que podría haber limitado la remoción. A pesar de estas diferencias, ambos estudios demuestran que los materiales agrícolas como biosorbentes son efectivos para la remoción de arsénico de aguas contaminadas.

Los resultados que se obtuvieron en el análisis de nuestra muestra de bagazo de caña de azúcar realizada en la Universidad Nacional Agraria La Molina, con respecto a su composición química nos muestra que contiene mayor porcentaje de celulosa con un 52.38%, hemicelulosa 22.59 y lignina 25.03%. Las propiedades químicas del bagazo son fundamentales para su capacidad de eliminar metales, dado que contiene grupos funcionales que interactúan con el contaminante. Según Trujillo et al. (2021), los principales responsables de esta remoción son los polímeros con cadenas largas y ramificadas o lineales, como la celulosa, la hemicelulosa, la pectina y la lignina. En otras palabras, estos componentes son los que contribuyen a la eliminación significativa de los metales del agua, la caracterización morfológica y físico-química del meollo del bagazo de caña de azúcar permitió determinar que este material tiene propiedades que favorecen la adsorción de cationes metálicos, usándose por primera vez para estos fines, se obtuvo una capacidad de sorción ( $q_e$ ) de 22,39 mg/g con una dosis de 3g/L y pH 5. Sin embargo, se puede realizar la desorción del Pb donde el autor tuvo una eficacia del 93,5% utilizando soluciones de  $\text{HNO}_3$  0,05 mol/L, lo que sugiere que el meollo puede ser reutilizado en múltiples ciclos de adsorción.

Los resultados coinciden parcialmente con otros estudios previos. Por ejemplo, Licares (2019) reportó una remoción del 98.02% de Pb utilizando cáscara de tuna (*Opuntia ficus-indica*). Aunque la eficiencia en este estudio fue menor, la cáscara de tuna se sometió a un tiempo de contacto más largo (120 minutos) y tenía mejores propiedades estructurales, como un área superficial superior. Sin embargo, ambos estudios destacan el potencial del bagazo

de caña de azúcar como material económico para la remoción de Pb.

Por otro lado, el estudio de Janqui (2021) sobre la remoción de molibdeno con carbón activado de tusa de maíz también muestra la importancia de las propiedades texturales, como la porosidad y el área superficial, para la eficiencia de la adsorción. Aunque las propiedades del bagazo de caña de azúcar son diferentes, el estudio subraya que estos factores influyen significativamente en la capacidad de remoción. Las variaciones en los resultados entre ambos estudios pueden atribuirse a las características del material utilizado y las condiciones experimentales.

Finalmente, en el trabajo de Agrada (2018), se utilizó biomasa de basidiomicetos para la biorremediación de aguas contaminadas con metales pesados, logrando una remoción del 100% de Pb con especies como *Cantharellus*. Aunque los mecanismos de biosorción entre los basidiomicetos y el bagazo de caña de azúcar son distintos, ambos estudios sugieren que los materiales biológicos pueden ser efectivos para tratar aguas contaminadas, dependiendo de factores como el tipo de biosorbente, el metal y las condiciones experimentales.

## VI. Conclusiones

- ❖ En cumplimiento al objetivo general, se logró evaluar la efectividad de la biomasa del bagazo de caña en la biosorción de Pb, con un resultado del 45.26%. Para ello, se empleó una dosis de 3 g/L, un tiempo de contacto de 30 min, pH 5, 150 rpm y una temperatura de 22.2 °C en soluciones de plomo de 50ppm. Para el Cu, se obtuvo una efectividad del 15.97%, utilizando una dosis de 4 g/L, un tiempo de contacto de 60 min, pH 4, 150 rpm y una temperatura de 22.2 °C en soluciones de cobre de 100ppm. En el caso del As, se alcanzó una efectividad del 21.10%, con una dosis de 4 g/L, un tiempo de contacto de 30 min, pH 4.5, 150 rpm y una temperatura de 22.2 °C, en soluciones de arsénico de 100ppm. Estos resultados confirman que la biomasa es significativamente efectiva, validando la hipótesis general planteada y demostrando su potencial como biosorbente sostenible para el tratamiento de aguas residuales.
- ❖ En concordancia con el primer objetivo específico, se determinó que la dosis efectiva para la biosorción de Pb es de 3 g/L. Se concluye que, si se aumenta la dosis, la efectividad podría disminuir, ya que se alcanza el equilibrio. En cuanto a los ensayos en soluciones de Cu y As, la dosis efectiva es de 4 g/L. Debido al ascenso de las curvas, se puede determinar que a mayor cantidad de biosorbente, menor será la concentración del metal hasta que se alcance el equilibrio. Este hallazgo respalda la hipótesis específica relacionada con la dosis mínima efectiva, proporcionando un parámetro clave para optimizar el proceso de biosorción en futuras aplicaciones.
- ❖ En cumplimiento al segundo objetivo específico, se determinaron los pH efectivos para la biosorción, donde las soluciones son más eficaces en valores ácidos. Para el Pb, el pH efectivo es 5; para el Cu, 4; y para el As, 4.5. Posteriores a estos valores, las soluciones muestran turbidez y precipitaciones. Este resultado valida la hipótesis específica que establece que la biosorción es más eficiente en condiciones ácidas,

resaltando la importancia del control del pH en aplicaciones prácticas.

- ❖ Con respecto al tercer objetivo específico, se estableció los tiempos de contacto efectivos, donde existe mayor biosorción en los primeros 10 min. para el Pb, 60 min para el Cu y 30 min para el As. Posterior a estos tiempos, se aprecian curvas descendentes en los gráficos. Esto confirma la hipótesis del tiempo mínimo efectivo, destacando que la mayor parte de la adsorción ocurre en etapas iniciales del proceso.

## VII. Recomendaciones

- ❖ Se recomienda utilizar la técnica de biosorción con bagazo de caña de azúcar para eliminar metales pesados de aguas residuales industriales. Esta estrategia puede implementarse mediante biofiltros, permitiendo un flujo continuo de agua a través del biosorbente. Es especialmente relevante para industrias como la minera, metalúrgica y electroquímica, donde los efluentes contienen contaminantes como cobre, plomo y arsénico. Al adoptar estas configuraciones, se podrá evaluar la eficacia del biosorbente en la remoción de metales, mejorando así la calidad del agua y fomentando prácticas sostenibles en el tratamiento de efluentes.
- ❖ Se aconseja llevar a cabo pruebas para la desorción del plomo, cobre y arsénico adsorbidos en el bagazo de caña de azúcar, con el fin de recuperar y concentrar estos elementos según las necesidades específicas. Este proceso no solo permitirá la recuperación de recursos valiosos, sino que también contribuirá a la sostenibilidad del tratamiento de aguas, al maximizar la eficiencia del biosorbente y facilitar su reutilización en futuros ciclos de biosorción. Además, se podría considerar la posibilidad de integrar la recuperación de estos metales en procesos industriales que los utilicen, generando una economía circular en el tratamiento de efluentes.
- ❖ Se recomienda realizar un análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM) del bagazo de caña de azúcar antes y después de la biosorción. Este análisis permitirá observar las modificaciones en la superficie del material y su interacción con los metales pesados, proporcionando información valiosa sobre la morfología del biosorbente y ayudando a comprender mejor los mecanismos de adsorción. A través de esta evaluación, se podrá optimizar el proceso de biosorción, ajustando parámetros, con el objetivo de aumentar la eficiencia en la remoción de metales.

- ❖ Se sugiere realizar un tratamiento o modificación de la superficie del bagazo de caña de azúcar para mejorar su eficacia como biosorbente en soluciones ácidas. Esta mejora optimizaría la eliminación de metales pesados en condiciones de pH desfavorables. Al ajustar las propiedades superficiales del bagazo, se incrementaría la interacción con los contaminantes, lo que resultaría en una mayor capacidad de biosorción y, en última instancia, en una remoción más efectiva de metales en aguas residuales. Estas modificaciones también podrían reducir el tiempo de contacto necesario, haciendo que el proceso sea más eficiente y adaptable a diferentes condiciones operativas.
- ❖ Se recomienda a la comunidad científica investigar el uso de biosorbentes, como el bagazo de caña de azúcar, para eliminar metales pesados en aguas residuales. Es importante evaluar su eficiencia en diferentes pH y explorar métodos de desorción y recuperación de metales. Fomentar la colaboración interdisciplinaria entre investigadores, ingenieros y profesionales del medio ambiente contribuirá a un mayor conocimiento sobre el potencial de los biosorbentes, abriendo la puerta a nuevas aplicaciones y soluciones innovadoras. Compartir hallazgos en conferencias y revistas especializadas será clave para avanzar en la ciencia y la tecnología del tratamiento de aguas residuales, mejorando así tanto la calidad ambiental como la competitividad de las industrias.

## VIII. Referencias bibliográficas

- Agrada Valenzuela, Y. (2018). *Evaluación de un Sistema de Biorremediación de Agua con Metales Pesados Usando Biomasa de Basidiomicetos Provenientes del Santuario Nacional del Ampay*. Obtenido de Tesis de pregrado. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.: <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/637>
- Amangandi Amangandi, Á. M. (2017). *Remoción de plomo en agua residual mediante bioabsorción obtenida del bagazo de caña de azúcar*. Obtenido de la Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/7860/1/236T0292.pdf>
- Angulo Velasquez, M. G., & Beltran Robles, N. B. (2022). *Efecto de la ceniza del bagazo de la caña de azúcar en la remoción de plomo*, Aija, 2022. Obtenido de la tesis de Pregrado de la Universidad César Vallejo.
- Balseca Avendaño, H. M. (2017). *Capacidad del zuro de maíz Zea mays como bioadsorbente para remover plomo divalente en aguas contaminadas a nivel laboratorio, SJL, 2017*. Obtenido de Tesis de Pregrado Universidad César Vallejo: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/18683>
- Bazán Salas, O. E. (2017). *Adsorción de Plomo de agua de efluentes mineros utilizando Bagazo de Caña, Tusa de Maíz, y Fibra de Coco*. Obtenido de Tesis de pregrado de la Universidad AlasPeruanas-trujillo.
- Bermejo Campos, D. F. (2016). *Remoción de Plomo y Cadmio presente en Aguas Residuales Mineras Mediante Biosorción en Columnas Con Bagazo De Caña y Cáscara de Cacao*. Obtenido de la tesis de Pregrado de la Universidad de Cuenca Ecuador.
- Borja, N., García, V., Yipmantin, A., Guzmán Lezama, E., & Maldonado García, H. (2015). Estudio de la cinética de biosorción de plomo (II) en alga *Ascophyllum nodosum*. *Revistade la Sociedad Química del Perú*, 81(3), 212-223.

- Cañizares Villanueva, R. O. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 42, 131-143. Obtenido de: <https://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2000/mi003f.pdf>
- Carbajal Encarnación, D. E. (2017). *Eficiencia del Bagazo de la Caña de Azúcar en la Remoción de Plomo de Aguas Contaminadas, a nivel de laboratorio–2017*. Obtenida de la Tesis de Pregrado de la Universidad César Vallejo.
- Cardona Gutiérrez A. F., Cabañas Vargas D. D., Zepeda Pedreguera A. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*,17(1), 1-9. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46729718001>
- Caviedes Rubio, D. I., Muñoz Calderón, R. A., Perdomo Gualtero , A., Rodríguez Acosta ,D., & Sandoval Rojas , I. J. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. *13*(1), págs. 73-90.
- Chávez Sifontes, M., & Domine Marcelo, E. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: Métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(4), 15-46. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323629266003>
- De la Cruz Lopez, D. (2018). *Bagazo de caña de azúcar (Saccharum Officinarum) activado con ácido fosfórico para la bioadsorción de plomo en las aguas del río Chillón - Puente Piedra, 2018*. Obtenido de la tesis de pregrado de la Umiversidad Cesar Vallejo: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/20199>
- Duany Timosthe, S., Arias Lafargue, T., Bessy Horrunitiner, T., & Rodríguez Heredia, D. (2022). Bioadsorbentes no convencionales empleados en la remoción de metales pesados. *Revista Tecnología química de la Facultad de Ingeniería Química y*

*Agronomía, Universidad de Oriente. Cuba, 42(1), 94-113.*

Fernandez, M., Florez, D., Yactayo, M., Lovera, D., Quispe, J., Landauro, C., & Pardave, W. (2020). Remoción de metales pesados desde efluentes mineros, mediante cáscaras

de frutas. *AiBi Revista de investigación, administración e ingeniería, 8(1), 21-28.*

Figuroa, D., Moreno, A., & Hormaza, A. (2015). Equilibrio, termodinámica y modelos cinéticos en la adsorción de Rojo 40 sobre tuza de maíz. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 14(26), 105-120.*

Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal, 156(1), 2-10.*

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, M. (2010). Metodología de la Investigación. Quinta. Mexico DF: Interamericana Editores. Obtenida de: <https://www.smujerescoahuila.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>

Huallpa Sullca, W. M. (2017). *Biosorción con panca de maíz (Zea mays) para la remoción de Arsénico en aguas contaminadas a nivel de laboratorio, 2017.* Obtenido de Tesis de Pregrado. Universidad César Vallejo: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/16607>

Izquierdo Sanchi, M. (2010). *Eliminación del Metales Pesados en Aguas mediante Bioadsorción. Evaluación de Materiales y Modelación del Proceso.* Obtenido de la Universitat De València: <https://www.tdx.cat/handle/10803/52130>

Janqui Guzmán, G., & Janqui Esquivel, L. (2021). Remoción de molibdeno con carbón activado de tusa de maíz (Zea Mays) en aguas del río Challhuahuacho – Cotabambas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 5(1), 459-473.* [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v5i1.243](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i1.243)

Jiménez A.S. (1997). El bagazo como fibra alternativa. *MARI-PAPEL, 5(5), 17-23.* ISSN

0121–6554.

Licare Eguavil, J. (2019). *Capacidad de bioadsorción de la cáscara de tuna (Opuntia ficus-indica) para remover los iones de plomo (II) de una solución acuosa*. Obtenido de Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Centro del Perú: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5950>

Martinez Nodal, P., Rodríguez Rico, I., Esperanza Pérez, G., & Leiva Mas, J. (2014). Caracterización y evaluación del bagazo de caña de azúcar como biosorbente de hidrocarburos. *Afinidad: Revista de química teórica y aplicada*, 71(565), 57-62.

Martinez Nodal, P., Rodríguez Rico, I., Rosa Domínguez, E., & Perez Villar, M. (2019). Remoción de hidrocarburos, mediante biosorción con bagazo de caña de azúcar y humedales horizontales subsuperficiales. *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*, 53(1), 39-43.

Martinez Nodal, P., Rosa Domínguez, E., Rodríguez Rico, I., & Leiva Mas, J. (2017). Caracterización físico química del bagazo de caña natural utilizado como biosorbente en la remoción de hidrocarburos en agua. *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*, 51(2), 35-39.

Martínez, E. (2020). Microscopía electrónica de barrido (SEM), ¿para qué me sirve?. *ATRIA Innovation*. <https://atriainnovation.com/blog/microscopia-electronica-de-barrido-sem-utilidades/>

Miranda Ramos, L. M. (2012). *Biosorción de Pb (II), presente en soluciones acuosas, con cascara de tuna (opuntia ficus-indica)*. Obtenido de Tesis de Postgrado. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa Vallejo: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6447>

Muñoz Carpio, J. C. (2007). (Tesis de Pregrado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos) Recuperado el 20 de Agosto de 2019, de Biosorción de plomo (II) por

cáscara de naranja “*Citrus cinensis*” pretratada.: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/391>

Nilanjana, D., Vimala, R., & Karthika, P. (April de 2008). Biosorption of heavy metals – an overview. *Indian Journal of Biotechnology*, 7, págs. 159-169.

Nodal, P. D. L. C. M., Rico, I. R., Pérez, G. E., & Mas, J. L. (2014). Caracterización y evaluación del bagazo de caña de azúcar como biosorbente de hidrocarburos. *Afinidad*, 71(565), 57.

Oré Jiménez, F., Lavado Meza, C., & Bendezú Montes, S. (2015). *Biosorción de Pb (II) de Aguas Residuales de Mina Usando el Marlo de Maíz (Zea mays)*. Obtenido de Revista de la Sociedad Química del Perú, 81(2): <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371942316005>

Peñaloza, D. J., Barúa, M. G., Escalada, J. P., & Pajares, A. M. (2023). Técnica espectroscópica de absorción atómica para determinaciones en química ambiental. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, 15(3), 157–176. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v15.n3.987>

Pintado Paltán, K. E. (2018). *Comparación de la biosorción y desorción de metales pesados mediante el uso de marlo de maíz (Zea mays) en aguas contaminadas*. Obtenido de Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16226>

Plaza Cazón, J. (2012). *Remoción de metales pesados empleando algas marinas* (Tesis). Facultad de Ciencias Exactas. Obtenido de: <http://hdl.handle.net/10915/2770>

Rangel, R. (2017). *Editorial metales toxicos en alimentos*. Obtenido Revista del Instituto Nacional de Higiene “Rafael Rangel”: <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2019/06/1000319/editorial-metales-toxicos-en-alimentos.pdf>

Resano, D., Guillen, O., Ubillus, F., & Barranzuela, J. (2022). Caracterización fisicoquímica

del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal como material de construcción. *Scielo, Información tecnológica*, 33(2), 247-258. Obtenido de: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000200247>

Rosique Hueso, M. (2013). *Bioadsorción de Cadmio por Biomasa de Opuntia*. Obtenido de la Universidad Politécnica de Cartagena: <http://hdl.handle.net/10317/3768>

Rutiaga Q.J.G., Anzaldo J.H., Vargas R.J.J. y Sanjuán D.R. (2002). Propiedades de resistencia de una pulpa kraft de pino mezclada con médula de bagazo de caña de azúcar. *Madera y Bosques*, 8(2), 17-26.

Sala, L., Garcia, S., Gonzáles, J., & otros. (2010). Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho. *Real Sociedad Española de Química*, 2, págs. 114-120.

Sánchez Ponce, L. (2019). *Mecanismos de biosorción en la remediación de aguas contaminadas por Cr(VI) mediante el uso de subproductos vitivinícolas*. Obtenido de Universidad de Cadiz : <http://hdl.handle.net/10498/23561>

Sanchez Quispe, J. M. (2018). *Biosorción de plomo y cadmio con la tusa de maíz (Zea mays. l.), en las aguas del Río Rímac- zona de Corcona, Huarochirí*. Obtenido de Tesis de Pregrado de la Universidad Cesar Vallejo: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/28170>

Tejada Tovar, C., Herrera, A., & Ñunez Zarur, J. (2016). *Remoción de plomo por biomásas residuales de cáscara de naranja (Citrus sinensis) y zuro de maíz (Zea mays)*. Obtenido de Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. Cartagena-Colombia: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v19n1/v19n1a20.pdf>

Tejada Tovar, C., Villabona Ortiz, Á., & Garcés Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *TecnoLógicas*, 18(34), 109-123.

- Tovar Alarcon, S. (2018). *Biosorción de Cobre (II) Y Hierro (III) con Cáscara de Almendra del Efluyente de la Planta Concentradora Victoria-Yauli La Oroya*. Obtenido de Tesis de Maestría. Universidad Nacional del Centro del Perú: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5198>
- Trelles Bautista, J. A. (2013). *Biosorción de Arsénico en Medio Acuoso Empleando Biomásas Vegetales Inertes*. Lima, Perú: Tesis de Maestría de la Universidad Nacional de Ingeniería.
- Trujillo-del Bosque, A., Dopico-Ramírez, D., León-Fernández, V., & Díaz-López, C. (2021). Remoción de PB (II) usando meollo del bagazo de la caña de azúcar como biosorbente. *Revista Cubana de Química*, 33(3), 250-273.
- Turrell, F., & Fisher, P. (1942). *Los constitutivos químicos proximados de citrus woods con especial referencia a lignin*. *Planta physiological*.
- Vera, L., Uguña, M., García, N., Flores, M., & Vásquez, V. (2016). Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente. *Afinidad: Revista de Química Teórica y Aplicada*, 73(573), 43-49 . Obtenido de: <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/308436>
- Vilar, V. J. P., Botelho, C. M. S., Boaventura, R. A. R., & Gomes, H. T. (2010). Comparison between biosorbents for removal of copper ions from industrial wastewater. *Environmental Science and Pollution Research International*, 17(3), 511-519.
- Vullo, D. (2003). Microorganismos y Metales Pesados: Una Interacción en Beneficio del Medio Ambiente. *Revista Quimica Viva*, 2 (3), 93-104. Obtenido de: <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v2n3/vullo.pdf>